



**UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA**



DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA DELL'INFORMAZIONE

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA BIOMEDICA

**“PARAMETRI ESTRAIBILI DALL'UTILIZZO DI SENSORI MAGNETO-
INERZIALI IN AMBITO SPORTIVO”**

Relatore: Prof.ssa ZIMI SAWACHA

Laureando/a: MATTIA PRIOR

Correlatore: ANNAMARIA GUIOTTO, PhD

ANNO ACCADEMICO 2021 – 2022

Data di laurea 20-07-2022

A mia nonna, che mi ha insegnato a vivere e a non mollare mai.

Ai miei genitori, che non mi hanno mai fatto mancare nulla.

A Giorgia, che è mi stata vicino in ogni momento.

ABSTRACT	6
CAPITOLO 1	7
<i>L'analisi del movimento e i sensori magneto-inerziali</i>	7
1.1 COS'E' L'ANALISI DEL MOVIMENTO?	7
1.2 I SENSORI MAGNETO INERZIALI	7
1.2.1 GIROSCOPIO, ACCELEROMETRO E SENSORI MAGNETICI	9
1.2.2 PARAMETRI TEMPORALI	10
1.2.3 PARAMETRI CINEMATICI	10
1.2.4 PARAMETRI DINAMICI	12
1.3 FINALITA' DEI WEARABLE SYSTEM	12
CAPITOLO 2	13
<i>Dispositivi indossabili nella pallacanestro</i>	13
2.1 INTRODUZIONE	13
2.2 1° DISPOSITIVO INDOSSABILE NELLA PALLACANESTRO	15
2.2.1 ARCHITETTURA	15
2.2.2 PRE-ELABORAZIONE DEL SEGNALE	16
2.2.3 PARAMETRI ESTRAIBILI	17
2.3 2° DISPOSITIVO INDOSSABILE NELLA PALLACANESTRO	19
2.3.1 UNITA' INERZIALE DI MISURA	20
2.3.2 PARAMETRI ESTRAIBILI	22
CAPITOLO 3	24
<i>Pattinaggio artistico</i>	24
3.1 INTRODUZIONE	24
3.2 1° PRIMO DISPOSITIVO INDOSSABILE PER IL PATTINAGGIO	26
3.2.1 ARCHITETTURA	26
3.2.2 PARAMETRI ESTRAIBILI	28
.....	31
3.3 ALTRI SENSORI MAGNETO-INERZIALI NEL PATTINAGGIO	32
3.3.1 ARCHITETTURA	32
3.3.2 PARAMETRI ESTRAIBILI	32
4. CONCLUSIONE	35

ABSTRACT

I recenti sviluppi tecnologici hanno evidenziato come la realizzazione di sensori magneto-inerziali di piccole dimensioni, non invasivi, risultino molto validi per l'acquisizione di misure di performance sportive durante gli allenamenti o le competizioni. Le tecnologie indossabili emergenti progettate per il monitoraggio del movimento in genere sono costituite da unità di misura inerziali combinati a magnetometri. La misura di grandezze fisiche legate al moto di un corpo permette di stimare parametri temporali, cinematici e dinamici. L'obiettivo di questa tesi è stato quello di esplorare la letteratura riguardante l'utilizzo di tali sensori negli sport come il basket, il pattinaggio artistico in linea e il pattinaggio di velocità a pista lunga. A tale scopo sono stati interrogati i seguenti motori di ricerca: Ieee xplore, Scopus, Pub Med, Google Scholar e dopo aver selezionato gli articoli di maggior pertinenza, sono stati messi a confronto sulla base dei parametri calcolati sui dati riguardanti la variazione della velocità angolare, rotazioni e valori di accelerazione del movimento. Dagli studi analizzati si può concludere che tali sensori utilizzati in ambito sportivo, oltre ad essere semplici da utilizzare, permettono di raccogliere i dati in modo non invasivo fornendo informazioni preziose al giocatore per il miglioramento delle prestazioni e per prevenire eventuali infortuni.

CAPITOLO 1.

L'ANALISI DEL MOVIMENTO E I SENSORI MAGNETO-INERZIALI.

1.1 COS'E' L'ANALISI DEL MOVIMENTO?

L'analisi del movimento umano è finalizzata alla raccolta di informazioni di tipo quantitativo relative alla meccanica del sistema muscolo-scheletrico durante l'esecuzione di un atto motorio.

Consideriamo due diversi tipi di dati:

- Dati cinematici: posizione nello spazio, velocità ed accelerazione del corpo.
- Dati dinamici: forze e momenti che generano il movimento del corpo.

In particolare, questi dati vengono ottenuti attraverso, rispettivamente, l'analisi cinematica e l'analisi dinamica.

L'analisi cinematica definisce la posizione e l'orientamento in ogni istante di tempo durante l'esecuzione di un task specifico di un segmento anatomico, definendo anche l'orientamento del sistema di riferimento locale rispetto al sistema di riferimento globale [iii].

L'analisi dinamica si focalizza invece sullo studio di forze e momenti in gioco durante uno specifico movimento: dalle forze di reazione al suolo, alle forze interne che coinvolgono legamenti, tendini e muscoli.

Risulta cruciale nello studio della dinamica articolare, consentendo di avere un modello semplificato del sistema attraverso l'utilizzo delle equazioni della dinamica, e nello studio dell'attivazione muscolare, responsabile della generazione del movimento.

1.2 I SENSORI MAGNETO INERZIALI

Negli ultimi anni sono stati commercializzati diversi sensori per l'analisi del movimento umano. Ogni sensore si differenzia in base alla frequenza di campionamento, consumo energetico e portabilità a seconda dell'applicazione e della tecnologia utilizzata (cablata o wireless). In base al tipo di utilizzo occorre prestare attenzione in modo da selezionare correttamente il sistema di misurazione.

In generale, il sistema indossabile da ogni atleta dovrebbe essere:

1. Piccolo e leggero (portatile, adatto per l'uso in campo).

2. Indossabile(wireless).
3. Facile e veloce da impostare e analizzare.
4. Utilizzabile su qualsiasi superficie e in qualsiasi condizione ambientale (anche sott'acqua attraverso sigillatura ermetica).
5. Efficiente sotto il profilo energetico (nel caso in cui sia necessario un monitoraggio a lungo termine, ad esempio, il monitoraggio della maratona).

Avere un'adeguata scala full-range e frequenza di campionamento. Quest' ultimo dovrebbe essere determinato in base al compito motorio, ai parametri di interesse e al sistema di misurazione.

I recenti sviluppi tecnologici hanno evidenziato come la realizzazione di sensori magneto-inerziali di piccole dimensioni, non invasivi, risultino molto validi per l'acquisizione di misure di performance sportive durante gli allenamenti o le competizioni.

L'utilizzo di questi sensori avviene principalmente negli sport d'élite o negli allenamenti individuali con lo scopo principale di ottenere per l'atleta un feedback utile e tempestivo, riferendosi ai difetti di prestazione evidenziati da analisi quantitative e qualitative. Questi ultimi misurano grandezze fisiche legate al moto di un corpo permettendo di stimare parametri temporali, cinematici e dinamici.

Le oscillazioni tra corpo e dispositivo, cioè gli artefatti dei tessuti molli, sono la principale fonte di errore. Tuttavia, poiché gli artefatti dei tessuti molli sono attività motorie, nonché sensibili al sito e al metodo di attacco dell'unità e alla rimozione e sostituzione di quest'ultima, la loro compensazione è molto critica.

Per analizzare tali attività, la massa del dispositivo dovrebbe essere limitata al minimo. In secondo luogo, i disturbi ferromagnetici (in particolare all'interno) possono provenire da oggetti ferromagnetici o apparecchi elettrici.

1.2.1 GIROSCOPIO, ACCELEROMETRO E SENSORI MAGNETICI

Un giroscopio è un dispositivo che utilizza la gravità terrestre per determinare l'orientamento. I sensori giroscopici sono dispositivi che rilevano la velocità angolare, che è la variazione dell'angolo di rotazione per unità di tempo. La velocità angolare è in gradi/s.

La sua struttura è costituita da un disco rotante liberamente, chiamato rotore, montato su un'asse di rotazione al centro di una più ampia e stabile ruota. Durante la rotazione dell'asse, il rotore rimane fermo per indicare la forza di attrazione gravitazionale centrale e quindi la direzione verso il basso. Il giroscopio mantiene il suo livello di efficacia, essendo in grado di misurare la velocità di rotazione intorno a una determinata asse. Inoltre, i giroscopi inerziali sono costituiti solitamente da una massa vibrante soggetta all'effetto di Coriolis che permetterà all'osservatore di vedere la massa muoversi se il giroscopio viene fatto ruotare con velocità angolare lungo l'asse z.

L'accelerometro è un trasduttore che, fissato rigidamente a segmenti corporei, è in grado di misurare l'accelerazione lineare che agisce lungo l'asse sensibile. Un esempio sono gli accelerometri capacitativi MEMS il cui principio di funzionamento sfrutta il posizionamento di un peso installato su delle molle. Un'estremità delle molle è fissata alle armature del condensatore a pettine, mentre l'altra estremità al peso. La forza che agisce sul sensore causa lo spostamento del peso sulle molle, in questo modo varia la distanza tra l'elemento capacitivo e la massa, e ha luogo una variazione della capacità.

Il giroscopio, l'accelerometro e i sensori magnetici quantificano la velocità angolare, la somma delle accelerazioni gravitazionali, inerziali lineari e le componenti vettoriali del campo magnetico locale, rispettivamente intorno e lungo i loro assi di riferimento. Tali sensori possono essere a singolo, doppio o triplo asse. Per ottenere delle informazioni esaustive sull'orientamento di un corpo è necessario non utilizzare un tipo di sensore alla volta perché comporta una precisione inadeguata.

Per risolvere tale criticità i giroscopi e gli accelerometri vengono combinati in un'unità di misura inerziale (IMU) in quanto entrambi i sensori sfruttano il principio di inerzia per fornire velocità angolari o accelerazioni ottenendo quindi una migliore stima dell'orientamento 2D.

Quando invece è necessario l'orientamento 3D i sensori vengono combinati anche all'interno dell'unità di misura magnetica inerziale definita come MIMU.

Il giroscopio essendo che misura l'orientamento attraverso le variazioni angolari di velocità tende ad avere un drift, ma aggiungendo i dati dell'accelerometro al giroscopio lo si riduce ottenendo una stima più accurata della posizione. È necessario sottolineare come gli

accelerometri sono più accurati per i calcoli statistici (rispetto a quelli dinamici) mentre i giroscopi sono ottimizzati per rilevare l'orientamento quando il sistema è già in movimento. Gli accelerometri rilevano cambi di direzione rispetto alla gravità e quei dati possono essere utilizzati per orientare un giroscopio, inoltre sono in grado di distorcere le accelerazioni dovute a forze esterne come quelle gravitazionali. I parametri derivati dai sensori possono essere suddivisi in tre categorie principali: temporali, cinematici e dinamici.

1.2.2 PARAMETRI TEMPORALI

I parametri temporali descrivono il periodo di tempo, in secondi, che intercorre tra due eventi. L'utilizzo di algoritmi relativi a segnali di velocità angolare o all'accelerazione permette l'estrazione di tali parametri:

1. Istanti temporali relativi all'inizio o alla fine di un movimento.
2. Frequenza dei movimenti ciclici.

1.2.3 PARAMETRI CINEMATICI

I parametri cinematici si riferiscono a forme angolari e lineari di posizione, velocità e accelerazione. In particolare, la stima dell'orientamento 3D di un MIMU è di fondamentale importanza in quanto è essenziale quando si ottiene l'orientamento assoluto di segmenti del corpo o attrezzature sportive (ad esempio, racchette, mazze, sci), o l'orientamento di un segmento del corpo rispetto ad un altro (cinematica articolare).

Inoltre, è necessario separare le componenti gravitazionali e inerziali delle accelerazioni lineari, al fine di stimare i parametri cinematici lineari, come la posizione MIMU o la velocità lineare.

L'orientamento 3D di un MIMU può essere stimato mediante l'integrazione temporale numerica delle equazioni cinematiche differenziali che mettono in relazione le derivate temporali dei parametri di orientamento con la velocità angolare fornita dal giroscopio.

L'accuratezza di questa integrazione numerica, tuttavia, è ostacolata da errori che aumentano nel tempo a causa della deriva del giroscopio. Inoltre, devono essere determinate le condizioni iniziali del processo di integrazione. Per gestire questi problemi, i segnali forniti dai sensori accelerometrici e magnetici (ausiliari) sono utilizzati secondo le seguenti ipotesi:

1. Gli accelerometri misurano solo il vettore di gravità.
2. Entrambi i vettori di campo gravitazionale e magnetico sono uniformi e costanti all'interno del volume di misura.

Una volta ottenuto l'orientamento, la cinematica articolare può essere stimata come l'orientamento relativo tra segmenti corporei adiacenti. Il suo calcolo richiede la definizione di un modello cinematico multi-body e la determinazione della configurazione articolare "zero" di riferimento.

Tra gli altri parametri cinematici angolari, la velocità angolare è spesso sfruttata in quanto viene misurata direttamente dai giroscopi, mentre l'accelerazione angolare deve essere ottenuta attraverso la differenziazione numerica della velocità misurata. Come il processo di integrazione, il calcolo della derivata di un segnale discreto comporta errori derivanti dal metodo di differenziazione e dal tipo di rappresentazione utilizzato per i numeri (livello di precisione).

Per quanto riguarda i parametri cinematici lineari, l'accelerazione lineare misurata può essere integrata numericamente, una volta modificata dalla sua componente gravitazionale, per ottenere una stima della velocità lineare e, se ulteriormente integrata, dello spostamento (traiettoria). Anche in questo caso, le condizioni iniziali di questo processo sono richieste e possono verificarsi errori di deriva.

La rimozione della componente gravitazionale è soggetta a errori relativi al calcolo dell'orientamento. Per questi motivi, sono spesso necessari approcci basati su modelli e su stime accurate della posizione lineare da parte dei MIMU.

È interessante specificare che i parametri del centro di massa (CoM) stimati dall'accelerazione di un singolo sensore posizionato sul tronco inferiore, vicino alla posizione del CoM nella postura eretta statica, sono un'approssimazione che non tiene conto della dinamica di tutti i

segmenti corporei, in particolare degli arti inferiori e superiori. Tuttavia, queste informazioni possono essere utili nella valutazione delle prestazioni sportive sul campo senza richiedere una configurazione ingombrante.

1.2.4 PARAMETRI DINAMICI

I parametri dinamici, come le grandezze cinematiche, si riferiscono sia a variabili lineari che angolari. Sebbene le forze esterne, le forze congiunte, i momenti e le potenze possano essere stimati dalle misurazioni MIMU, l'accuratezza e l'affidabilità di questi parametri dipendono da una stima accurata delle variabili cinematiche (ad esempio, parametri temporali, orientamento e posizione). Tali parametri vengono ottenuti attraverso la dinamica inversa utilizzando degli algoritmi come, ad esempio, Opensim che contengono dei modelli muscolo-scheletrici.

1.3 FINALITA' DEI WEARABLE SYSTEM

I dispositivi indossabili nello sport legati a parametri biomedici sopra descritti garantiscono così un punto di svolta nelle attività sportive. Questi ultimi aiutano a colmare il divario tra tecnologia e utente attraverso il monitoraggio delle prestazioni, parametri biometrici ed efficienza energetica. La loro realizzazione è continuamente oggetto di studio da parte dei ricercatori con lo scopo di ridurre al minimo il margine di errore aumentando la precisione dei sensori.

La vestibilità è stata migliorata utilizzando sensori più piccoli che trasmettono i dati allo smartphone; in alternativa, i MIMU vengono sostituiti da tessuti intelligenti che utilizzano indumenti come piattaforma in cui incorporare sensori e unità di elaborazione apparendo come una potenziale futura alternativa/integrazione al MIMU.

La ricerca futura dovrebbe concentrarsi sulla facilità d'uso e sul miglioramento delle procedure di compensazione e analisi degli errori in grado di fornire ai coach metriche informative, concise e di facile interpretazione.

I principali sensori che verranno analizzati sono riferiti alla valutazione IMU nel pattinaggio artistico in linea e nella pallacanestro.

CAPITOLO 2.

DISPOSITIVI INDOSSABILI NELLA PALLACANESTRO.

2.1 INTRODUZIONE

Il primo obiettivo di questa tesi è stato quello di analizzare la letteratura scientifica più recente riguardante l'applicazione dei sensori magneto-inerziali nella pallacanestro.

E' stata condotta una ricerca bibliografica approfondita attraverso i motori di ricerca Google, PubMed e Scopus.

In particolare, inserendo le seguenti keywords:

- 1) Basketball inertial measurements.
- 2) IMU and basketball.
- 3) MIMU and sport.

Sono stati ottenuti 300 paper differenti suddivisi in:

1° keyword → 70 paper differenti.

2° keyword → 60 paper differenti.

3° keyword → 170 paper differenti.

Successivamente, attraverso un processo di scrematura accurato, ho selezionato i 4 paper più completi ed interessanti.

Tale scelta è stata condotta in base alle variabili utilizzate come accelerazione e velocità angolare utilizzando accelerometri e giroscopi. Ho selezionato i paper anche in base al numero e al tipo di soggetti (necessariamente maggiore di 10 e semi-professionisti o professionisti) in modo da ottenere una stima più accurata dei parametri ottenuti.

Inoltre, l'obiettivo era quello di utilizzare paper il più recenti possibili, in termini di pubblicazione, in modo che i dispositivi analizzati siano tutt'ora utilizzati dagli atleti.

STRUMENTAZIONI DI INTERESSE

Titolo	Anno	Nr, soggetti	Stereo	Imu	Prova clinica si o no	Variables	Task
Associations Between Two Athlete Monitoring Systems Used to Quantify External Training Loads in Basketball Players.	2020	13 13 uomini 0 donne		X	No	Accelerazione mediolaterale, anteroposteriore, verticale.	Player Load.
Relationship between Sprint Capacity and Acceleration of Wrists in Wheelchair Basketball Players: Design and Reliability of a New Protocol.	2021	10 8 uomini 2 donne		X	No	Velocità angolare e accelerazione.	Sprint.
Effects of Upper-Limb, Lower-Limb, and Full-Body Compression Garments on Full Body Kinematics and Free-Throw Accuracy in Basketball Players.	2020	20 20 uomini 0 donne		X	No	Velocità angolare e accelerazione.	Passaggio,tiro ,dribbling.
The Effects of Repeated Sprints on the Kinematics of 3-Point Shooting in Basketball.	2018	10 10 uomini 0 donne		X	No	Velocità angolare e accelerazione.	Tiro da 3 punti.

2.2 1° DISPOSITIVO INDOSSABILE NELLA PALLACANESTRO

La prima applicazione analizzata ha lo scopo di implementare un'unità di misura inerziale costituita da accelerometri, giroscopi e un microcontrollore integrato all'interno di un pallone da basket.

Il sistema misura determina la velocità e l'asse di rotazione della palla durante un tiro grazie a due dispositivi di rilevamento inerziale indossati sui polsi e sulle caviglie degli atleti.

2.2.1 ARCHITETTURA

L'architettura hardware del dispositivo è evidenziata dalla Figura 1.

Il principio di questa applicazione si basa su un sensore inerziale (MPU-6050) [xii] che consente la misurazione simultanea della velocità angolare e dell'accelerazione dei movimenti dei giocatori al fine di identificare le azioni sportive.

Il sensore inerziale a sei assi (MPU-6050) [xii] è dotato di giroscopio a tre assi, accelerometro a tre assi e convertitori analogico-digitali integrati in un chip. L'approccio di questo sensore è quello di determinare l'accelerazione utilizzando l'accelerometro a 3 assi e misurare attraverso il giroscopio a 3 assi la velocità angolare delle attività della mano durante l'esecuzione delle azioni sportive. Utilizzando queste due variabili, il sistema identifica le azioni dei giocatori in tempo reale.

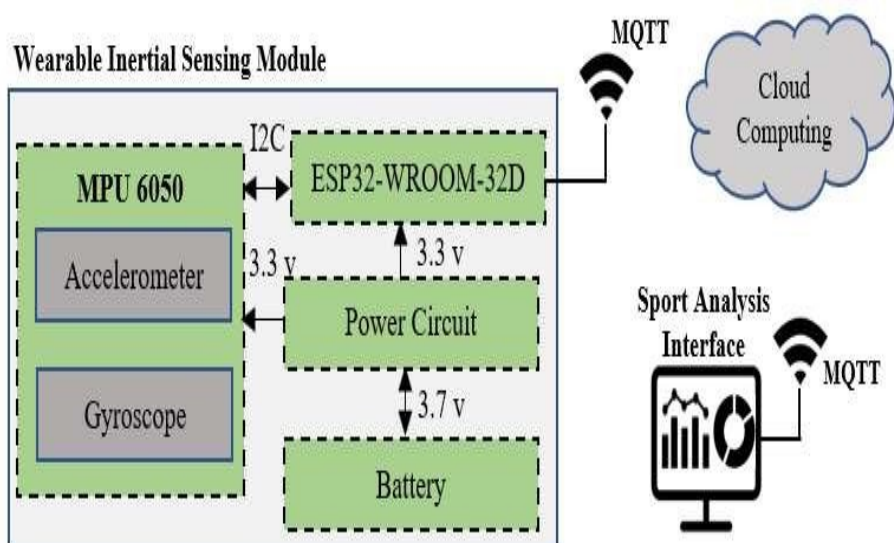


Figura 1. Architettura del sistema Wearable Sports Vision.

2.2.2 PRE-ELABORAZIONE DEL SEGNALE

È stato sviluppato un algoritmo di monitoraggio dei gesti sportivi per identificare le azioni degli atleti di basket utilizzando la variazione dei valori di accelerazione e delle velocità angolari misurati dall'unità di misura inerziale sviluppata.

L'algoritmo di tracciamento delle attività è costituito principalmente da due procedure. In primo luogo, il modulo di rilevamento inerziale indossabile presente sul polso degli atleti raccoglie i loro dati sui movimenti durante le loro attività. Nella fase di pre-elaborazione del segnale, sono stati applicati un processo di calibrazione, un filtro passa-basso e un filtro passa-alto per ridurre gli errori di offset e la sensibilità dei dati generati dal modulo di rilevamento inerziale indossabile per rimuovere le accelerazioni gravitazionali.

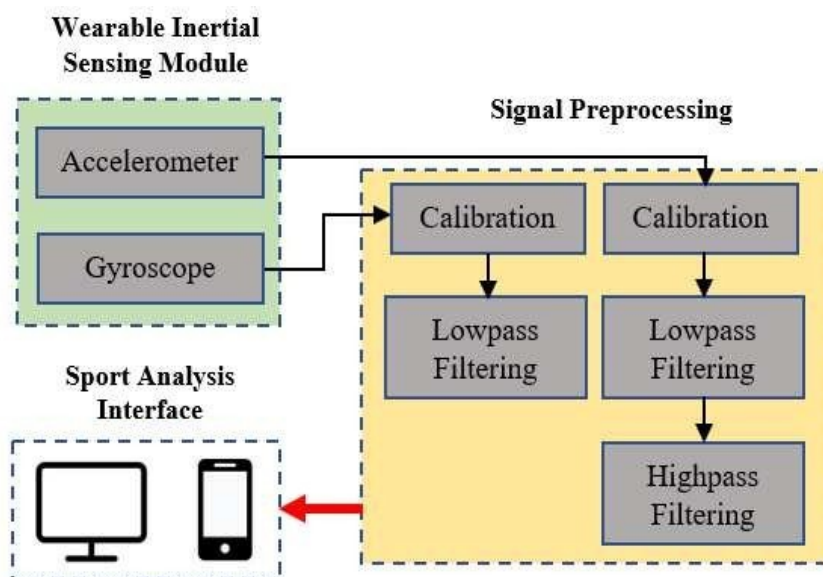


Figura 2. Algoritmo di monitoraggio.

Generalmente, le misurazioni al giroscopio e all'accelerometro contengono degli errori di offset e delle vibrazioni degli utenti. Per questo motivo, l'applicazione di filtri di calibrazione, passa-basso e passa-alto nella fase di pre-elaborazione del segnale è essenziale per acquisire dati accurati dall'unità di misura inerziale.

La calibrazione dell'accelerometro triassiale si basa sull'accelerazione gravitazionale di ciascun asse che abbiamo misurato quando l'accelerometro è fermo.

La calibrazione dell'accelerometro triassiale si basa sull'accelerazione gravitazionale di ciascun asse che abbiamo misurato quando l'accelerometro è fermo. Successivamente, i segnali di accelerometro e giroscopio calibrati vengono filtrati da un filtro passa-basso digitale al fine di rimuovere i tremori inconsci dell'utente e il rumore ad alta frequenza. Inoltre, per eliminare le variabili di accelerazione gravitazionale, i segnali di accelerazione elaborati dal filtro passa-basso vengono ulteriormente filtrati da un filtro passa-alto.

2.2.3 PARAMETRI ESTRAIBILI

I dati ricevuti vengono rappresentati in tempo reale tramite dispositivi di visualizzazione collegati sotto forma di interfacce grafiche.

Le principali variabili utilizzate per identificare le attività degli atleti sono la velocità angolare e l'accelerazione media dei movimenti dei giocatori.

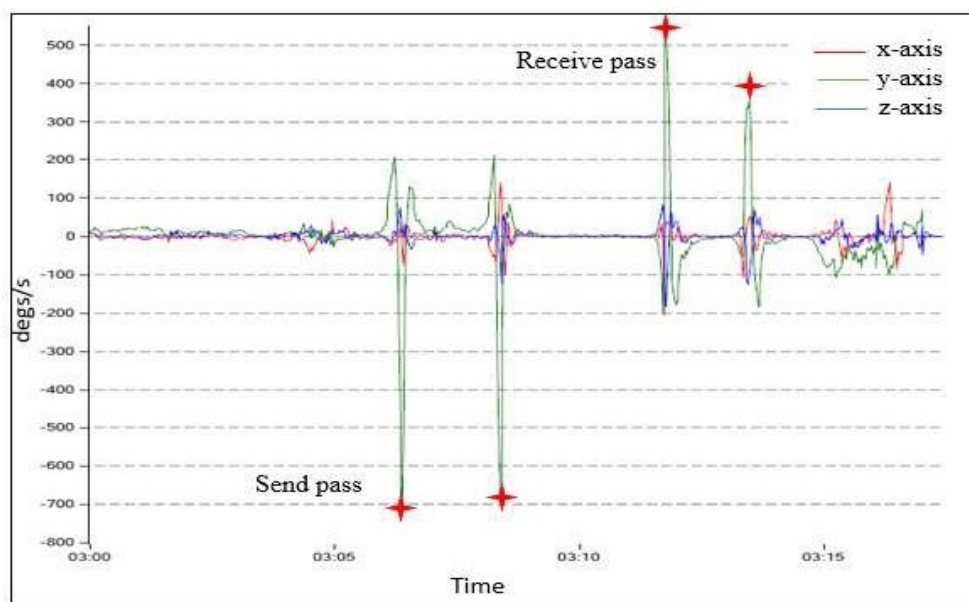


Figura 3. Rappresenta la velocità angolare in gradi al secondo dei diversi movimenti dei giocatori di basket misurati dal sistema sviluppato.

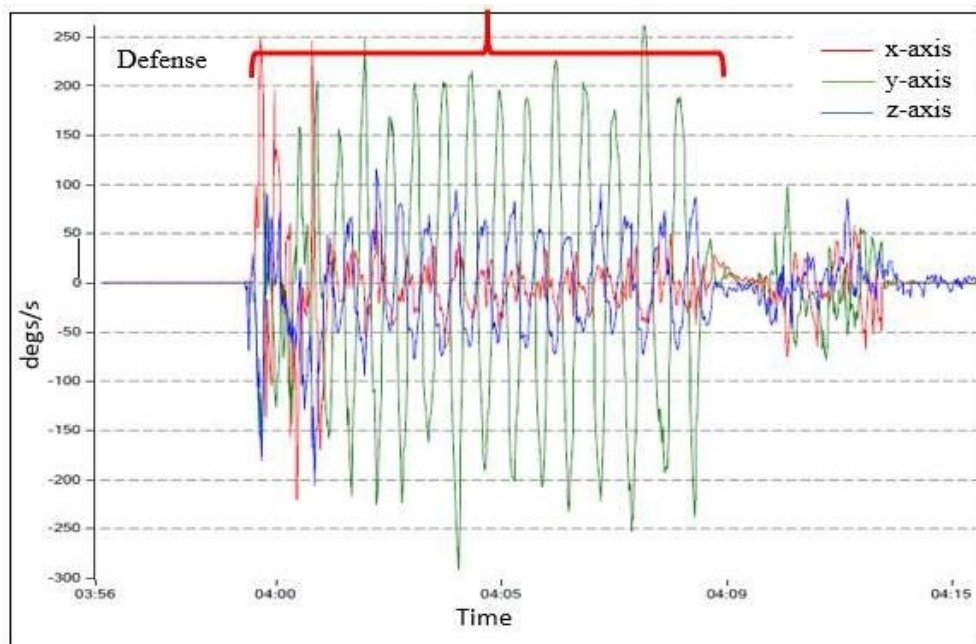


Figura 4. Identificazione dei movimenti sportivi con il sistema proposto in base alla velocità angolare.

Sono stati eseguiti esperimenti pratici su un giocatore di basket semi-professionista per distinguere la gamma di misure per ogni azione sportiva.

Secondo i risultati presentati in Fig.9, l'azione di tirare la palla verso la rete ha una velocità angolare più alta. È presente un grande impulso sugli assi Y e Z.

L'azione di dribbling non richiede un'elevata velocità angolare.

L'azione di tirare un passaggio ad un altro giocatore ha un'ampiezza media negativa sull'asse Y e variazioni trascurabili sugli assi X e Z.

Tuttavia, la ricezione di una sfera ha una velocità angolare media positiva sull'asse Y. Piccole variazioni successive sui tre assi piani rappresentano attività difensive.

Come mostrato in Fig. 4, i segnali dei movimenti degli atleti hanno vari valori di accelerazione.

Le attività, come il dribbling, il passaggio e la ricezione di esso, hanno valori di accelerazione variabili tra 60 m/s^2 e 110 m/s^2 . Tuttavia, l'accelerazione di un colpo verso la rete ha un valore superiore a 100 m/s^2 . Le attività difensive hanno i valori di accelerazione più bassi.

È stato condotto un periodo di prova di due settimane per valutare le prestazioni di rilevamento del sistema sviluppato. I risultati ottenuti mostrano l'affidabilità del funzionamento dell'unità

di misura inerziale portatile con un tasso di errore trascurabile.

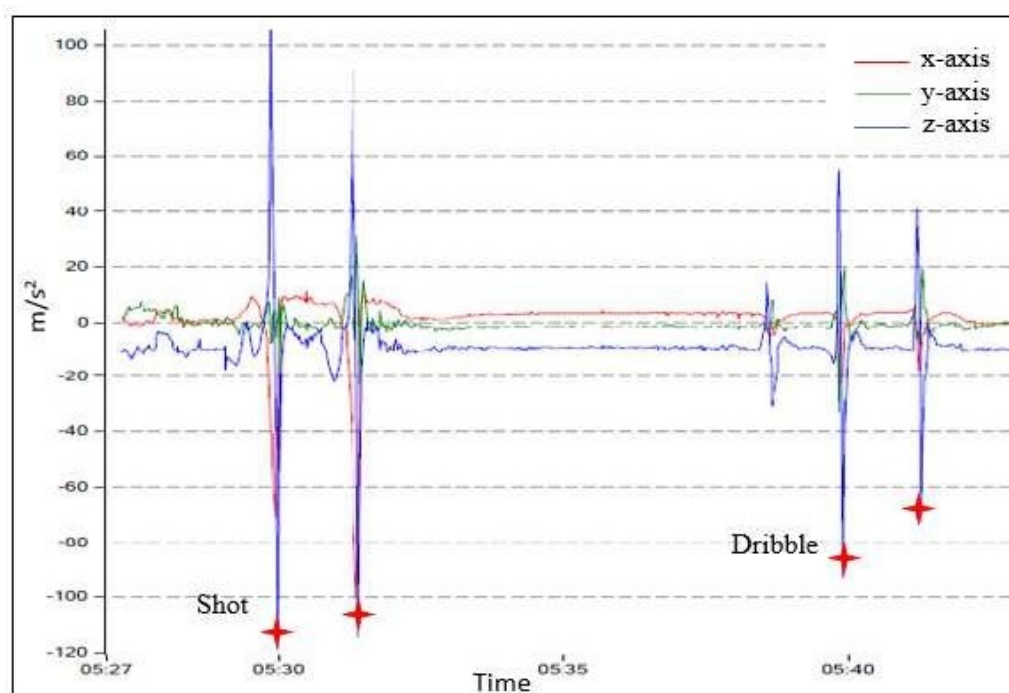


Figura 5. Accelerazione in m/s² per le attività sportive di basket.

2.3 2° DISPOSITIVO INDOSSABILE NELLA PALLACANESTRO

Il secondo sensore magneto-inerziale ha lo scopo di sostituire il semplice e anacronistico GPS che viene utilizzato per monitorare la posizione, la distanza e la velocità dei movimenti dei giocatori negli sport all'aperto in un dispositivo multisensoriale composto da un accelerometro, un giroscopio e un magnetometro ottimizzati per gli sport indoor come la pallacanestro.

I giocatori di basket indossano l'IMU in un'imbracatura di supporto, specificatamente progettata per fissare in modo discreto l'unità tra le scapole, in prossimità del loro baricentro, senza interferire con i movimenti o con il gioco dell'atleta.

Con il passare del tempo il GPS è stato gradualmente sostituito dall' IPS (sistema di posizionamento interno) che grazie ad una nuova tecnologia utilizza un segnale a radiofrequenza che disperde le informazioni su un'ampia porzione di spettri di frequenza,

consentendo la trasmissione di grandi quantità di dati con energia di trasmissione minima, permette in ultima analisi il rilevamento della posizione e del movimento garantendo quindi ,nella pallacanestro ,di misurare le percentuali di tiro, modelli di distribuzioni di tiri , assist e rimbalzi.

2.3.1 UNITA' INERZIALE DI MISURA

Tutti i partecipanti indossano la stessa IMU e un indumento di supporto per ogni pratica.

Tutti i dati ottenuti sono stati analizzati tramite il software Catapult Sport (Openfield, Catapult, Innovations, Melbourne, VIC, Australia) [viii] incluse le seguenti variabili di interesse:

1. PlayerLoad™(PL).
2. PlayerLoad™ al minuto (PL/Min).
3. PL bidimensionale (PL^{2D}).

PL è un vettore di grandezza, espresso come radice quadrata della somma del tasso di variazione istantaneo al quadrato in accelerazione in ciascuno dei tre piani ortogonali e diviso per il fattore di scala di 100 è espresso in unità arbitrarie (au).

$$\text{PlayerLoad} = \frac{(a_{y1} - a_{y-1})^2 + (a_{x1} - a_{x-1})^2 + (a_{z1} - a_{z-1})^2}{100}$$

a_y = accelerazione anteroposteriore.

a_x = accelerazione mediolaterale.

a_z = accelerazione verticale.

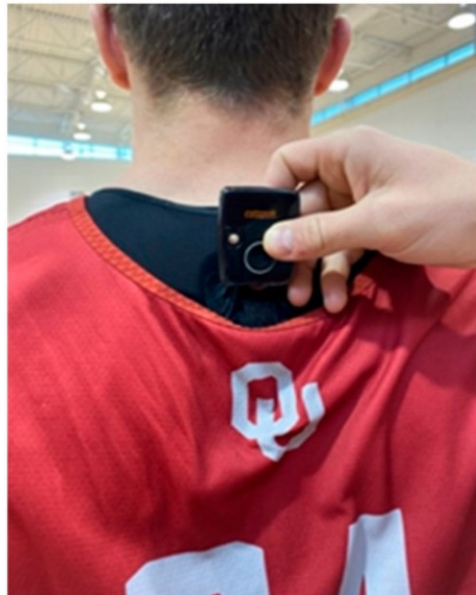


Figura 6. Unità di misura posizionata nell'indumento di supporto dell'atleta.

PL^{2D} include solo i dati dell'accelerometro triassiale dai piani di movimento mediolaterale e antero-posteriore.

I partecipanti indossavano il sensore IPS fissato alla scarpa in una guaina di gomma protettiva, avvolto intorno al laccio (Figura 7). Tutti i dati sono stati analizzati ed esportati utilizzando il software ShotTracker(ShotTracker, Mission, Kansas, Stati Uniti)^[vii].



Figura 7. Sensore del sistema di posizionamento (IPS) posto nella guaina protettiva in gomma sul laccio della scarpa dell'atleta.

2.3.2 PARAMETRI ESTRAIBILI

Questo studio ha permesso di identificare una correlazione positiva tra le variabili dell'IMU e IPS.

Variable	Practice 1	Practice 2	Practice 3	Effect (d) Practice 1-2	Effect (d) Practice 2-3	Effect (d) Practice 1-3
PL (au) *###+	420.4 ± 102.9	472.8 ± 109.5	295.1 ± 57.8	0.49	2.03	1.50
PL/Min (au/min) *	5.8 ± 1.4	5.1 ± 1.2	5.3 ± 1.0	0.54	0.18	0.41
PL ^{2D} (au) *###+	279.4 ± 70.2	311.4 ± 73.2	194.9 ± 42.5	0.45	1.95	1.46
PL ^{1D-UP} (au) *###+	265.9 ± 65.7	302.1 ± 70.4	187.3 ± 34.4	0.53	2.07	1.50
PL ^{1D-SIDE} (au) *###+	180.7 ± 45.4	201.5 ± 49.4	125.3 ± 25.7	0.44	1.94	1.50
PL ^{1D-FWD} (au) *###+	175.1 ± 46.9	194.9 ± 46.1	122.78 ± 30.1	0.43	1.85	1.33
IPS Distance (m) *###+	1645.9 ± 377.0	1940.0 ± 436.3	1198.2 ± 219.2	0.72	2.15	1.45

Tabella 1. Statistiche descrittive delle variabili di carico di addestramento esterno durante ogni pratica.

I risultati delle correlazioni tra la distanza IPS e le variabili IMU di PL, PL/Min, PL^{2D}, PL^{1D-SIDE}, PL^{1D-FWD} e PL^{1D-UP} delineati nella Tabella 2.

	Practice	PL	PL/Min	PL ^{2D}	PL ^{1D-FWD}	PL ^{1D-SIDE}	PL ^{1D-UP}
IPS (Distance)	Practice 1	0.891 **	0.891 **	0.863 **	0.799 **	0.879 **	0.887 **
	Practice 2	0.947 **	0.947 **	0.901 **	0.819 **	0.944 **	0.972 **
	Practice 3	0.858 **	0.872 **	0.809 **	0.810 **	0.761 **	0.891 **

IPS = indoor positioning system; PL = PlayerLoad™; PL^{2D} = 2-Dimensional PlayerLoad™; PL^{1D-FWD} = 1-Dimensional PlayerLoad™ Forwards; PL^{1D-SIDE} = 1-Dimensional PlayerLoad™ Side; PL^{1D-UP} = 1-Dimensional PlayerLoad™ Up; ** = $p \leq 0.001$.

Tabella 2. Correlazione tra le variabili dell'unità di misura inerziale e la distanza di posizionamento interna.

Si può notare dalla Figura 8 come la componente verticale del PL (PL^{1D-UP}) contribuisca meno, mentre le componenti antero-posteriori combinate (PL^{1D-FWD}) e mediolaterali (PL^{1D-SIDE}) contribuiscono a una maggiore proporzione del PL totale durante il gioco del basket, rispetto alla corsa lineare tradizionale. In particolare, gli sport all'aperto hanno documentato come la componente verticale contribuisca per circa il 55% al PL, tuttavia,

questo valore è ridotto al $42,8 \pm 2,2\%$ durante il gioco del basket nel presente studio^[vii]. Questi risultati sono probabilmente legati alla grande componente laterale del basket, così come alle frequenti accelerazioni e decelerazioni, dettate dalle dimensioni del giocatore e dalla natura intermittente dello sport.

I movimenti acceleratori e deceleratori produrrebbero forze di reazione al suolo più orizzontali e meno verticali rispetto alla velocità massima di corsa comunemente eseguita nelle aree di gioco più ampie tra gli sport all'aria aperta.

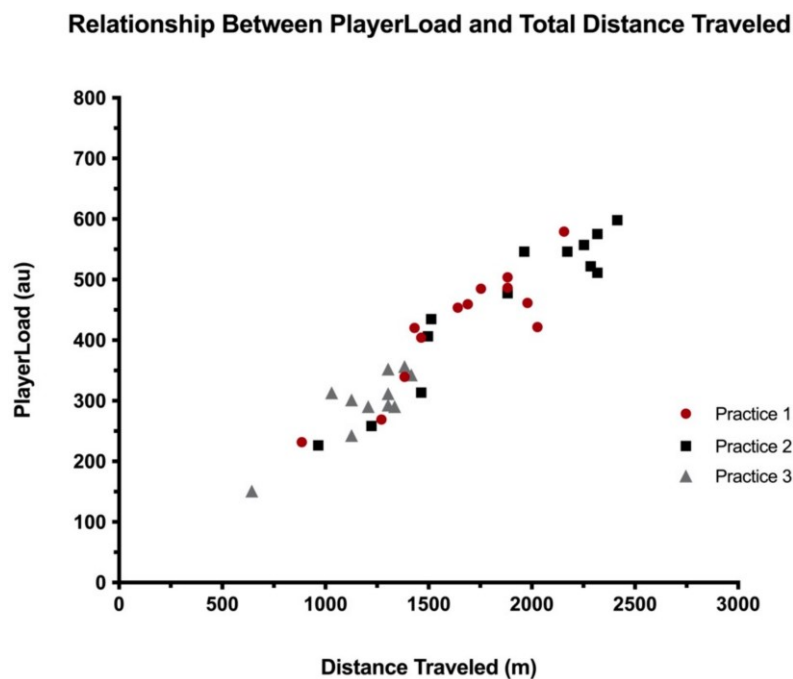


Figura 8. Relazione tra PlayerLoad e Total distance Traveled.

Come precedentemente proposto, questi dati suggeriscono come la componente verticale dell'attività nel basket svolga un ruolo minore nel mascherare un lieve aumento dei vettori di movimento anteroposteriore e mediolaterale rispetto a quello sperimentato in altri sport.

CAPITOLO 3.

PATTINAGGIO ARTISTICO.

3.1 INTRODUZIONE

Questo capitolo tratta della progettazione e la valutazione sperimentale di un sistema di sensori indossabili, non invasivi, che possono essere utilizzati per acquisire informazioni cruciali sulle prestazioni degli atleti durante l'allenamento di pattinaggio artistico.

È stata condotta una ricerca bibliografica approfondita attraverso i motori di ricerca Google come PubMed, Scopus e The Journal Of Stength And Conditioning Research.

In particolare, inserendo le seguenti keywords:

- 1) Skating inertial measurements.
- 2) IMU and skating.
- 3) MIMU and sport.

sono stati ottenuti 300 paper differenti suddivisi in:

1° keyword → 214 paper differenti.

2° keyword → 85 paper differenti.

3° keyword → 170 paper differenti.

Successivamente, attraverso un processo di scrematura accurato, ho selezionato i 4 paper più completi ed interessanti.

Tale scelta è stata condotta in base alle variabili utilizzate come accelerazione e velocità angolare utilizzando accelerometri e giroscopi. Ho selezionato i paper anche in base al numero e al tipo di soggetti (necessariamente maggiore di 10 e semi-professionisti o professionisti) in modo da ottenere una stima più accurata dei parametri ottenuti.

Inoltre, l'obiettivo era quello di utilizzare paper il più recenti possibili, in termini di pubblicazione, in modo che i dispositivi analizzati siano tutt'ora utilizzati dagli atleti.

STRUMENTAZIONI DI INTERESSE

Titolo	Anno	Nr, soggetti	Stereo	IMU	Prova clinica si o no	Variables	Task
A Wearable System for Jump Detection in Inline Figure Skating.	2022	4 0 uomini 4 donne		X	No	Velocità angolare, accelerazione.	Altezza dei salti rilevati, varianza degli scostamenti rispetto allo scostamento medio e campioni del giroscopio.
Estimation of Mechanical Power Output Employing Deep Learning on Inertial Measurement Data in Roller Ski Skating.	2021	13 10 uomini 3 donne		X	No	Velocità angolare, accelerazione.	Potenza prodotta dallo skater.
Detection of Movement Events of Long-Track Speed Skating Using Wearable Inertial Sensors.	2021	12 6 uomini 6 donne		X	No	Accelerazione sagittale del piede e velocità angolare.	Accelerazione, pressione del piede e angolo flessione ginocchio.
A sport-specific wearable jump monitor for figure skating.	2018	7 1 uomini 6 donne		X	No	Velocità angolare, accelerazione.	Altezza del salto.

3.2 1° PRIMO DISPOSITIVO INDOSSABILE PER IL PATTINAGGIO

Il primo dispositivo trattato è caratterizzato dall'utilizzo di sensori di distanza, tempo di volo e giroscopi. Il sistema è in grado di rilevare quando vengono eseguiti i salti e fornisce una vista live dei dati (ad esempio, il numero e l'altezza dei salti) attraverso un'interfaccia utente grafica. La principale novità di questo approccio risiede nel modo in cui i sensori ottici sono orientati. Tipicamente, i sensori sono orientati orizzontalmente e posizionati a coppie sul terreno, dove misurano l'intervallo di tempo tra il momento in cui l'atleta lascia il terreno e il momento in cui atterra.

3.2.1 ARCHITETTURA

In questo sistema, un sensore ottico è posizionato sotto ogni piede ed è orientato verticalmente in modo da misurare costantemente la distanza dal suolo. Un giroscopio è posizionato sulla schiena dell'atleta fornendo così informazioni sulla direzione e sul momento angolare del movimento. Combinando questi dati, il sistema fornisce il rilevamento accurato dei vari salti ed elementi tecnici.

L'architettura complessiva del sistema proposto è illustrata nella Figura 9.

Esso prevede l'utilizzo di sensori di distanza, di tempo di volo e di un giroscopio collegato ad un piccolo computer che ha il compito di recuperare i dati dei sensori e di memorizzarli per una successiva valutazione attraverso un'applicazione personalizzata.

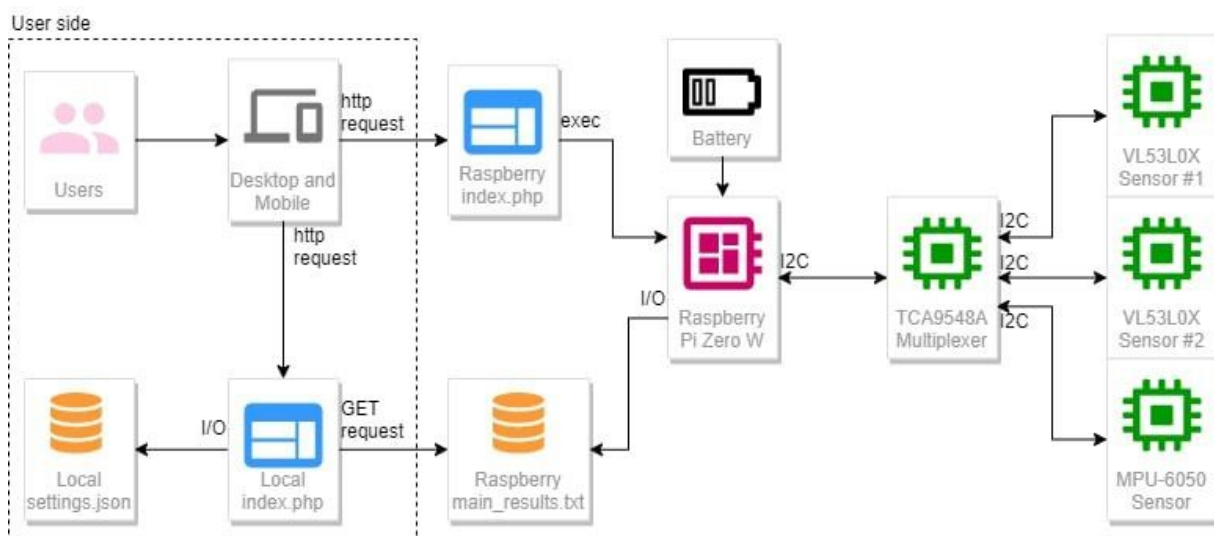


Figura 9. Una panoramica dei componenti software e hardware del sistema.

Il sistema è costituito da due sensori laser posti sotto i pattini (all'interno del telaio) e da una centralina posta sul retro dell'atleta, composta da una scheda RPiZW^[xi] e da un giroscopio triassiale.

Quando sia l'unità di controllo che il dispositivo dell'utente sono collegati alla stessa rete, è possibile per l'utente avviare il processo di campionamento utilizzando un'interfaccia grafica semplice e reattiva. Quando viene eseguito il processo di campionamento, l'unità di controllo inizia a registrare tutti i dati dei sensori in un file di testo condiviso in formato CSV.

La posizione migliore per i sensori a infrarossi è tra la seconda e la terza ruota, dove il terreno sarebbe stato direttamente visibile (Figura 10). La distanza minima da terra varia da 5 cm a 10 cm.

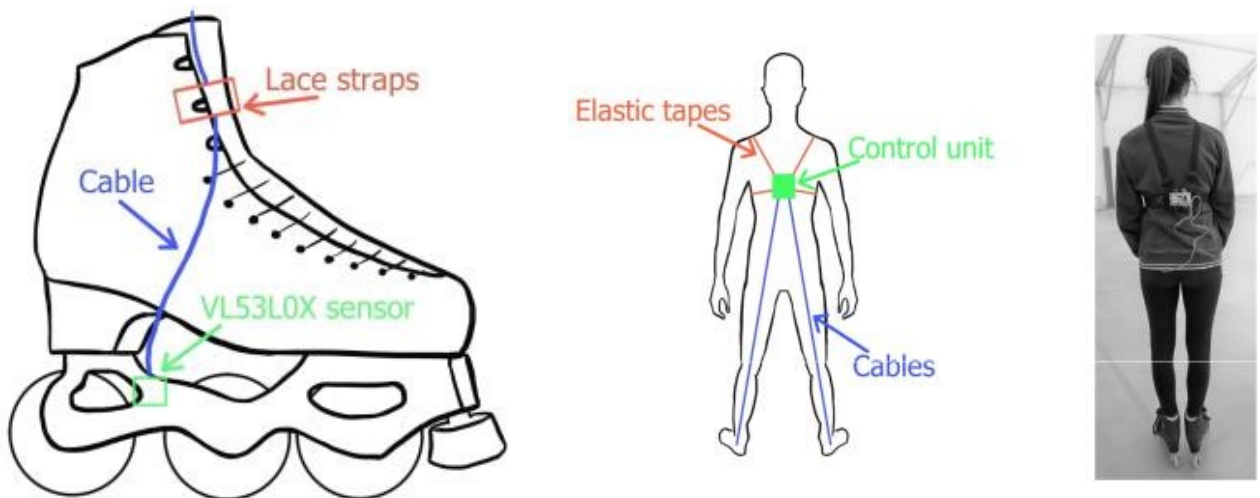


Figura 10. Il posizionamento del sensore sul pattino.

3.2.2 PARAMETRI ESTRAIBILI

La Figura 11 mostra l'interfaccia utente grafica basata sul Web che è disponibile per l'utente.

Lo screenshot mostra l'applicazione in pausa, dove i seguenti elementi dell'interfaccia utente appaiono dall'alto verso il basso:

1. Un grafico in tempo reale mostra le altezze dei salti, campionate dai due sensori laser.
2. Il “Numero di Salti” visualizza il numero totale di salti rilevati.
3. L’ “Altezza massima” visualizza il salto più alto tra tutti quelli rilevati, con il più basso dei due piedi sempre segnalato;
4. Il “Campioni Giroscopio” visualizza i valori del giroscopio corrispondenti ai salti rilevati.

Quando l'applicazione è in modalità "play", l'utente può monitorare i dati raccolti in tempo reale e vedere il grafico tracciato con le altezze di salto campionate dai sensori.

In modalità “pausa”, il recupero dei dati si arresta temporaneamente, consentendo all'utente di esaminare i dati raccolti fino a quel momento, ingrandire il grafico e ispezionare i valori con maggiore attenzione.

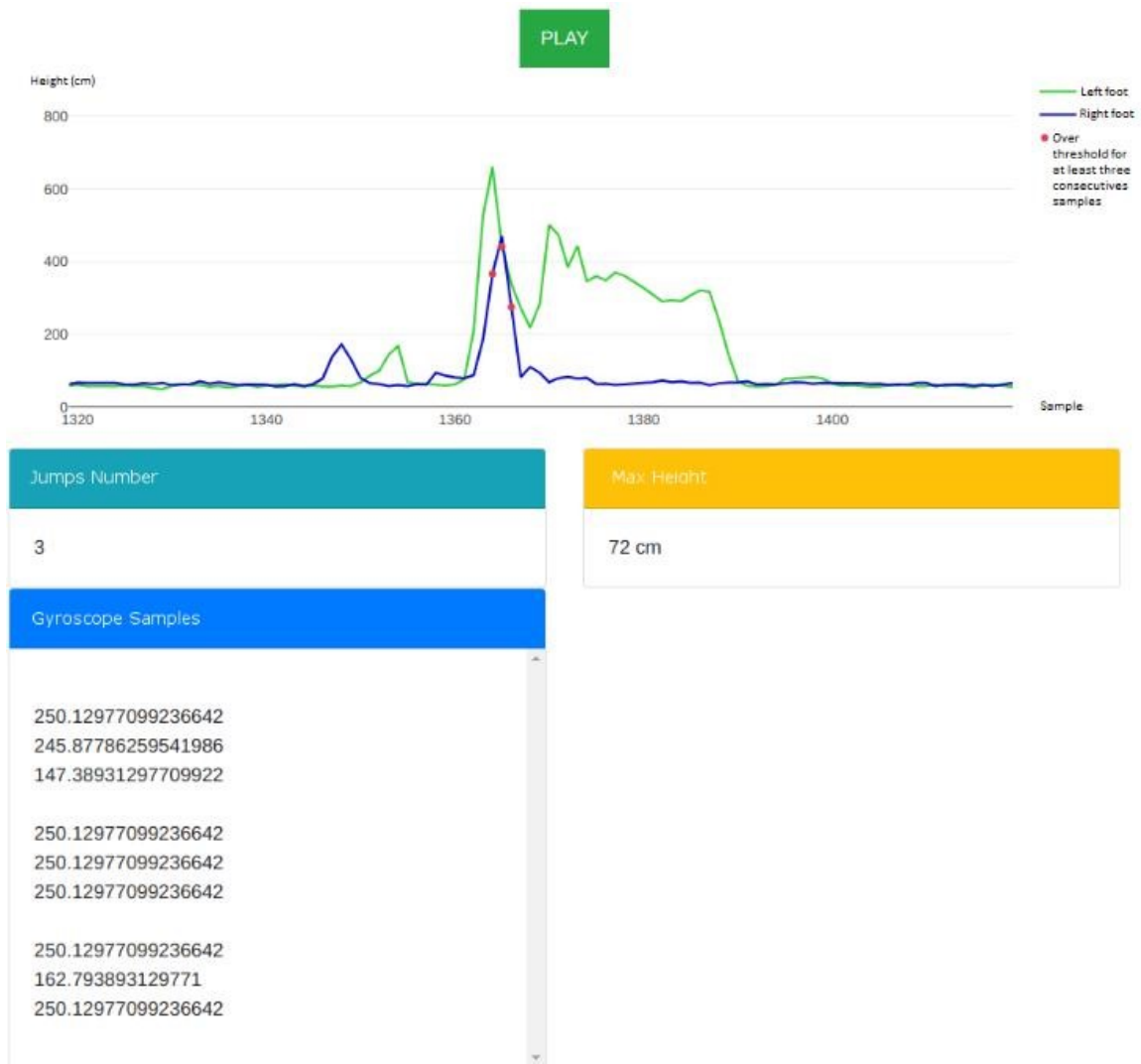


Figura 11. Il grafico mostra le altezze di salto campionate in tempo reale dai sensori.

È interessante riportare anche il grafico relativo ad una serie 10 salti squat di quattro atleti, con lo scopo di valutare l'accuratezza dei due sensori laser situati sotto ogni piede. Gli squat sono stati eseguiti indossando i pattini, da posizione eretta, usando entrambi i piedi per saltare il più in alto possibile.

Come riferimento per le misurazioni è stata adottata una cintura Abalakov^[xv]: una pratica standard negli sport che prevedono salti.

La tabella 3 riporta le seguenti statistiche dei salti in squat, condotti in una serie di 10, per ogni atleta:

1. Le altezze minime, massime e medie $H_{\min/\max/m}$, lette dai sensori laser.
2. Il valore medio H_m^{ref} di altezze, misurato utilizzando il nastro Abalakov^[xv].
3. Lo scostamento assoluto minimo, massimo e medio $D_{\min/\max/m}$ tra i valori letti dai sensori e quelli misurati dal nastro.
4. la varianza σ^2_D degli scostamenti, rispetto allo scostamento medio D_m .

Athlete #	H_{min} (cm)	H_{max} (cm)	H_{μ} (cm)	H_{μ}^{ref} (cm)	D_{min} (cm)	D_{max} (cm)	D_{μ} (cm)	σ^2_D	Accuracy
1	20.3	23.6	22.11	23.71	0.4	2.7	1.60	0.73	93.25%
2	28.6	32.4	30.39	32.14	0.1	2.9	1.75	0.65	94.56%
3	25.3	29.6	27.70	26.07	0.6	2.7	1.63	0.51	93.74%
4	38.4	42.1	40.43	38.75	0.5	2.6	1.68	0.46	95.66%

Tabella 3. Misure del salto squat: le altezze min/max/media lette dai sensori; l'altezza media di riferimento letta dal nastro Abalakov^[xv]; la deviazione min/max/media tra i dati dei sensori e il nastro; la varianza delle deviazioni; la precisione.

È utile rappresentare in un box plot gli scostamenti tra i valori letti dai sensori laser e quelli misurati dalla cintura di Abalakov^[xv].

L'accuratezza è stata definita come il rapporto tra la deviazione media assoluta D_u l'altezza media di riferimento H_u^{ref} :

$$Accuracy = 1 - D_u / H_u^{ref}$$

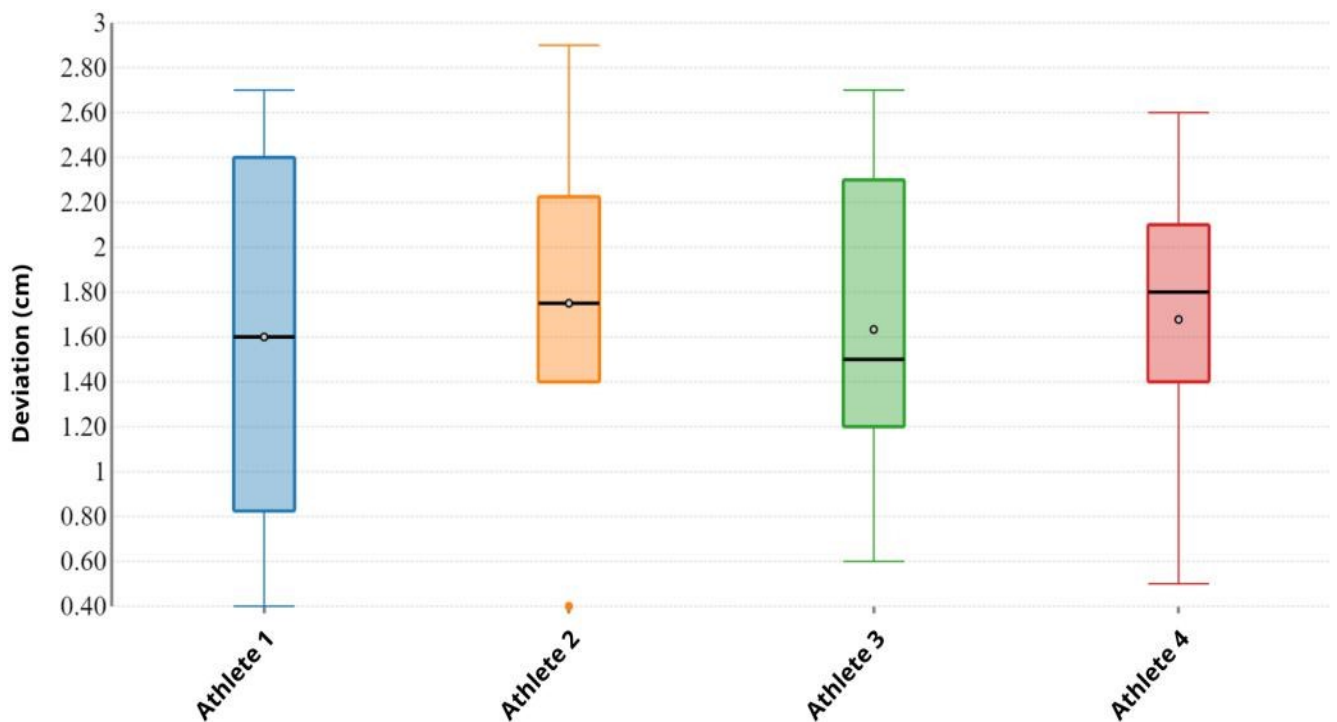


Figura 12. Un box plot degli scostamenti tra i dati del sensore e la misura di riferimento della cintura per ogni atleta. I punti vuoti rappresentano la media e i segmenti neri sono la mediana. Nonostante le diverse caratteristiche fisiche degli atleti, le deviazioni sono state abbastanza stabili, con una media complessiva di circa 1,61 cm e una varianza relativamente bassa.

3.3 ALTRI SENSORI MAGNETO-INERZIALI NEL PATTINAGGIO

Lo scopo di questo sotto-capitolo è quello di stimare l'accuratezza delle IMU per l'identificazione del contatto del piede nei pattinatori durante il pattinaggio di velocità a pista lunga.

3.3.1 ARCHITETTURA

Facendo riferimento ad uno studio precedentemente effettuato^[ix] i sensori IMU sono stati attaccati con nastro biadesivo alla pelle in posizioni standardizzate sul torace inferiore, sul bacino e bilateralmente su cosce, stinchi e piedi.

Lower Thoracic	In line with the spinal column at L1/T12
Pelvic	Body area of the sacrum
Thigh	Frontal and distal half (where there is less muscle displacement during motion)
Shank	Front and slightly medial (along the tibia)
Foot	Upper foot, slightly below the ankle

Tabella 4. Posizione dei sensori.

I soggetti indossavano tute da corsa a compressione progettate specificamente per la forma del corpo di ciascuno dei singoli partecipanti assicurando che lo spostamento dei sensori non si verificasse durante la registrazione. Le posizioni dei sensori sono state contrassegnate sulla pelle o sulle scarpe da pattinaggio con una penna per verificare che non ci fossero cambiamenti nelle posizioni dei sensori prima e dopo le registrazioni dei dati.

3.3.2 PARAMETRI ESTRAIBILI

Vengono esclusi i dati del primo, dell'ultimo rettilineo e quelli relativi alla prima curva perché in questi tratti la tecnica di pattinaggio differisce dal segmento che si vuole analizzare.

Sono stati adottati tre tipi di metodi analitici per rilevare il contatto e lo stacco del piede (Tabella 5).

Name	Type of Sensor	Type of Signal
Kinetic detection	Foot pressure	Force
Acceleration detection	IMU	Foot sagittal acceleration
Integrated detection	IMU	Foot sagittal acceleration + knee flexion angle

Tabella 5. Panoramica dei tre metodi analitici utilizzati per rilevare il contatto e lo stacco del piede

Il primo rilevamento è basato sui dati dell'accelerazione sagittale del piede (direzione anteriore-posteriore). Il segnale di accelerazione è stato utilizzato perché cambia continuamente durante l'intera misurazione. Tali segnali misurati sono stati filtrati e decomposti nelle loro componenti ad alta frequenza (linea rossa nella figura 6B) e a bassa frequenza (linea blu nella figura 6B). La componente ad alta frequenza rappresenta i cambiamenti di accelerazione istantanei e mostra il contatto del piede (la linea continua verticale nella figura 6B) e l'allontanamento del piede (la linea tratteggiata verticale nella figura 6B).

La componente a bassa frequenza rappresenta cambiamenti di accelerazione più lenti e mostra il movimento dell'oscillazione della gamba. I dati sono divisi in modo tale che ogni segmento comprende l'inizio e la fine del movimento di oscillazione in base alla componente a bassa frequenza dell'accelerazione.

Il secondo rilevamento è basato sulla combinazione dell'accelerazione del piede con l'angolo di flessione del ginocchio. L'angolo di flessione del ginocchio ha mostrato un modello fasico all'interno di ogni colpo (Figura 6C), consentendo una chiara segmentazione dei colpi. I dati ottenuti sono divisi in modo che ogni segmento comprenda l'inizio e la fine del modello fasico. Il primo e il secondo picco del segnale sono stati impostati rispettivamente come contatto del piede (la linea continua verticale nella Figura 6C) e allontanamento del piede (la linea tratteggiata verticale nella Figura 6C).

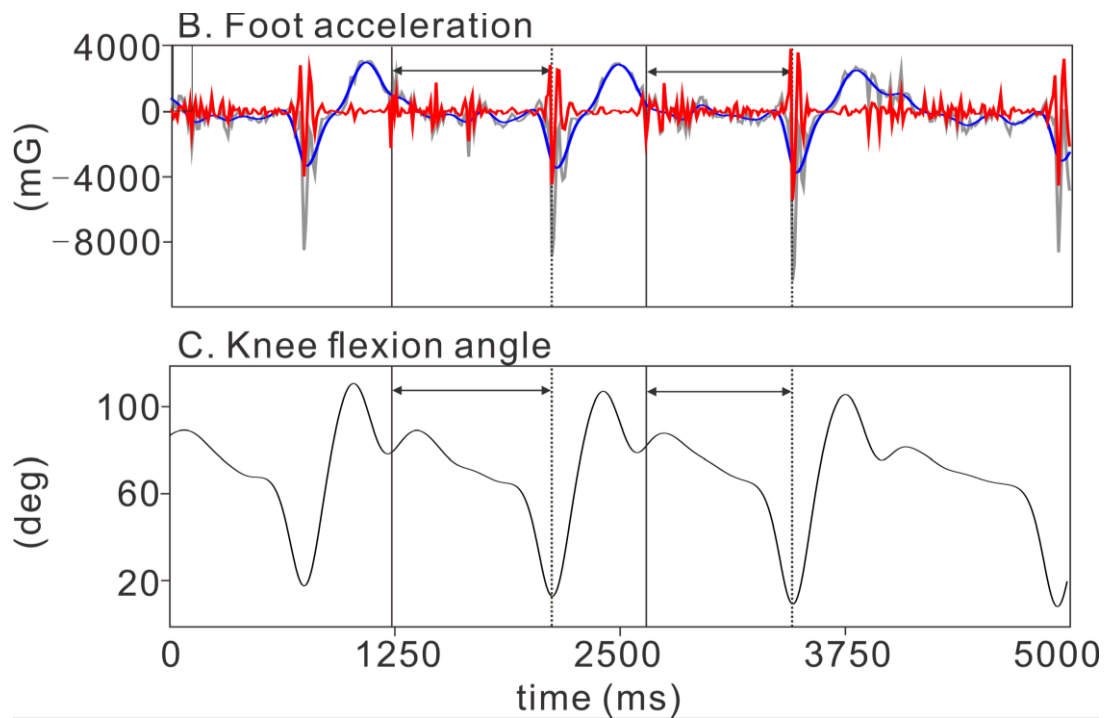


Figura 13.

B) Foot acceleration.

Rilevamento dell'accelerazione utilizzando l'accelerazione sagittale del piede.
 Linea grigia: accelerazione sagittale grezza. Linea rossa: accelerazione sagittale filtrata passa-alto. Linea blu: accelerazione sagittale filtrata passa-basso.

C). Knee flexion angle.

Rilevamento integrato utilizzando sia l'accelerazione sagittale del piede che l'angolo di flessione del ginocchio.

4. CONCLUSIONE

Lo scopo di questa tesi è stato quello di analizzare l'uso dei dispositivi indossabili per il monitoraggio dell'attività del giocatore durante le sue attività sportive. I sensori raccolgono i dati in modo non invasivo e i segnali derivati dai sensori forniscono informazioni preziose al giocatore per migliorare le sue prestazioni.

La prima applicazione, costituita da un'unità di misura collegata, genera segnali di movimento trasmettendo i dati raccolti ad un dispositivo di visualizzazione in tempo reale in modo da permettere agli allenatori di visualizzare i movimenti dei giocatori tramite interfacce grafiche, ottenendo così la visualizzazione della velocità angolare, in gradi al secondo, nei diversi movimenti dei giocatori. Questo serve per valutare le singole performance dei giocatori durante le attività di gioco come il passaggio, dribbling e tiro.

La seconda applicazione garantisce un'analisi riguardante l'associazione tra le tecnologie IMU e sistemi di posizionamento interni (IPS) comunemente utilizzate nel basket. Ogni dispositivo è in grado di ottenere informazioni che possono risultare utili in un percorso di intervento per limitare e migliorare aspetti deboli del giocatore con conseguenti notevoli benefici. In particolare, i dati raccolti si ottengono dalle correlazioni tra le variabili dell'unità di misura inerziale e la distanza dal IPS.

Per quanto riguarda il pattinaggio invece, nella prima applicazione l'efficacia del sistema di rilevamento dei salti, composto da un sensore ottico posizionato in entrambi i pattini e un giroscopio posizionato nella schiena dell'atleta, ha dimostrato una precisione che oscilla tra il 95% e il 100% nel rilevamento dell'altezza effettiva del salto.

Nella seconda applicazione nel pattinaggio è stata stimata l'accuratezza delle IMU per identificare il contatto del piede nei pattinatori di velocità permettendo così di rilevare i parametri relativi all'accelerazione utilizzando l'accelerazione sagittale del piede e i parametri relativi all'angolo di flessione del ginocchio durante il pattinaggio.

Si può concludere che tali sensori utilizzati in ambito sportivo, oltre ad essere semplici da utilizzare, permettono di raccogliere i dati in modo non invasivo fornendo informazioni preziose al giocatore per il miglioramento delle prestazioni e per prevenire eventuali infortuni.

5. BIBLIOGRAFIA

- ⁱ N. Nithya,G.Nallavan <<Role of Wearables in Sports based on Activity recognition and biometric parameters: A Survey>>.
- ⁱⁱ V.Camomilla,E.bergamini,S.Fantozzi,G.Vannozzi <<Trends Supporting the In-Field Use of Wearable Inertial Sensors for Sport Performance Evaluation: A Systematic Review>>.
- ⁱⁱⁱ Z.Sawacha << Slide bioingegneria del movimento e riabilitazione 2021/2022>>.
- ^{iv} J.Slawinski, J.Louis, J.Poli, E.Tiollier, C.Khazoom, D.Dinu<<The Effects of Repeated Sprints on the Kinematics of 3-Point Shooting in Basketball>>.
- ^v D.Wong, W.Lam, T.Chen, Q.Tan, Y.Wang, M.Zhang.<<Effects of Upper-Limb, Lower-Limb, and Full-Body Compression Garments on Full Body Kinematics and Free-Throw Accuracy in Basketball Players>>.
- ^{vi} A.Ferro,J. Tejero,G.Garrido,J.Villacieros. <<Relationship between Sprint Capacity and Acceleration of Wrists in Wheelchair Basketball Players: Design and Reliability of a New Protocol>>.
- ^{vii} A.Heishman,K.Peak,R.Miller,B.Brown,B.Daub,E-Freitas,M.Bemben. << Associations Between Two Athlete Monitoring Systems Used to Quantify External Training Loads in Basketball Players>>.
- ^{viii} D.Bruening, R.Reynolds,C.Adair,P.Zapalo,S.Ridge << A sport-specific wearable jump monitor for figure skating >>.
- ^{ix} Y.Tomita,T.Lizuka,K.Irisawa,S.Imura << Detection of Movement Events of Long-Track Speed Skating Using Wearable Inertial Sensors>>.
- ^xT.Seeberg,J.Kocbah,A.Liverud,V.Gonzalez,O.Sandbakk,F.Meyer.<<Estimation of Mechanical Power Output Employing Deep Learning on Inertial Measurement Data in Roller Ski Skating >>.
- ^{xi} A.Panfili,A.Spanò,A.Cortesi. << A Wearable System for Jump Detection in Inline Figure Skating >>.
- ^{xii} N.abdallah,R.Brahim,Y.bouslimani.M.Ghribi,A.kaddouri <<IoT device for Athlete's movements recognition using inertial measurement unit (IMU) >>.
- ^{xiii}R.Horenstein,Y.Goudeau,C.Lewis,S.Shefelbine. <<Using Magneto-Inertial Measurement Units to Pervasively Measure Hip Joint Motion during Sports >>.
- ^{xiv} D.Komarlis,G.Tarfali,B.O'Flynn,S.Tedesco. << Unsupervised IMU-based evaluation of at-home exercise programmes: a feasibility study>>.
- ^{xv} A.Lozano,R.Gascon,I.Lopez,N.Vallejo<<Comparison Of Two Systems Designed To Measure Vertical Jump Height Comparación de dos sistemas diseñados para medir altura de salto vertical>>

