



# **Identificazione precoce e monitoraggio di sintomi neurologici**

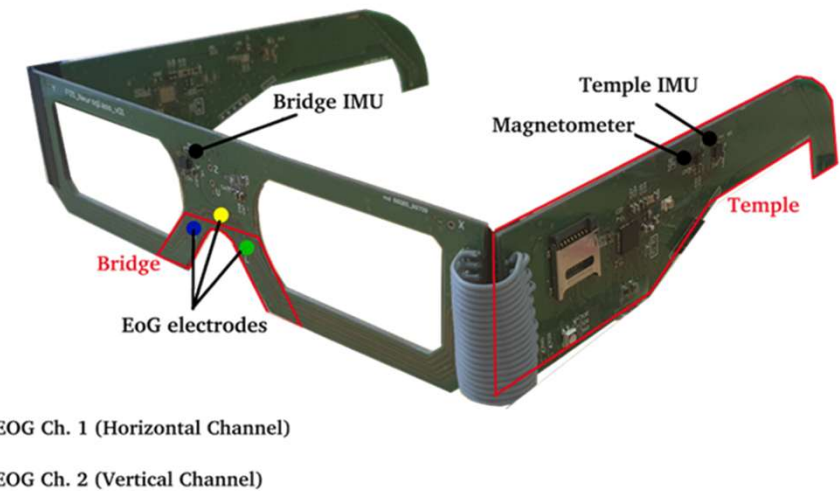
# Neuroglass

Prototipo di occhiali sensorizzati

- Rilevamento del **tremore essenziale (ET)** del capo
- Conteggio del numero di **ammiccamenti (EB)**
- Trasparente all'utente finale

NeuroGlass è equipaggiato con

- 2 sensori inerziali (**IMUs**)
- 1 **Magnetometro**
- Sensori elettro-oculografici a 2 canali (**EOG**)



# Neuroglass

## IMU

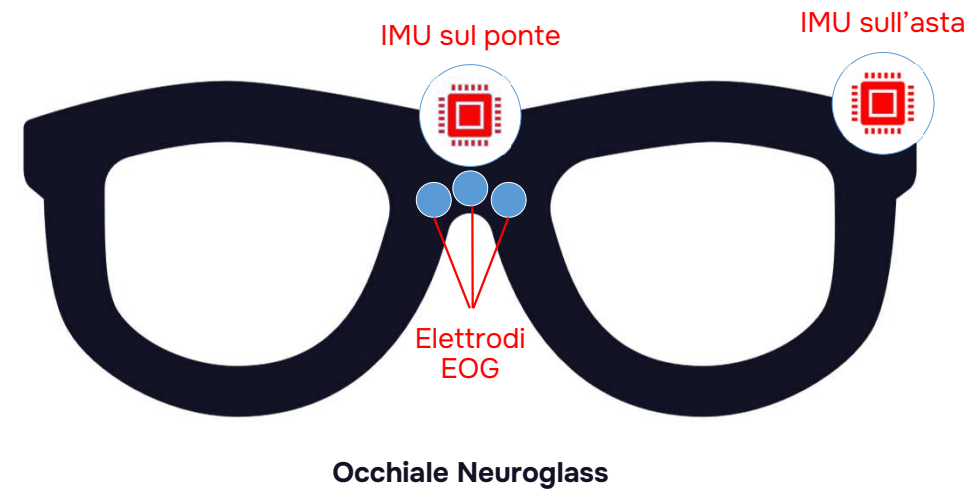
Raccoglie misure relative alla direzione dei movimenti, in base alla forza gravità ed alla velocità di rotazione

## Magnetometro

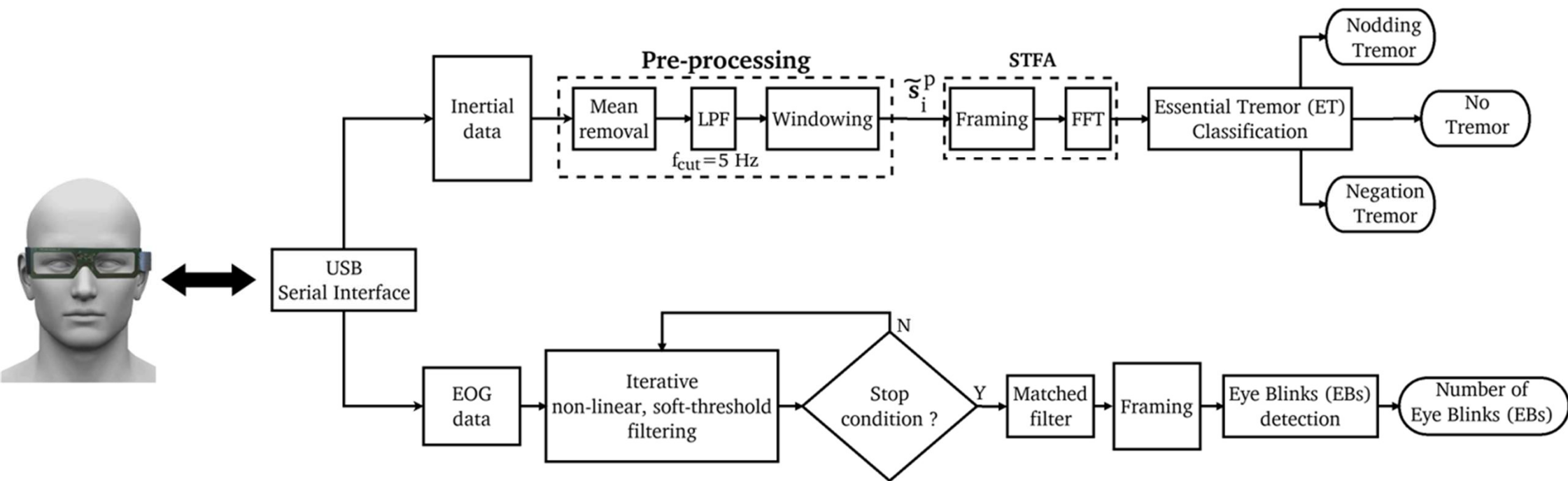
Determina l'orientamento e la posizione relativa del dispositivo

## Elettrodi EOG

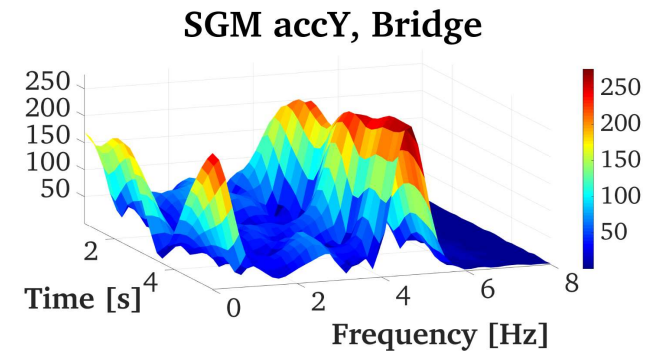
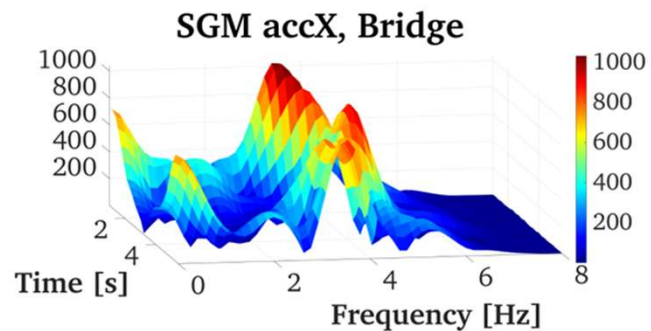
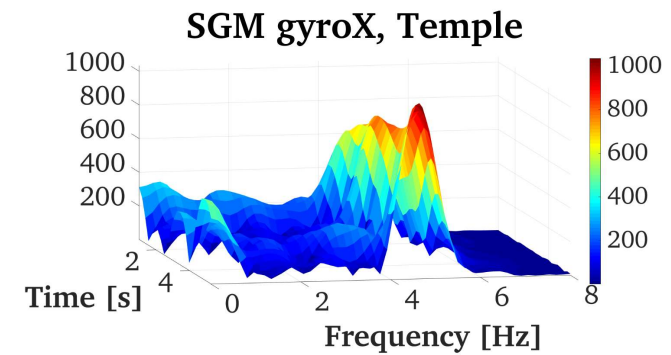
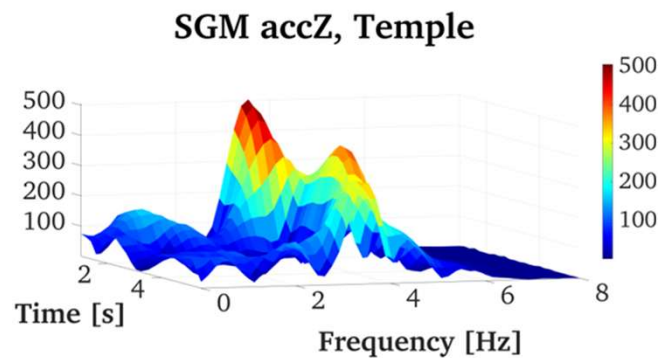
Raccolgono dati sull'attività elettrica dei muscoli associata ai movimenti oculari



# Neuroglass: algoritmo



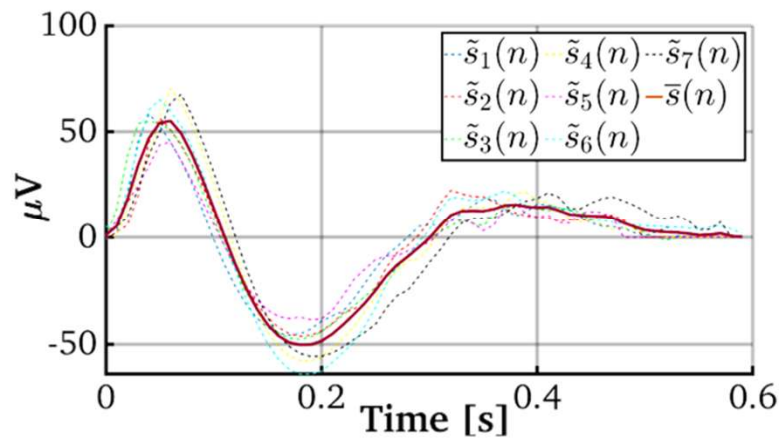
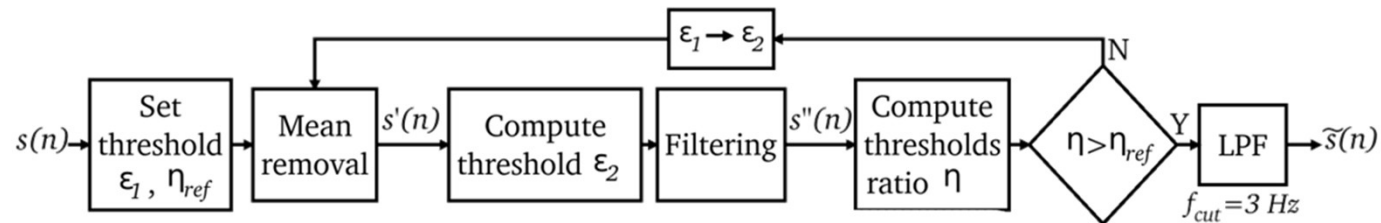
# Spettrogramma del tremore



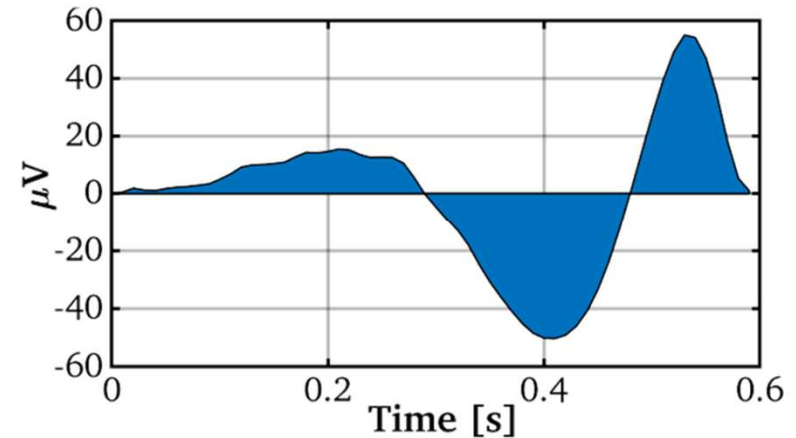
**Affermativo**

**Negativo**

# Rilevamento degli ammiccamenti



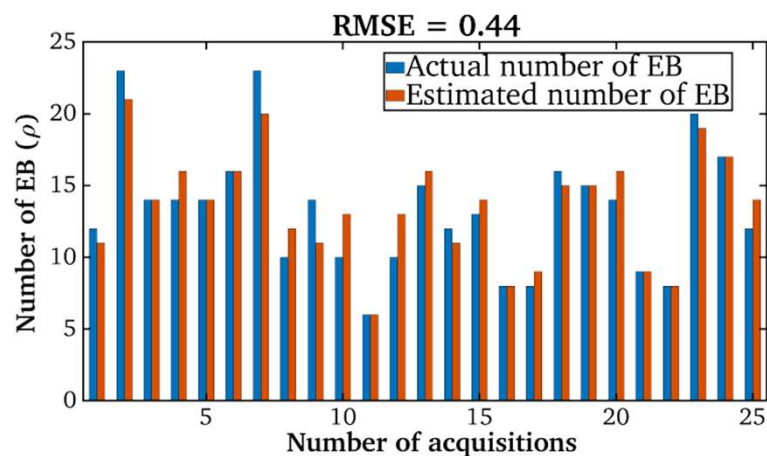
**Derivata del secondo ordine**



**Filtro adattato**

Valore effettivo	Predizione		
	Nessun tremore	Tremore affermativo	Tremore negativo
Nessun tremore	99.85	0.1	0.05
Tremore affermativo	6.25	93.75	0
Tremore negativo	0.5	0.75	98.75

# Rilevamento di tremore e ammiccamenti: risultati



L'**accuratezza** media ottenuta nel rilevamento del **tremore essenziale** è del **97%**

L'errore quadratico medio (**RMSE**) ottenuto nella stima del numero di **ammiccamenti** è **0.44**.

## Pubblicazioni

A. Sciarrone, I. Bisio, C. Garibotto, F. Lavagetto, M. Hamedani, V. Prada, A. Schenone, F. Boero, G. Gambari, M. Cereia and M. Jurilli, "Early Detection of External Neurological Symptoms through a Wearable Smart-Glasses Prototype," in Journal of Communications Software and Systems, vol. 17, no. 2, pp. 160-168, June 2021, doi: 10.24138/jcomss-2021-0071.

A. Sciarrone, I. Bisio, C. Garibotto, F. Lavagetto, G. Staude and A. Knopp, "A Wearable Prototype for Neurological Symptoms Recognition," ICC 2020 - 2020 IEEE International Conference on Communications (ICC), Dublin, Ireland, 2020, pp. 1-7, doi: 10.1109/ICC40277.2020.9149017.

A. Sciarrone, I. Bisio, C. Garibotto, F. Lavagetto, G. Staude and A. Knopp, "Leveraging IoT Wearable Technology towards Early Diagnosis of Neurological Diseases," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 39, no. 2, pp. 582-592, Feb. 2021, doi: 10.1109/JSAC.2020.3021573.

A. Sciarrone, I. Bisio, C. Garibotto, F. Lavagetto, M. Hamedani, V. Prada, S. Stara, A. Schenone, F. Boero, G. Gambari, "NeuroGlasses: A Wearable Prototype for Early Detection of Neurological Symptoms", 5th International Conference on Smart and Sustainable Technologies 2020 (SpliTech 20), 23-26 September 2020 (Virtual Conference), to appear.

I. Bisio, C. Garibotto, F. Lavagetto, A. Knopp, A. Sciarrone and G. Staude, "NeuroGlasses: A Wearable Prototype for Neurological Symptoms Recognition", ICC 2020 - 2020 IEEE International Conference on Communications (ICC), 2020, pp. 1-7, doi: 10.1109/ICC40277.2020.9149017.



# Valutazione dell'equilibrio e stima del rischio di caduta



# STABILENS

Occhiali smart equipaggiati con sensori accelerometrici per rilevare i movimenti del corpo umano

I movimenti della testa riflettono in maniera naturale i movimenti della parte inferiore del corpo

Tecniche di elaborazione dei segnali avanzate e algoritmi di Intelligenza Artificiale (AI) permettono di fare inferenze sull'equilibrio basandosi unicamente sui segnali accelerometrici raccolti dai sensori montati sugli occhiali





# Maculopatia

Disturbo oculare che interessa la **macula** (centro della retina)

La **visione centrale** è progressivamente **compromessa** ⇒ i pazienti devono sfruttare la **visione periferica** per svolgere le attività quotidiane

Il paziente mette in atto **specifici movimenti** della testa e del corpo per **compensare** le difficoltà nella **messa a fuoco**



# Disturbi neurologici

Le **malattie neurodegenerative** sono associate a vari tipi di **disturbi motori**

Esistono **sintomi prodromici** correlati agli stadi precoci di malattie come Parkinson ed Alzheimer:

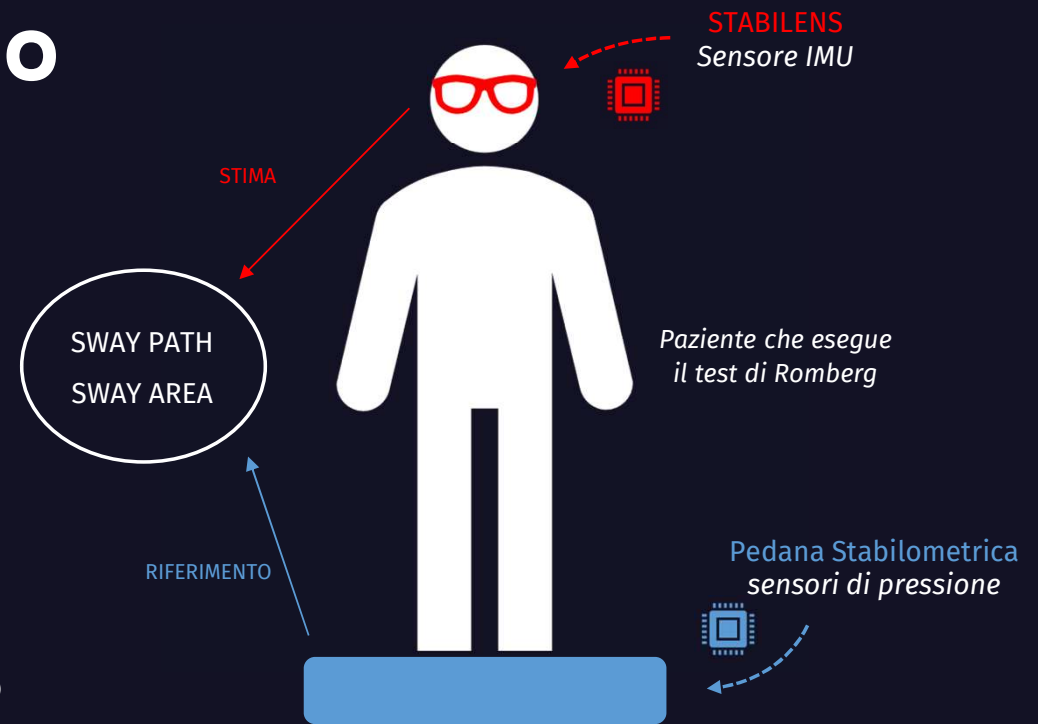
- **Tremore del capo**
- **Disfunzioni motorie**
- **Problemi di equilibrio**

# Valutazione dell'equilibrio

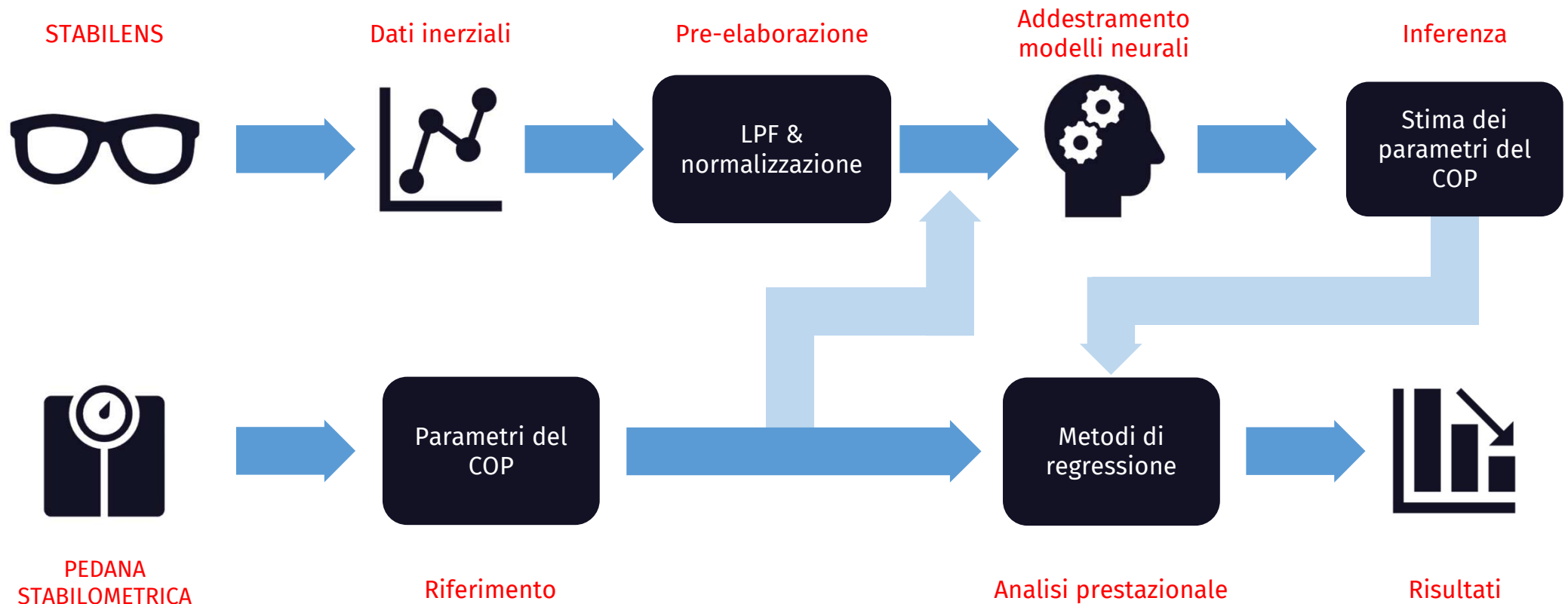
La ricerca **STABILENS** mira a inferire informazioni sulla **stabilità** e l'**equilibrio** del paziente basandosi unicamente sui **segnali inerziali** raccolti dagli occhiali

Test sperimentali hanno riguardato l'uso di una **pedana stabilometrica** in grado di misurare la traiettoria del **centro di pressione (COP)** attraverso sensori montati sulla superficie della pedana, da utilizzare come **riferimento**

Algoritmi di **elaborazione dei segnali** ed **intelligenza artificiale** applicati ai **segnali inerziali** provenienti dagli occhiali hanno permesso di stimare con significativa accuratezza l'andamento del centro di pressione (**sway path** e **sway area**)



# Stima dell'equilibrio: metodologia



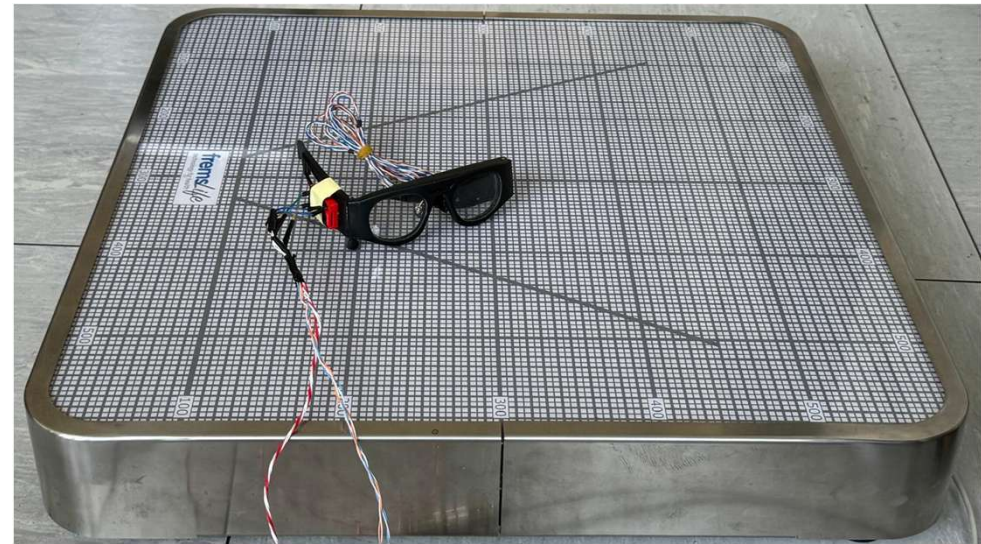
# Setup sperimentale

I dati vengono raccolti **simultaneamente** dall'occhiale STABLENS **e** dalla pedana stabilometrica

- STABLENS  $\Rightarrow$  **dati inerziali**
- Pedana  $\Rightarrow$  **traiettoria del COP**

Ciascuna acquisizione ha una durata di **40 s** e i segnali vengono campionati ad una frequenza di  **$f_s = 100 \text{ Hz}$**

Gli occhiali e la pedana sono **sincronizzati via hardware**, tramite un comando di avvio condiviso, e tutte le misure includono un **timestamp**



L'occhiale STABLENS e la pedana ArgoPlus



# Raccolta dati

Ai fini della raccolta dati è stato chiesto ai pazienti di eseguire il **test di Romberg**

Il soggetto deve stare **in piedi sulla pedana** stabiometrica indossando l'occhiale **STABILENS** e mantenere per 40 secondi le seguenti posture:

1. Rimanere assolutamente **fermo** ad **occhi chiusi**
2. Mantenere la stessa posizione, ma con **occhi aperti**
3. Assumere una **postura libera** mantenendo gli **occhi aperti**

Statistiche dei partecipanti	
Soggetti	20
Maschi	13
Femmine	7
Età	27-38
Altezza (cm)	157 – 185
Peso (kg)	55-85

# Stima dell'equilibrio: risultati

Modelli	Sway path			Sway area			SP/SA		
	MAE	MSE	RMSE	MAE	MSE	RMSE	MAE	MSE	RMSE
<i>InceptionTime</i>	0.09	0.01	0.11	0.11	0.03	0.16	0.63	2.32	0.97
<i>RNN FCN</i>	0.08	0.01	0.1	0.11	0.02	0.12	0.19	0.17	0.26
<i>XResNet1d</i>	0.07	0.001	0.1	0.1	0.016	0.13	0.27	0.24	0.31
<i>TransformerRNN</i>	0.1	0.01	0.11	0.15	0.03	0.17	0.34	0.39	0.4
<i>ResNet</i>	0.12	0.02	0.14	0.14	0.02	0.15	0.29	0.3	0.35

L'equilibrio è stato stimato attraverso l'utilizzo di **modelli di deep learning** addestrati con i segnali acquisiti

Metriche prestazionali:

- **MAE** = Mean Absolute Error
- **MSE** = Mean Square Error
- **RMSE** = Root Mean Square Error

I risultati mostrano che è possibile **stimare** con ragionevole accuratezza i parametri del **centro di pressione** sfruttando solamente i segnali accelerometrici raccolti dall'occhiale **STABILENS**



## Pubblicazioni

H. Haleem, M. Shahid, I. Bisio, C. Garibotto, F. Lavagetto, S. Nozari and A. Sciarrone, “Replacing Force Plates with IMU-based Smart Glasses for Balance Assessment,” 2024 IEEE International Conference on E-health Networking, Application & Services (Healthcom), Nara, Japan, [to appear].

I. Bisio et al., "Towards Sensorized Glasses: A Smart Wearable System for Head Movement Monitoring," 2024 9th International Conference on Smart and Sustainable Technologies (SpliTech), Bol and Split, Croatia, 2024, pp. 1-6, doi: 10.23919/SpliTech61897.2024.10612333.

A person wearing dark athletic leggings is kneeling on a dark, reflective floor, tying their black and white sneakers. The person's hands are visible, and they are wearing a ring on their left hand. The background is a plain, light-colored wall.

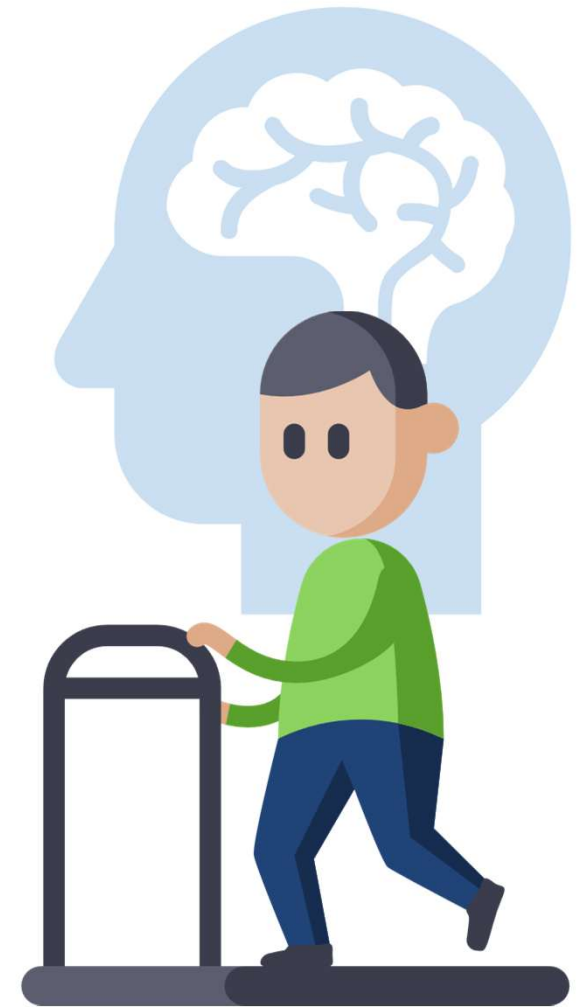
# **Riabilitazione domiciliare**

# SmartPants

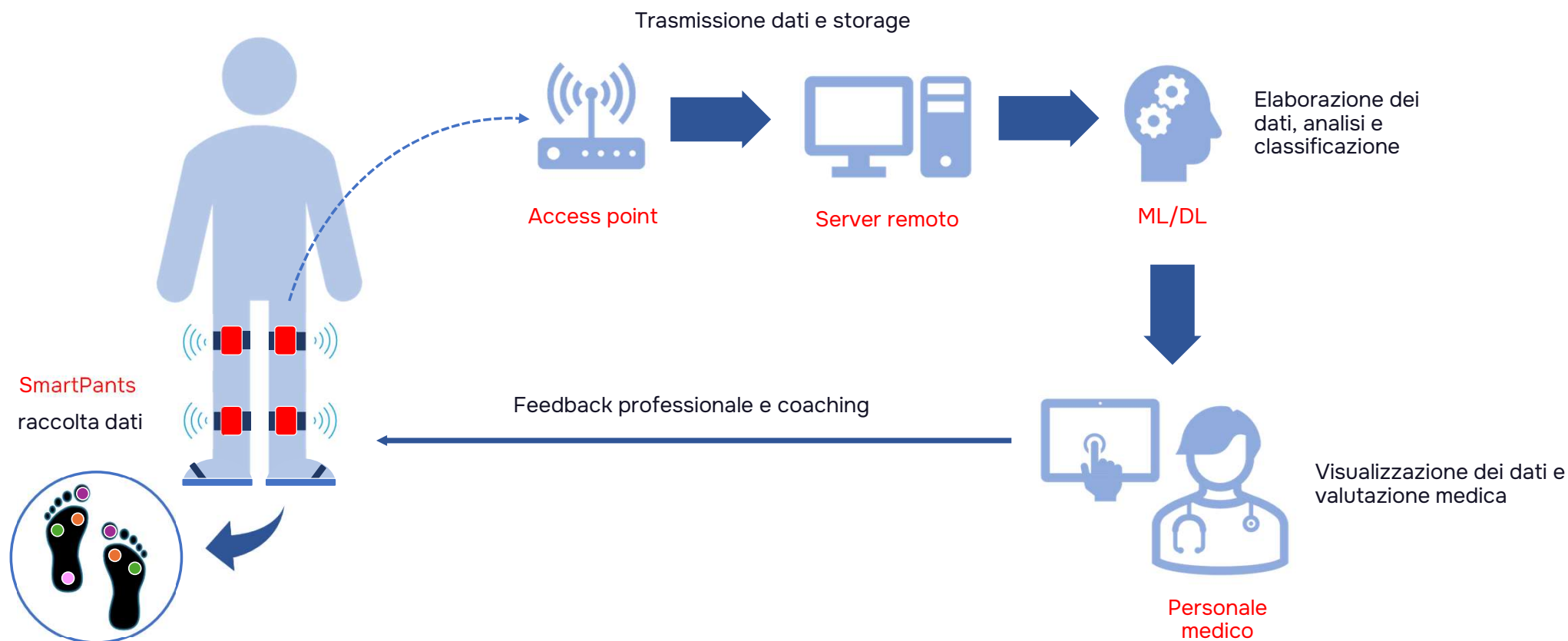
L'obiettivo primario di **SmartPants** è quello di aiutare i pazienti nella **terapia riabilitativa post-ictus**

Si tratta di un dispositivo **user-friendly**, di **facile utilizzo** e **affidabile**, che permette di:

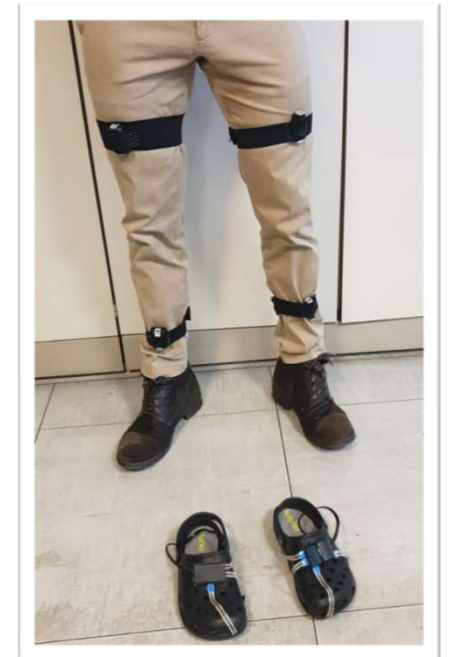
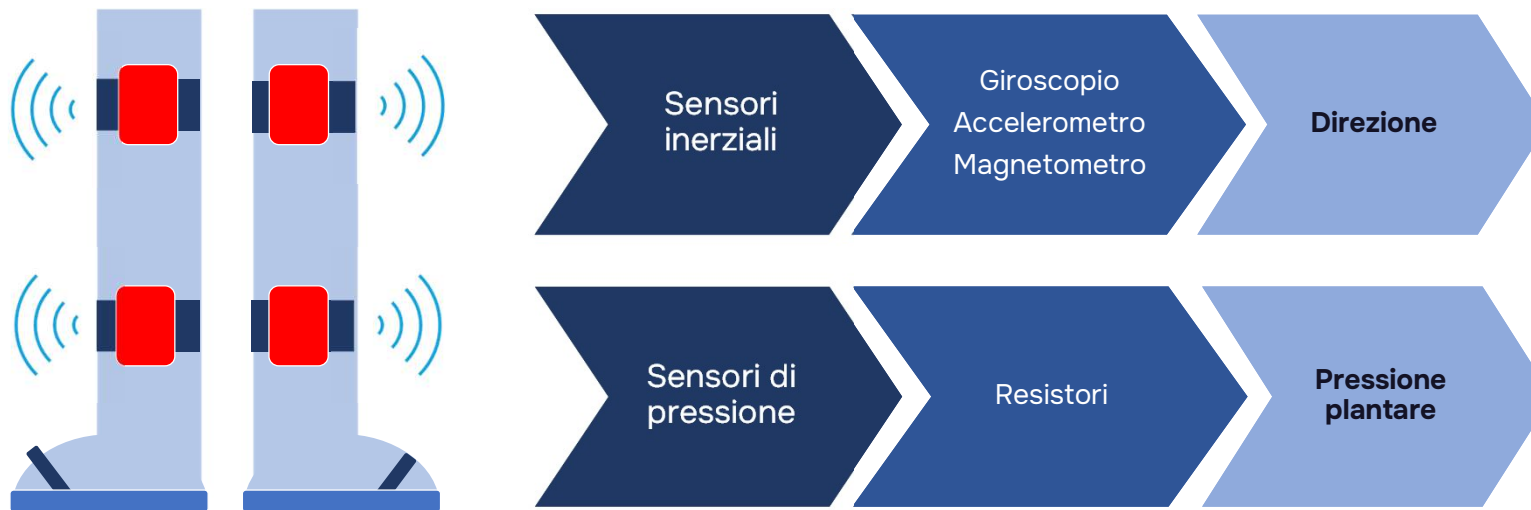
- Fornire un **feedback in real-time** agli utenti (personale medico, caregiver, pazienti)
- **Immagazzinare dati** da consultare in fasi successive per una **valutazione medica** approfondita
- Tenere traccia della **storia clinica** del paziente, delle **prestazioni** durante lo svolgimento degli esercizi e del **processo di recupero**



# La piattaforma SmartPants



# SmartPants: hardware e sensori





# Riabilitazione post-ictus

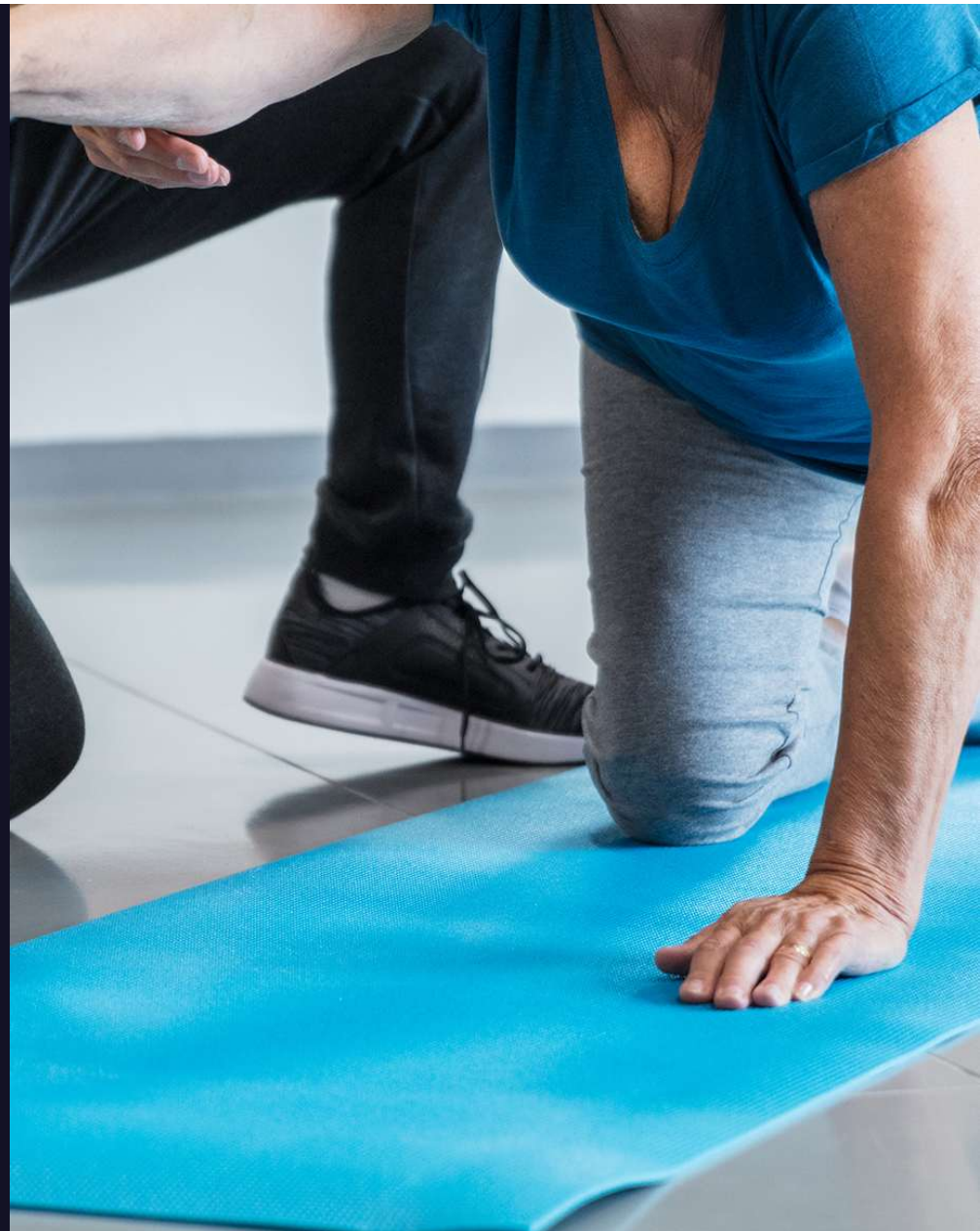
**SmartPants** è progettato per:

- Riconoscere l'esercizio che il paziente sta svolgendo
- Stimarne il tempo di esecuzione

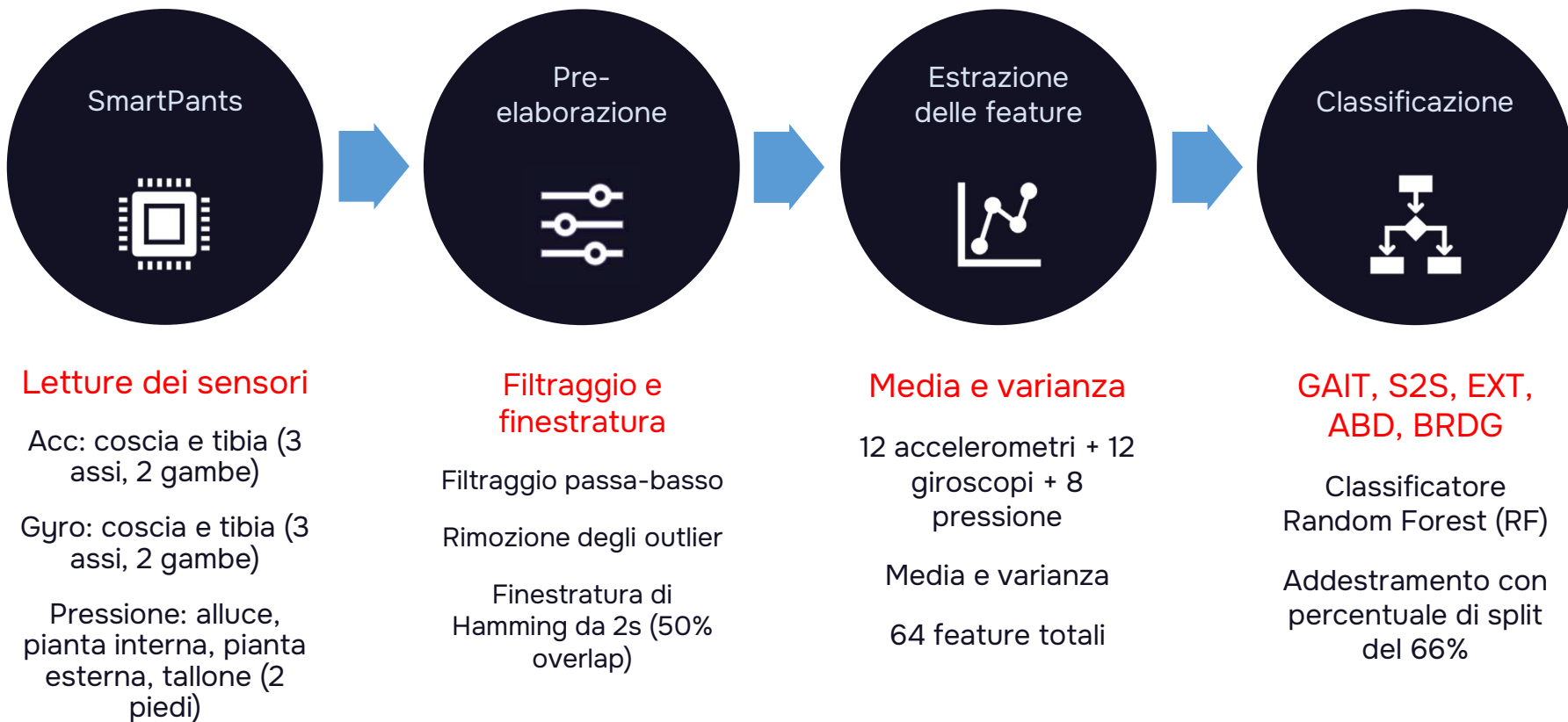
Il prototipo è configurato per riconoscere 5 diverse attività

**Non è richiesta interazione diretta** col paziente (si tratta di sensori wearable, il cui funzionamento è trasparente all'utente)

I risultati forniti sono **intuitivi, immediati**, e di **facile interpretazione**



# Riconoscimento degli esercizi



Esercizio	TPR	PPV	ACC
ABD	0.98	0.98	0.991
GAIT	0.92	0.98	0.993
BRDG	0.99	0.97	0.985
S2S	1.00	1.00	1.000
EXT	0.99	1.00	0.998
wAVG (%)	98.3%	98.3%	99.2%

# Riconoscimento degli esercizi: risultati

PREDIZIONI					MATRICE DI CONFUSIONE	
ABD	GAIT	BRDG	S2S	EXT		
297	0	6	0	0	ABD	RIFERIMENTO
1	65	5	0	0	GAIT	
3	2	356	0	0	BRDG	
0	0	0	181	0	S2S	
1	0	2	0	284	EXT	

I risultati sul riconoscimento degli esercizi offrono prestazioni molto buone:

- True Positive Rate (TPR) al di sopra del **98%**
- False Positive Rate (FPR) intorno allo **0.6%**
- Accuratezza globale (ACC) sopra il **99%**

La **matrice di confusione** ottenuta utilizzando il classificatore **Random Forest** (RF) mostra un **errore** dovuto alla misclassificazione estremamente **basso**



# Stima del tempo di esecuzione

Valori medi relativi alla **stima del tempo di esecuzione** degli esercizi svolti dai pazienti

L'**errore globale** ottenuto è **minore di 1 s**

I risultati mostrano **bassa varianza** nei valori di stima, dimostrando la **robustezza** dell'approccio

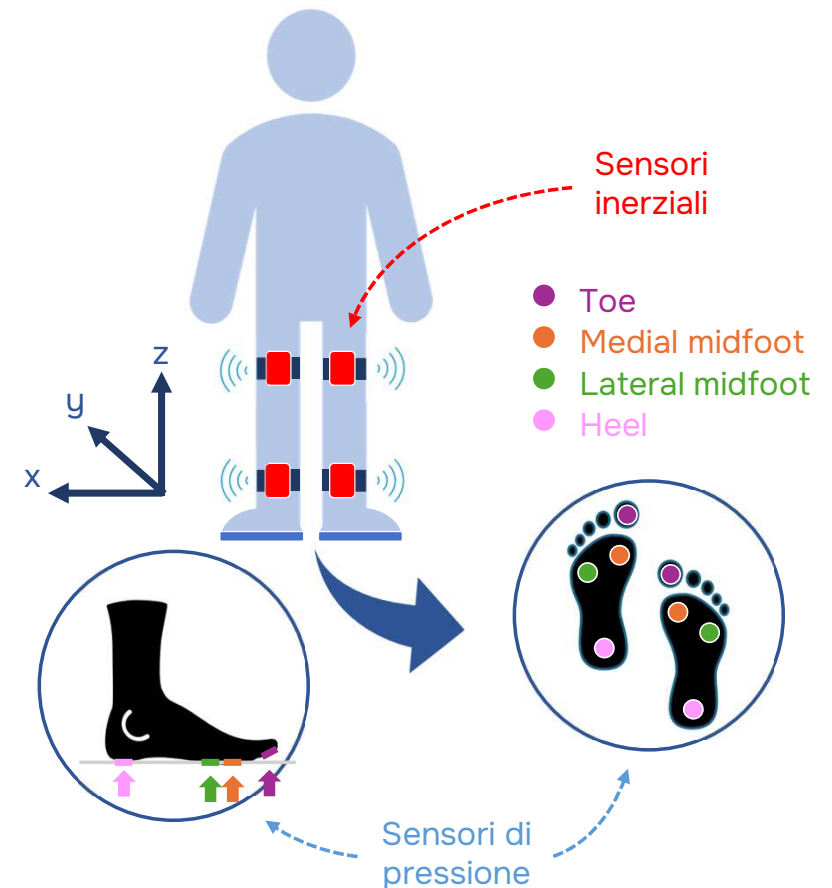
RISULTATI SPERIMENTALI		TEMPO [ s ]				DETTAGLI DEL SENSORE	
		GAMBA SINISTRA		GAMBA DESTRA		POSIZIONE	ASSE
		EFFETTIVO	STIMATO	EFFETTIVO	STIMATO		
ABD	MEDIA	2.328	2.225	2.336	2.200	TIBIA	X
	VARIANZA	0.041	0.003	0.020	0.007		
EXT	MEDIA	1.004	1.999	1.828	2.080	TIBIA	Y
	VARIANZA	0.018	0.052	0.009	0.032		
		EFFETTIVO		STIMATO		POSIZIONE	ASSE
GAIT	MEDIA	0.705		0.682		TIBIA	Y
	VARIANZA	0.004		0.321			
S2S	MEDIA	4.312		5.090		COSCIA	Y
	VARIANZA	0.136		0.150			
BRDG	MEDIA	7.106		7.183		COSCIA	Z
	VARIANZA	0.417		0.552			

# Possiamo rimuovere i sensori di pressione?

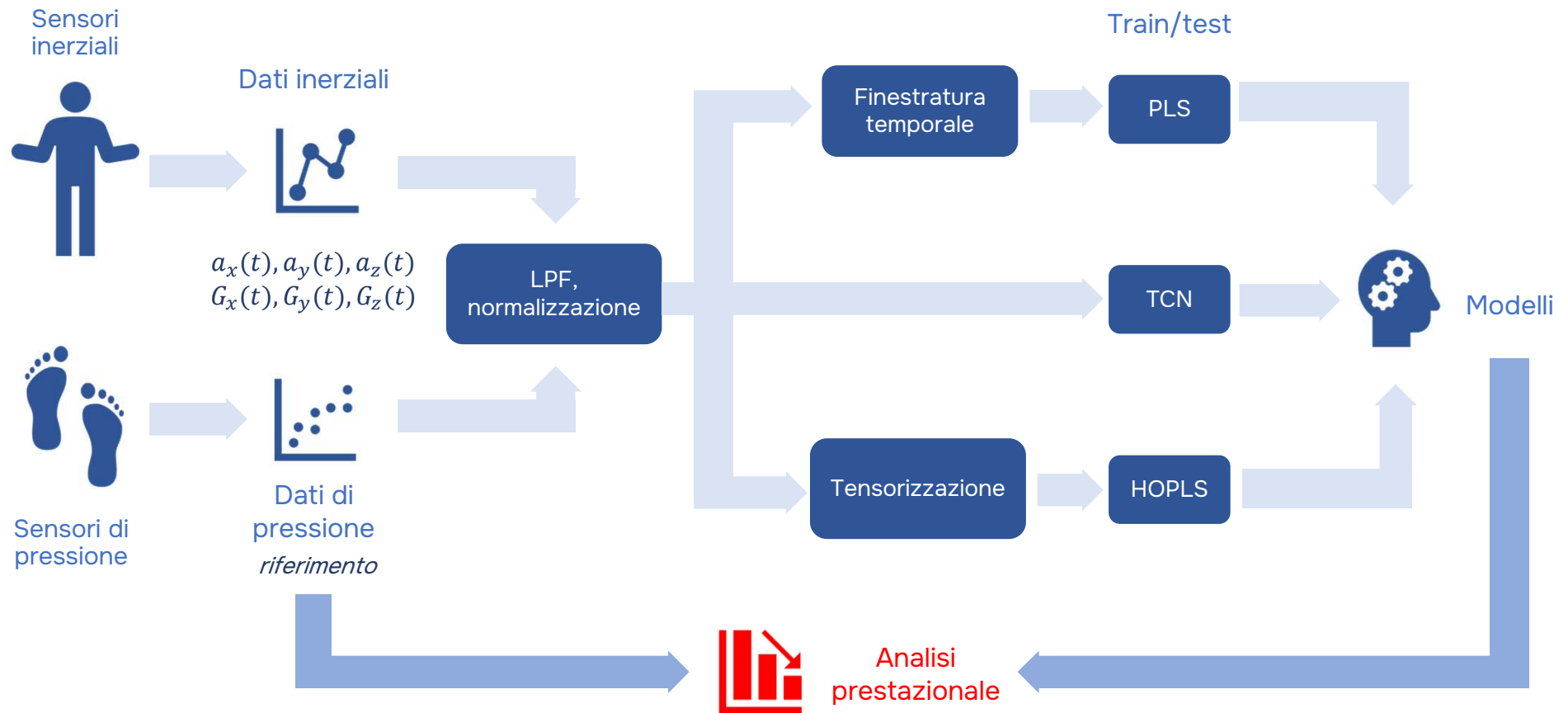
La nostra ricerca mira **inferire** informazioni sulla **pressione plantare** utilizzando solamente informazioni legate ai **sensori inerziali** presenti sulle gambe dei pazienti

I test sperimentali hanno riguardato la raccolta di **misure accelerometriche** dai nodi wearable presenti sulle gambe, mantenendo come **riferimento i valori di pressione** raccolti dai sensori sotto la pianta del piede

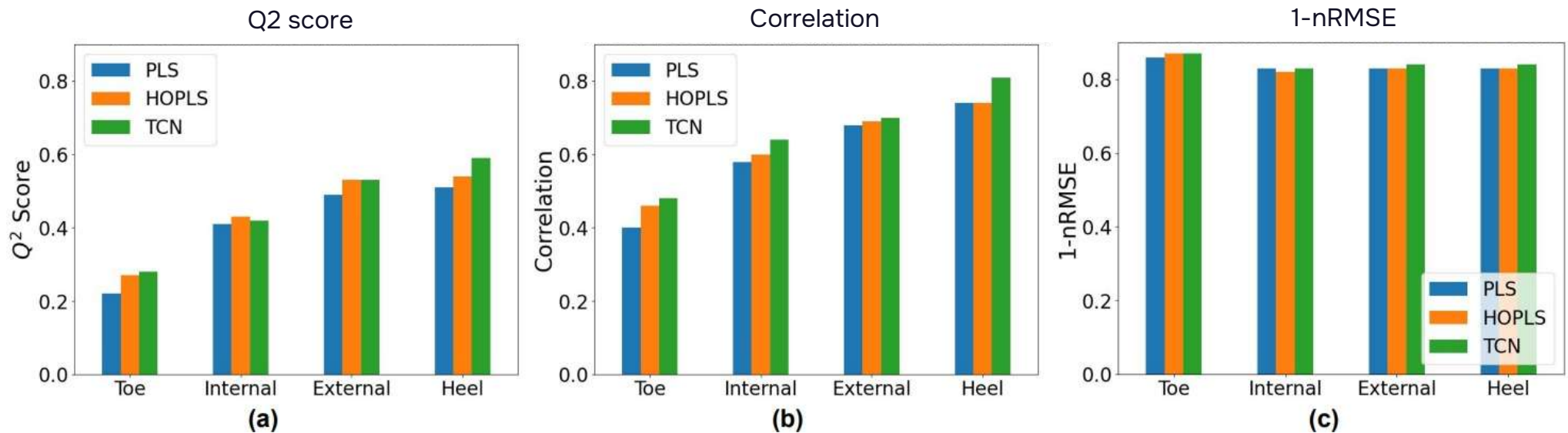
Sono stati utilizzati poi algoritmi di **elaborazione dei segnali** e **intelligenza artificiale** per stimare i valori della pressione plantare a partire unicamente dai segnali inerziali



# Stima della pressione plantare: metodologia



# Stima della pressione plantare: risultati



Statistical methods

- Partial Least Square
- Higher Order Partial Least Square

DL methods

- Temporal Convolutional Network

## Pubblicazioni

M. Shahid, I. Bisio, C. Garibotto, F. Lavagetto, M. Hamedani, A. Schenone and A. Sciarrone " *Cost-Efficient and Portable IoMT Solution for Post-Stroke Rehabilitation: Inferring Feet Pressures with Lower Limbs IMUs*," 2024 IEEE Internet of Things Journal (IoTJ), [submitted].

I. Bisio, C. Garibotto, F. Lavagetto, M. Shahid and A. Sciarrone " *Feet Pressure Prediction from Lower Limbs IMU Sensors for Wearable Systems in Remote Monitoring Architectures*," 2023 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM), Kuala Lumpur, Malaysia, 2023.

I. Bisio, C. Garibotto, F. Lavagetto, and A. Sciarrone, "Patient Monitoring through eHealth Solutions: A Signal Processing Perspective," Chapter 6 in CNIT Technical Report-08: "ICT for Health: Sensing, Data Analysis, Applications", Editors: M. Rossi, G. Cisotto, R. Raheli, Texmat, 2021, ISBN: 9788894982541.

I. Bisio, C. Garibotto, F. Lavagetto and A. Sciarrone, " *Towards IoT-Based eHealth Services: A Smart Prototype System for Home Rehabilitation*," 2019 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM), Waikoloa, HI, USA, 2019, pp. 1-6, doi: 10.1109/GLOBECOM38437.2019.9013194

I. Bisio, C. Garibotto, F. Lavagetto and A. Sciarrone, " *When eHealth Meets IoT: A Smart Wireless System for Post-Stroke Home Rehabilitation*," in IEEE Wireless Communications, vol. 26, no. 6, pp. 24-29, December 2019, doi: 10.1109/MWC.001.1900125.

I. Bisio, C. Garibotto, A. Grattarola, F. Lavagetto and A. Sciarrone, " *Exploiting Context-Aware Capabilities over the Internet of Things for Industry 4.0 Applications*," in IEEE Network, vol. 32, no. 3, pp. 101-107, May/June 2018, doi: 10.1109/MNET.2018.1700355.