

# **Proposte tesi (LM)**

G. Grossi

2027-01-02

# Table of contents

<b>Intro</b>	<b>3</b>
1. Tesi di Carattere Teorico . . . . .	3
Sviluppo di Modelli di Deep Learning e AI Avanzata . . . . .	3
Caratteristiche principali . . . . .	4
2. Tesi di Carattere Sperimentale . . . . .	4
Multimedia, Analisi del Comportamento Umano e Salute . . . . .	4
Caratteristiche principali . . . . .	5
<b>Approccio Integrato</b>	<b>6</b>
<b>Landmarks 3D</b>	<b>7</b>
<i>Titolo:</i> Analisi Automatizzata di Landmark 3D per il Riconoscimento Anatomico e il Supporto alle Decisioni Cliniche . . . . .	7
Contesto e Motivazione . . . . .	7
Obiettivi della Tesi . . . . .	7
Stato dell'Arte (Sintesi) . . . . .	8
Metodologia . . . . .	8
1. Dataset e Preprocessing . . . . .	8
2. Sviluppo del Modello . . . . .	8
3. Analisi Clinica . . . . .	8
Risultati Attesi . . . . .	8
Impatto Atteso . . . . .	9
<b>Health (1)</b>	<b>10</b>
<i>Titolo:</i> Architettura Multi-Agent per Patient Digital Twin: Progettazione e Validazione di un Orchestratore Clinico Explainable . . . . .	10
Contesto . . . . .	10
Obiettivo . . . . .	11
Attività . . . . .	11
Risultati Attesi . . . . .	11
Impatto . . . . .	11
<b>Health (2)</b>	<b>12</b>
<i>Titolo:</i> Infrastruttura Federata e Privacy-Preserving per l'Addestramento di Modelli AI in Sanità: Progettazione e Valutazione di un Framework Edge–Cloud–Blockchain	12
Contesto . . . . .	12

Obiettivo . . . . .	13
Attività . . . . .	13
Risultati Attesi . . . . .	13
Impatto . . . . .	13
<b>RPPG e segnali vitali</b>	<b>14</b>
<i>Titolo:</i> Monitoraggio Non Invasivo della Vitalità nel Trapianto Cutaneo tramite rPPG e Analisi Spettrale Explainable . . . . .	14
Contesto . . . . .	14
Obiettivo . . . . .	15
Attività . . . . .	15
Risultati Attesi . . . . .	16
Impatto . . . . .	16
Papers: . . . . .	16
References . . . . .	17
<b>hands 3D (1)</b>	<b>18</b>
<i>Titolo:</i> Predizione dell'Articolazione 3D della Mano tramite Decomposizione Spettrale Slow–Fast . . . . .	18
Contesto . . . . .	18
Obiettivo . . . . .	19
Attività . . . . .	19
Risultati Attesi . . . . .	19
Impatto . . . . .	20
<b>Hands 3D (2)</b>	<b>21</b>
<i>Titolo:</i> Classificazione delle Azioni delle Mani tramite Modellazione Multi-Scala e Analisi Spettrale . . . . .	21
Contesto . . . . .	21
Obiettivo . . . . .	22
Attività . . . . .	22
Risultati Attesi . . . . .	22
Impatto . . . . .	23
<b>Deep clustering</b>	<b>24</b>
<i>Titolo:</i> Deep CircleClustering: Integration of Optimisation on $S^1$ in Deep Learning Architectures for Self-Consistent Clustering . . . . .	24
Contesto . . . . .	24
Obiettivo . . . . .	25
Idea Innovativa . . . . .	25
1 Embedding Learning . . . . .	25
2 Proiezione angolare learnable . . . . .	25
3 Loss Circle-Based . . . . .	26

4 Differentiable Circle Optimization	26
Architettura Proposta	26
Attività	27
Contributi Scientifici Attesi	27
Dataset di Validazione	27
Risultati Attesi	28
Estensioni Future	28
Papers:	28
References	28

# Intro

Le tesi proposte nell'area **Health, AI e Multimedia Analysis** si articolano in due principali tipologie, pensate per valorizzare differenti inclinazioni e obiettivi formativi dello studente:

- **Tesi a carattere teorico–metodologico**
- **Tesi a carattere sperimentale–applicativo**

Entrambe prevedono rigore scientifico, sviluppo software e validazione quantitativa, ma differiscono per enfasi e contesto operativo.

---

## 1. Tesi di Carattere Teorico

### Sviluppo di Modelli di Deep Learning e AI Avanzata

Queste tesi sono orientate alla progettazione e sviluppo di **nuovi modelli computazionali**, con particolare attenzione a:

- Deep Learning per segnali biomedici
- Modelli multimodali (video, segnali fisiologici, testo clinico)
- Architetture Transformer e reti neurali spettrali
- Explainable AI (XAI)
- Metric learning e self-supervised learning
- Clustering non supervisionato e analisi spettrale

L'obiettivo è contribuire allo **sviluppo metodologico**, introducendo nuove architetture o strategie di apprendimento con validazione su dataset di riferimento o clinici.

## **Caratteristiche principali**

- Forte componente matematica e modellistica
- Analisi teorica delle prestazioni
- Studio della generalizzazione e robustezza
- Possibile pubblicazione scientifica in ambito AI/ML

Ideali per studenti interessati a:

- Ricerca accademica
  - Dottorato
  - Sviluppo di algoritmi innovativi
- 

## **2. Tesi di Carattere Sperimentale**

### **Multimedia, Analisi del Comportamento Umano e Salute**

Queste tesi sono focalizzate su **applicazioni reali**, spesso in collaborazione con strutture cliniche o laboratori sperimentali.

Ambiti tipici:

- Analisi video per salute e monitoraggio clinico
- Remote photoplethysmography (rPPG)
- Analisi del comportamento umano da segnali audiovisivi
- Valutazione dello stato emotivo o cognitivo
- Monitoraggio non invasivo in ambito sanitario
- Sistemi intelligenti per ambienti smart healthcare

L'attenzione è rivolta a:

- Acquisizione dati reali

- Progettazione pipeline completa (end-to-end)
- Validazione sperimentale su casi clinici o scenari realistici
- Integrazione tra modelli AI e vincoli del mondo reale

### **Caratteristiche principali**

- Forte componente applicativa
- Collaborazione interdisciplinare
- Valutazione statistica su dati reali
- Impatto clinico o industriale

Ideali per studenti interessati a:

- Innovazione tecnologica in ambito sanitario
  - Trasferimento tecnologico
  - Ingegneria applicata e sviluppo prototipale
-

# **Approccio Integrato**

In molti casi, le due dimensioni si integrano:

- sviluppo di modelli deep learning innovativi
- applicazione e validazione su problemi reali in ambito salute o multimedia

Questo consente allo studente di maturare competenze sia teoriche che sperimentali, con una formazione completa e altamente spendibile in:

- ricerca accademica
  - industria AI
  - settore biomedicale
  - digital health e telemedicina
- 

Le proposte di tesi vengono definite in modo personalizzato, sulla base:

- del profilo dello studente
- delle competenze pregresse
- degli interessi verso teoria o applicazione
- degli obiettivi post-laurea

# Landmarks 3D

***Titolo: Analisi Automatizzata di Landmark 3D per il Riconoscimento Anatomico e il Supporto alle Decisioni Cliniche***

## Contesto e Motivazione

L'analisi dei *landmark* anatomici tridimensionali rappresenta uno strumento fondamentale per la descrizione quantitativa della morfologia umana a partire da dati di imaging 3D (TC, CBCT, scansioni ottiche, nuvole di punti).

L'identificazione automatica di punti anatomici di riferimento consente di:

- migliorare l'oggettività delle valutazioni cliniche;
- supportare la pianificazione chirurgica;
- monitorare l'evoluzione terapeutica;
- ridurre la variabilità inter-operatore.

Tuttavia, la variabilità anatomica e la complessità dei dati tridimensionali rendono ancora sfidante una localizzazione robusta e generalizzabile.

## Obiettivi della Tesi

L'obiettivo principale è progettare, implementare e validare un sistema automatico per la localizzazione di landmark 3D con applicazione in ambito clinico.

Obiettivi specifici:

1. Definizione di un set di landmark clinicamente rilevanti.
2. Implementazione di modelli di *machine learning* per la localizzazione automatica.
3. Valutazione quantitativa rispetto a ground truth manuale.
4. Analisi delle metriche morfometriche derivate.

## **Stato dell'Arte (Sintesi)**

Le principali metodologie includono:

- Convolutional Neural Networks 3D per dati volumetrici;
- Architetture per *point clouds* (es. PointNet e varianti);
- Modelli statistici di forma;
- Approcci multi-scala basati su regressione diretta delle coordinate.

Le ricerche recenti mostrano risultati promettenti, ma persistono criticità in termini di robustezza, interpretabilità e trasferibilità clinica.

## **Metodologia**

### **1. Dataset e Preprocessing**

- Raccolta e selezione di dataset 3D
- Normalizzazione spaziale
- Segmentazione delle strutture di interesse
- Suddivisione in training/validation/test

### **2. Sviluppo del Modello**

- Progettazione di architettura 3D (CNN o modello per nuvole di punti)
- Addestramento supervisionato
- Ottimizzazione tramite funzione di perdita basata su distanza euclidea

### **3. Analisi Clinica**

- Calcolo di distanze e angoli anatomici
- Valutazione di indici di simmetria
- Discussione dell'impatto clinico

## **Risultati Attesi**

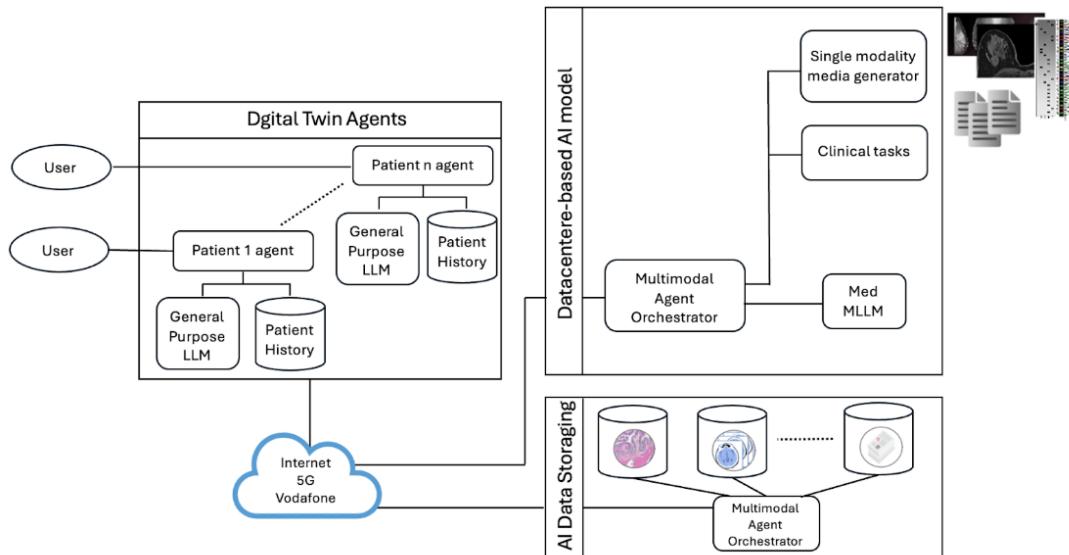
- Sistema prototipale per localizzazione automatica di landmark 3D
- Valutazione quantitativa delle prestazioni
- Analisi critica dell'applicabilità clinica

## **Impatto Atteso**

Il progetto mira a contribuire allo sviluppo di strumenti computazionali a supporto della diagnosi e pianificazione terapeutica basati su analisi morfometrica automatizzata.

# Health (1)

***Titolo: Architettura Multi-Agent per Patient Digital Twin:  
Progettazione e Validazione di un Orchestratore Clinico Explainable***



## Contesto

Il progetto AI-HealthGuard propone un ecosistema multi-agent basato su Patient Digital Twins (PDT), in cui agenti intelligenti coordinano modelli multimodali per supportare diagnosi, simulazione terapeutica e monitoraggio continuo.

In questo paradigma, il Patient Digital Twin Agent mantiene la rappresentazione dinamica del paziente e orchestra servizi AI esterni (Med-MLLM, modelli imaging, omics, segnali fisiologici).

## **Obiettivo**

Progettare e implementare un **prototipo di Orchestrator Agent** capace di:

- decomporre task clinici complessi in sotto-task multimodali;
- interrogare modelli specialistici;
- integrare risultati in modo coerente e interpretabile;
- fornire spiegazioni causali e feature-based.

## **Attività**

1. Modellazione architetturale dell'agente PDT.
2. Implementazione pipeline multi-agent (simulata o su dataset reale).
3. Integrazione di moduli di Explainable AI (XAI):
  - feature attribution (es. SHAP-like),
  - query controllattuali.
4. Valutazione su caso studio (es. oncologia o neurodegenerazione).

## **Risultati Attesi**

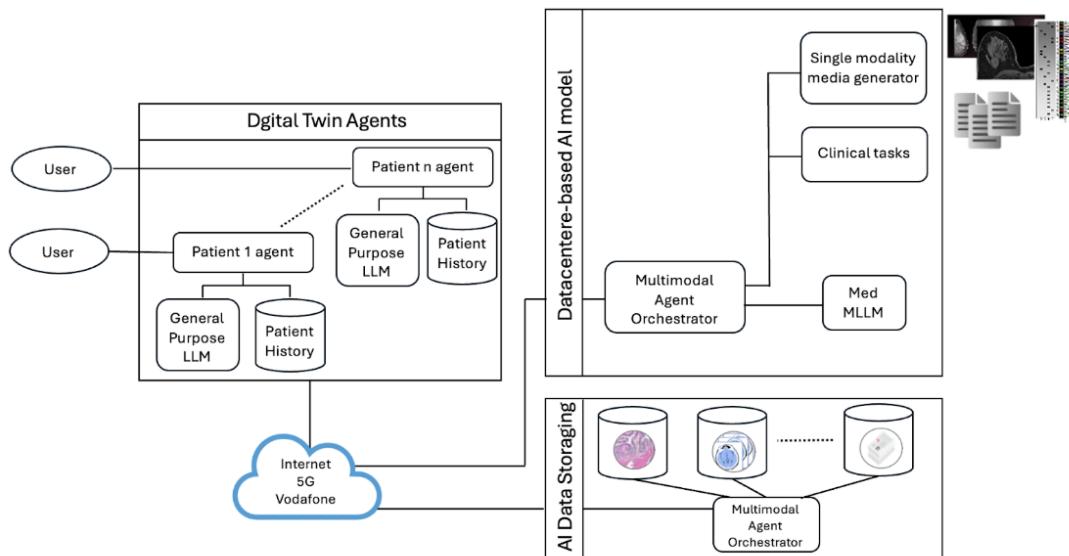
- Prototipo funzionante di agente orchestratore.
- Valutazione di performance e qualità esplicativa.
- Analisi critica dell'applicabilità clinica.

## **Impatto**

Contributo alla formalizzazione di architetture Patient Digital Twin explainable e clinician-in-the-loop.

# Health (2)

***Titolo: Infrastruttura Federata e Privacy-Preserving per l'Addestramento di Modelli AI in Sanità: Progettazione e Valutazione di un Framework Edge–Cloud–Blockchain***



## Contesto

AI-HealthGuard prevede un'infrastruttura federata europea in cui i dati sanitari rimangono localmente (Edge Layer), mentre solo aggiornamenti di modello vengono aggregati nel Cloud, con tracciabilità garantita da blockchain permissioned.

L'obiettivo è garantire: - sovranità del dato, - compliance GDPR, - auditabilità e trasparenza.

## **Obiettivo**

Progettare e valutare un **framework federato privacy-preserving** che integri:

- Federated Learning;
- tecniche di Differential Privacy;
- registrazione e audit tramite blockchain permissioned.

## **Attività**

1. Implementazione prototipale di pipeline federata (simulazione multi-nodo).
2. Applicazione di meccanismi di privacy (rumore DP su gradienti).
3. Simulazione di smart contract per logging e controllo accessi.
4. Analisi di:
  - performance del modello globale,
  - trade-off privacy-accuratezza,
  - costi computazionali.

## **Risultati Attesi**

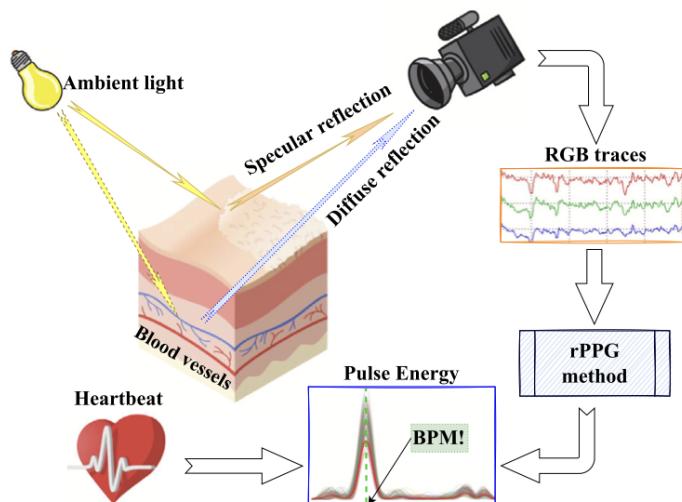
- Framework dimostrativo edge–cloud.
- Valutazione quantitativa di robustezza e compliance-by-design.
- Linee guida per implementazione su scala europea.

## **Impatto**

Contributo alla definizione di infrastrutture AI sanitarie sovrane, interoperabili e regolamentazione-ready.

# RPPG e segnali vitali

**Titolo:** Monitoraggio Non Invasivo della Vitalità nel Trapianto Cutaneo tramite rPPG e Analisi Spettrale Explainable



## Contesto

Nel contesto della chirurgia plastica e ricostruttiva (es. Humanitas), il monitoraggio precoce della vitalità del trapianto cutaneo è fondamentale per prevenire complicanze quali ischemia, congestione venosa e necrosi del graft.

La valutazione clinica attuale si basa principalmente su:

- osservazione visiva (colore, turgore),
- temperatura locale,
- test capillari,
- eventuali tecniche Doppler.

Tali metodi presentano limiti di soggettività e non sempre consentono un'identificazione precoce del deterioramento della perfusione.

La **remote photoplethysmography (rPPG)** permette di stimare in modo *contactless* le variazioni del volume ematico attraverso l'analisi delle variazioni cromatiche cutanee nel dominio RGB. Recenti studi dimostrano che l'analisi spettrale (PSD) e la selezione adattiva di patch migliorano significativamente la robustezza del segnale pulsatile, anche in presenza di rumore e movimenti <

Applicare tali tecniche al trapianto cutaneo consente di stimare un indice quantitativo di perfusione microvascolare del graft.

## Obiettivo

Progettare e validare un sistema rPPG non invasivo per:

1. Stimare la perfusione ematica del trapianto cutaneo.
2. Identificare precocemente condizioni di ipoperfusione o ischemia.
3. Definire un indice quantitativo di vitalità del graft basato su analisi spettrale e coerenza inter-patch.
4. Integrare un modello explainable per supportare la decisione clinica.

## Attività

### 1. Acquisizione dati clinici

- Video RGB ad alta risoluzione del graft.
- ROI: area trapiantata + area cutanea sana di controllo.
- Raccolta ground truth (valutazione clinica, Doppler).

### 2. Estrazione del segnale rPPG

- Segmentazione in patch multiple sull'area del graft.
- Media spaziale dei segnali RGB.
- Normalizzazione temporale e filtraggio banda cardiaca (0.65–4 Hz).

### 3. Analisi spettrale

- Calcolo PSD tramite metodo di Welch.
- Identificazione del picco pulsatile.
- Stima ampiezza e coerenza spettrale.

### 4. Clustering e selezione adattiva

- Separazione patch coerenti/incoerenti tramite clustering PSD.

- Identificazione del cluster “buona perfusione”.

## 5. Validazione clinica

- Analisi sensibilità/specificità.
- Curve ROC.
- Confronto con outcome clinici reali.

## Risultati Attesi

- Prototipo software per monitoraggio bedside del graft.
- Dimostrazione della correlazione tra indice rPPG e vitalità clinica.
- Identificazione precoce di graft failure.
- Riduzione della soggettività nella valutazione post-operatoria.
- Modello interpretabile e explainable per uso clinico.

## Impatto

- Miglioramento della sicurezza post-operatoria.
- Riduzione di reinterventi tardivi.
- Introduzione di monitoraggio continuo non invasivo.
- Potenziale estensione a:
  - lembi microchirurgici,
  - trapianti complessi,
  - telemonitoraggio domiciliare.

Il progetto rappresenta un ponte tra ingegneria biomedica, computer vision e chirurgia ricostruttiva, con applicazione diretta in contesto ospedaliero ad alta specializzazione.

## Papers:

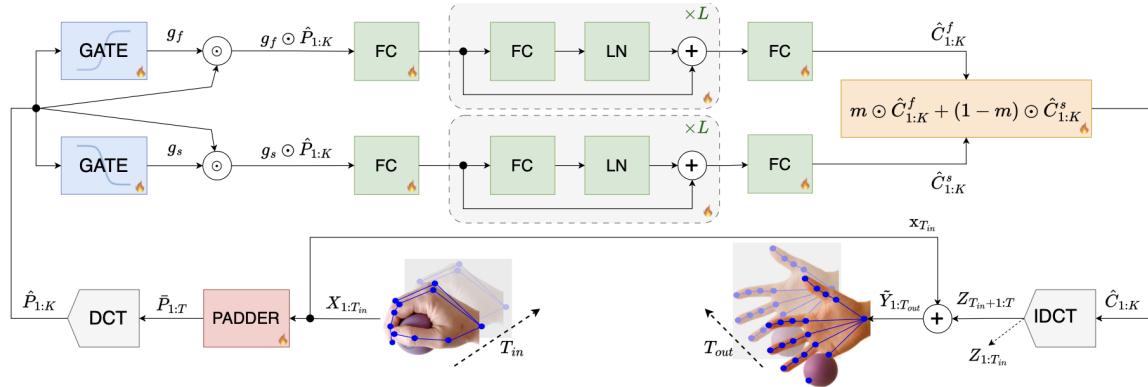
- Boccignone et al. (2020)
- Boccignone et al. (2022)
- Boccignone et al. (2025)

## References

- Boccignone, Giuseppe, Donatello Conte, Vittorio Cuculo, Alessandro D'Amelio, Giuliano Grossi, and Raffaella Lanzarotti. 2020. "An Open Framework for Remote-PPG Methods and Their Assessment." *IEEE Access* 8: 216083–103. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3040936>.
- . 2025. "Enhancing rPPG Pulse-Signal Recovery by Facial Sampling and PSD Clustering." *Biomedical Signal Processing and Control* 101: 107158. <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2024.107158>.
- Boccignone, Giuseppe, Donatello Conte, Vittorio Cuculo, Alessandro D'Amelio, Giuliano Grossi, Raffaella Lanzarotti, and Edoardo Mortara. 2022. "pyVHR: A Python Framework for Remote Photoplethysmography." *PeerJ Computer Science* 8: e929. <https://peerj.com/articles/cs-929/>.

# hands 3D (1)

**Titolo:** Predizione dell'Articolazione 3D della Mano tramite Decomposizione Spettrale Slow–Fast



## Contesto

La predizione dell'articolazione 3D della mano è un problema emergente distinto dal full-body motion forecasting.

La mano presenta:

- dinamiche ad alta dimensionalità (oltre 20 DOF),
- coesistenza di movimenti lenti globali (polso/palmo),
- movimenti rapidi e asincroni delle dita.

Recenti lavori mostrano che la decomposizione in dominio frequenziale (DCT) con modellazione slow–fast migliora la coerenza temporale e riduce l'errore MPJPE.

Il problema è formulato come:

Dato un segmento osservato  $X_{1:T_{in}}$ , predire le configurazioni future  $Y_{1:T_{out}}$ .

## Obiettivo

Progettare e validare un modello di forecasting 3D della mano che:

1. Disentangle dinamiche slow (wrist/palm) e fast (finger articulation).
2. Operi in dominio DCT con gating adattivo.
3. Mantenga efficienza computazionale real-time.
4. Migliori la coerenza biomeccanica delle traiettorie predette.

## Attività

### 1. Formalizzazione del problema

- Rappresentazione traiettorie  $P_{1:T} \in \mathbb{R}^{N \times T}$
- Residual prediction rispetto all'ultimo frame osservato.

### 2. Progettazione architettura

- Proiezione DCT tipo-II
- Dual-path slow/fast
- Sigmoid spectral gates:

$$g_s(\nu), \quad g_f(\nu)$$

- Fusione convessa learnable:

$$\hat{C} = m \odot \hat{C}_s + (1 - m) \odot \hat{C}_f$$

### 3. Funzione di costo

- MPJPE
- Regularizzazione lunghezze ossee
- Coerenza velocità articolare

### 4. Valutazione sperimentale

- Dataset pubblici (AssemblyHands, H2O, FPHA, BigHand2.2M)
- Analisi ablation (numero coefficienti DCT, rimozione gating, ecc.)
- Confronto con MLP, Transformer, GNN.

## Risultati Attesi

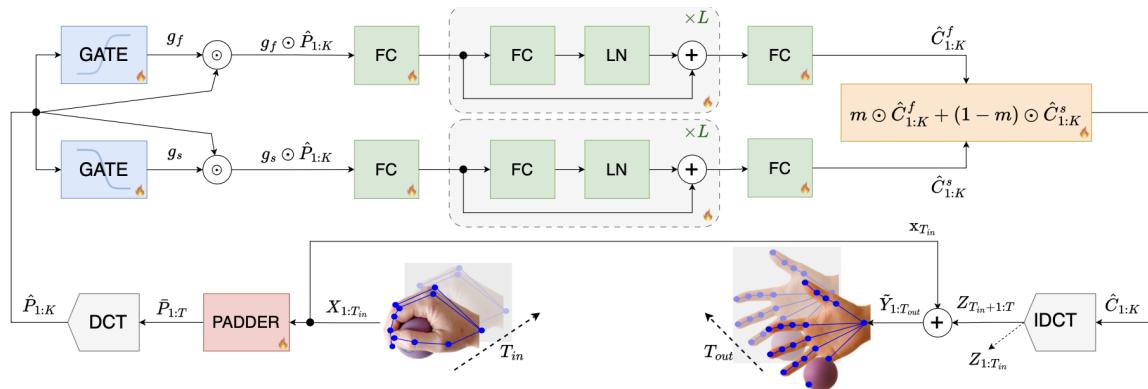
- Riduzione MPJPE rispetto a baseline MLP/Transformer.
- Maggiore coerenza temporale nelle traiettorie.
- Dimostrazione che la decomposizione frequenziale è un bias efficace.
- Modello lightweight (<5 ms latency).

## **Impatto**

- Applicazioni in robotica collaborativa.
- Anticipazione del grasp.
- Human–robot interaction.
- Telemanipolazione e realtà virtuale.

# Hands 3D (2)

**Titolo: Classificazione delle Azioni delle Mani tramite Modellazione Multi-Scala e Analisi Spettrale**



## Contesto

La classificazione delle azioni della mano (es. pick, rotate, unscrew, remove) è cruciale per:

- riconoscimento di attività egocentriche,
- robotica assistiva,
- monitoraggio comportamentale,
- ambienti smart healthcare.

Le azioni della mano sono caratterizzate da:

- pattern temporali multi-scala,
- componenti lente (configurazione globale),
- componenti veloci (micro-articolazioni delle dita).

La modellazione frequenziale slow–fast ha mostrato efficacia nella cattura delle dinamiche articolari.

## **Obiettivo**

Sviluppare un sistema di classificazione delle azioni delle mani che:

1. Utilizzi decomposizione spettrale multi-scala.
2. Combini informazioni lente e rapide.
3. Migliori robustezza in scenari egocentrici.
4. Sia efficiente per applicazioni real-time.

## **Attività**

### **1. Preprocessing**

- Normalizzazione wrist-centered.
- Segmentazione temporale.
- Proiezione DCT delle traiettorie articolari.

### **2. Architettura**

- Feature extraction slow/fast.
- Gating frequenziale adattivo.
- Aggregazione temporale (MLP o temporal pooling).
- Test confronto con:
  - LSTM
  - Transformer
  - GNN

### **3. Loss e Metriche**

- Cross-Entropy loss
- Accuracy
- F1-score
- Confusion matrix per analisi errori.

### **4. Analisi interpretabilità**

- Studio frequenze discriminanti per ogni azione.
- Saliency su giunti più rilevanti.

## **Risultati Attesi**

- Miglioramento accuracy rispetto a modelli puramente temporali.
- Identificazione di firme spettrali caratteristiche per azioni specifiche.
- Sistema efficiente per embedded deployment.

## **Impatto**

- Analisi comportamento umano.
- Monitoraggio riabilitazione motoria.
- Riconoscimento attività manuali in ambito sanitario.
- Applicazioni AR/VR e gaming.

# Deep clustering

**Titolo:** Deep CircleClustering: Integration of Optimisation on  $S^1$  in Deep Learning Architectures for Self-Consistent Clustering

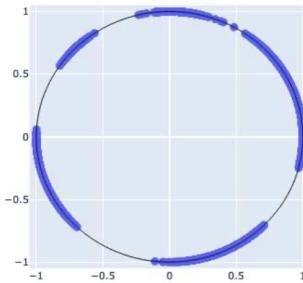
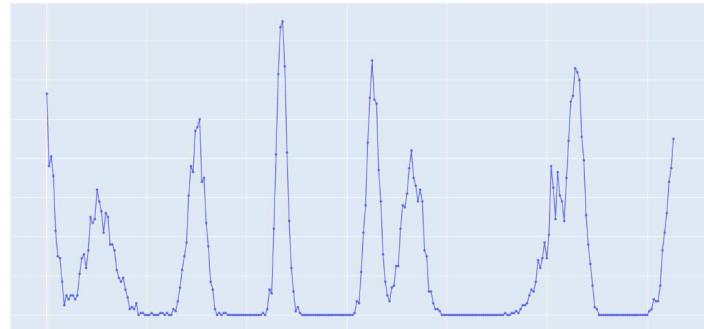


Figura 2.14



## Contesto

L'algoritmo CircleClustering introduce un paradigma innovativo di clustering non supervisionato basato sulla proiezione dei dati su un cerchio unitario e su un sistema dinamico discreto con dinamica asincrona che converge a un minimo locale di una funzione di costo definita su  $[0, 2\pi]^L$

I punti chiave dell'approccio sono:

- Riduzione della dimensionalità su  $S^1$
- Separazione geometrica tramite angoli
- Inferenza automatica del numero di cluster
- Funzione di Lyapunov come criterio di stabilità

Tuttavia, l'algoritmo opera su una matrice di similarità predefinita e non apprende una rappresentazione ottimale dei dati.

Nasce quindi l'idea di integrare CircleClustering come **strato strutturale differenziabile** all'interno di un modello Deep Learning.

## Obiettivo

Progettare un modello Deep Learning innovativo che:

1. Apprenda uno spazio latente ottimale.
2. Proietti dinamicamente le embedding su  $S^1$ .
3. Integri un layer CircleClustering differenziabile.
4. Ottimizzi congiuntamente rappresentazione e separazione.
5. Inferisca automaticamente il numero di cluster.

## Idea Innovativa

### 1 Embedding Learning

Dato un dataset  $X \in \mathbb{R}^{n \times d}$ :

$$Z = f_\theta(X)$$

dove  $f_\theta$  è una rete neurale.

### 2 Proiezione angolare learnable

Ogni embedding è mappata in:

$$\xi_i = (\cos \theta_i, \sin \theta_i)$$

con:

$$\theta_i = g_\phi(Z_i)$$

dove  $g_\phi$  è un MLP che produce angoli.

### 3 Loss Circle-Based

Si utilizza la funzione costo originale:

$$J(\theta) = \frac{1}{2} \sum_{i < j} w_{ij} \cos(\theta_i - \theta_j)$$

ma con  $w_{ij}$  appreso dinamicamente:

$$w_{ij} = \text{sim}(Z_i, Z_j)$$

Il modello apprende sia la metrica che la disposizione su  $S^1$ .

### 4 Differentiable Circle Optimization

Invece di aggiornamento asincrono discreto, si usa:

- Gradient descent su  $\theta$
- Oppure un layer neurale che approssima l'equilibrio dinamico

Questo rende l'intero sistema end-to-end.

## Architettura Proposta

- Encoder (MLP / Transformer / GNN)
- Angle projection head
- Circle optimization layer
- Density estimation head
- Gaussian Mixture inference layer

## **Attività**

1. Formalizzazione matematica del problema differenziabile.
  2. Studio della stabilità del sistema in ambiente deep.
  3. Implementazione PyTorch del CircleLayer.
  4. Confronto con:
    - KMeans
    - Spectral Clustering
    - Deep Embedded Clustering (DEC)
    - Contrastive clustering
  5. Studio della scalabilità (GPU).
- 

## **Contributi Scientifici Attesi**

- Primo modello Deep Learning con clustering geometrico su  $S^1$ .
  - Integrazione di funzione di Lyapunov in loss neurale.
  - Riduzione della necessità di iperparametri.
  - Inferenza strutturale del numero di cluster.
  - Possibile estensione a  $S^k$  (ipersfere).
- 

## **Dataset di Validazione**

- Benchmark sintetici (G2MG, H2MG)
  - UCI high-dimensional
  - Dataset multimodali
  - Embedding vision o motion forecasting
-

## Risultati Attesi

- Migliore robustezza rispetto a metodi deep classifici.
  - Stabilità numerica superiore.
  - Migliore interpretabilità geometrica.
  - Convergenza più regolare rispetto a DEC.
- 

## Estensioni Future

- CircleClustering su manifolds generali.
- Integrazione con metric learning.
- Versione probabilistica bayesiana.
- CircleClustering per segmentation.

### Papers:

- [tesi su circle clustering](#)
- Uso di circle lcustering: Boccignone et al. (2025)

## References

- Boccignone, Giuseppe, Donatello Conte, Vittorio Cuculo, Alessandro D'Amelio, Giuliano Grossi, and Raffaella Lanzarotti. 2020. “An Open Framework for Remote-PPG Methods and Their Assessment.” *IEEE Access* 8: 216083–103. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3040936>.
- . 2025. “Enhancing rPPG Pulse-Signal Recovery by Facial Sampling and PSD Clustering.” *Biomedical Signal Processing and Control* 101: 107158. <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2024.107158>.
- Boccignone, Giuseppe, Donatello Conte, Vittorio Cuculo, Alessandro D'Amelio, Giuliano Grossi, Raffaella Lanzarotti, and Edoardo Mortara. 2022. “pyVHR: A Python Framework for Remote Photoplethysmography.” *PeerJ Computer Science* 8: e929. <https://peerj.com/articles/cs-929/>.