



AI NEL SIGNAL E IMAGE PROCESSING BIOMEDICALE

Applicazioni pratiche presso il laboratorio di Bioingegneria
dell'Università di Pavia



Presentazione a cura di Edoardo Spairani
edoardo.spairani@unipv.it

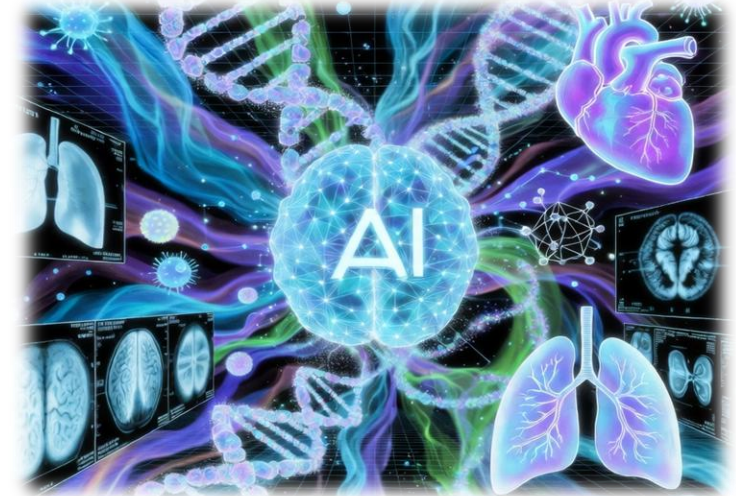
Exposanità 2026, 23 Aprile



INTRODUZIONE



- ❑ Negli ultimi anni, l'AI si è **diffusa** in un numero sempre crescente di **settori**
- ❑ Il **settore biomedico** sta sempre più beneficiando dell'introduzione dell'AI, che consente di migliorare **l'analisi dei dati, supportare i processi decisionali e aumentare l'efficienza** dei sistemi diagnostici
- ❑ **L'Università di Pavia** è attivamente impegnata in questo ambito di ricerca e in questa presentazione verranno illustrate alcune delle **attività di ricerca svolte** presso il **laboratorio di Bioingegneria**, riguardanti lo sviluppo e l'implementazione di metodi di **AI per l'analisi e l'elaborazione di immagini e segnali biomedici**





AI PER IL MONITORAGGIO FETALE

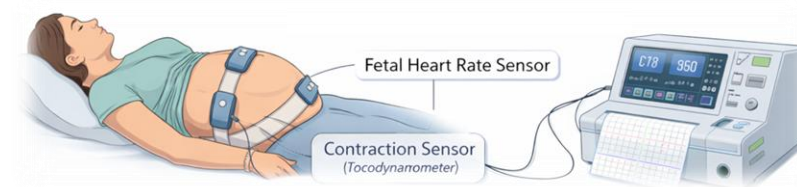
Exposanità 2026, 23 Aprile

AI PER MONITORAGGIO FETALE

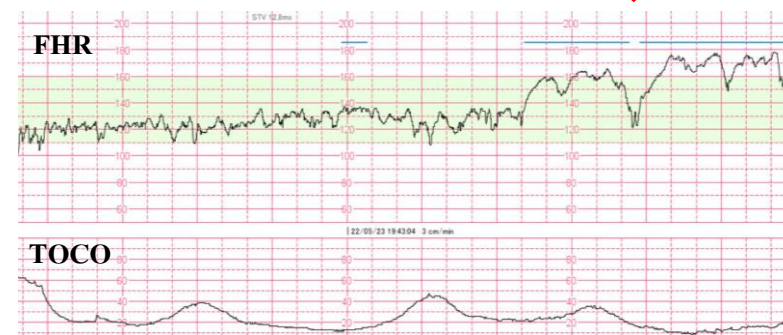
Sviluppo di **sistemi di AI** (ML + DL) per **analisi e la classificazione** di segnali cardiaci fetali ottenuti con la cardiotocografia (CTG)

OBBIETTIVO

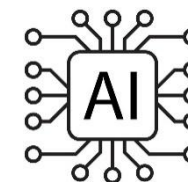
- Creazione di un **sistema efficiente di monitoraggio del benessere fetale** durante la gravidanza
- **Supporto alle decisioni** in ambito ostetrico



Variabilità cardiaca fetale ❤️

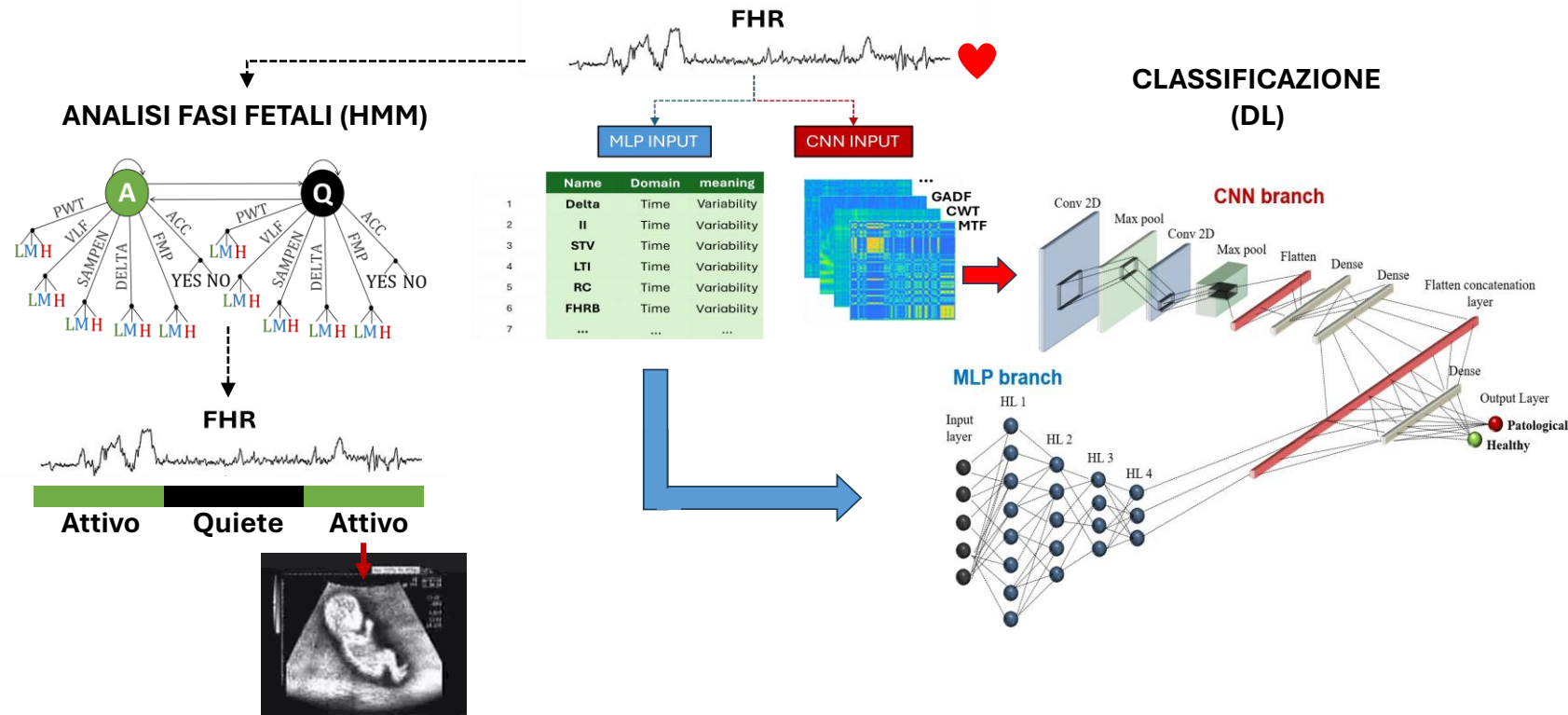


Monitoraggio AI-driven



AI PER MONITORAGGIO FETALE

- ✓ Soluzioni AI per **classificazione** dei segnali di variabilità cardiaca fetale (FHR):
sano / **patologico**
- ✓ Tecniche di soft computing per **Identificazione automatica delle fasi fetali** nei segnali FHR



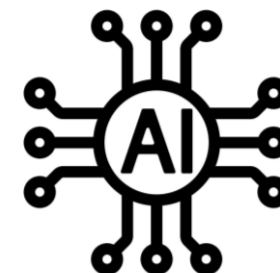
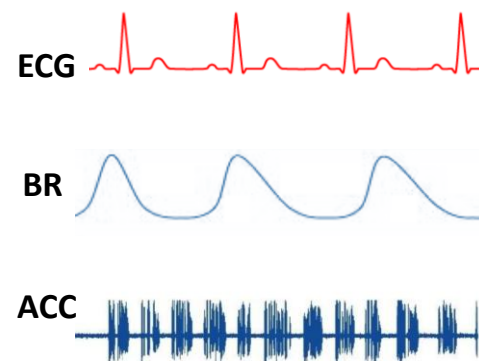


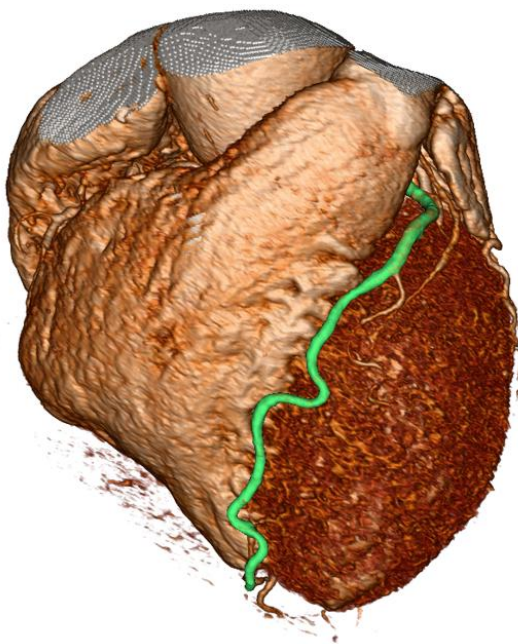
AI E WEARABLE PER IL MONITORAGGIO DI OPERATORI A RISCHIO

Exposanità 2026, 23 Aprile

AI PER IL MONITORAGGIO DI OPERATORI

- ❑ Sviluppo di **sistemi di AI per il supporto e la salvaguardia di operatori a rischio** (soccorritori alpini, pompieri, forestali, etc....)
- ❑ **Analisi ed elaborazione di segnali** biologici e accelerometrici ottenuti con **dispositivi wearable** (maglia Smartex s.r.l., che integra sensori tessili e piezoresistivi + IMU), per:
 - Monitorare i parametri vitali degli operatori
 - Fornire un feedback sullo stato psico-fisico attuale e proporre azioni correttive





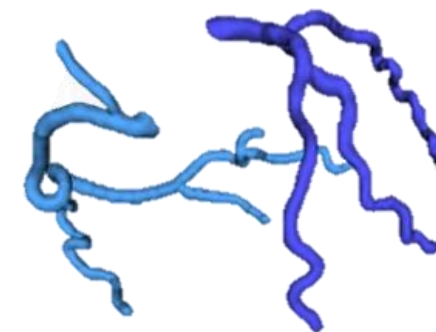
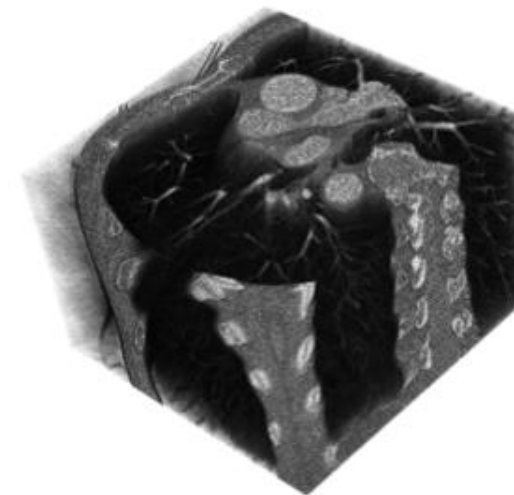
AI PER LA VALUTAZIONE DI STRUTTURE
VASCOLARI

- ❑ Sviluppo e implementazione di tecniche di AI per:
- Segmentazione (2D e 3D) e rendering volumetrico di strutture vascolari, come le **coronarie**, a partire da immagini tomografiche

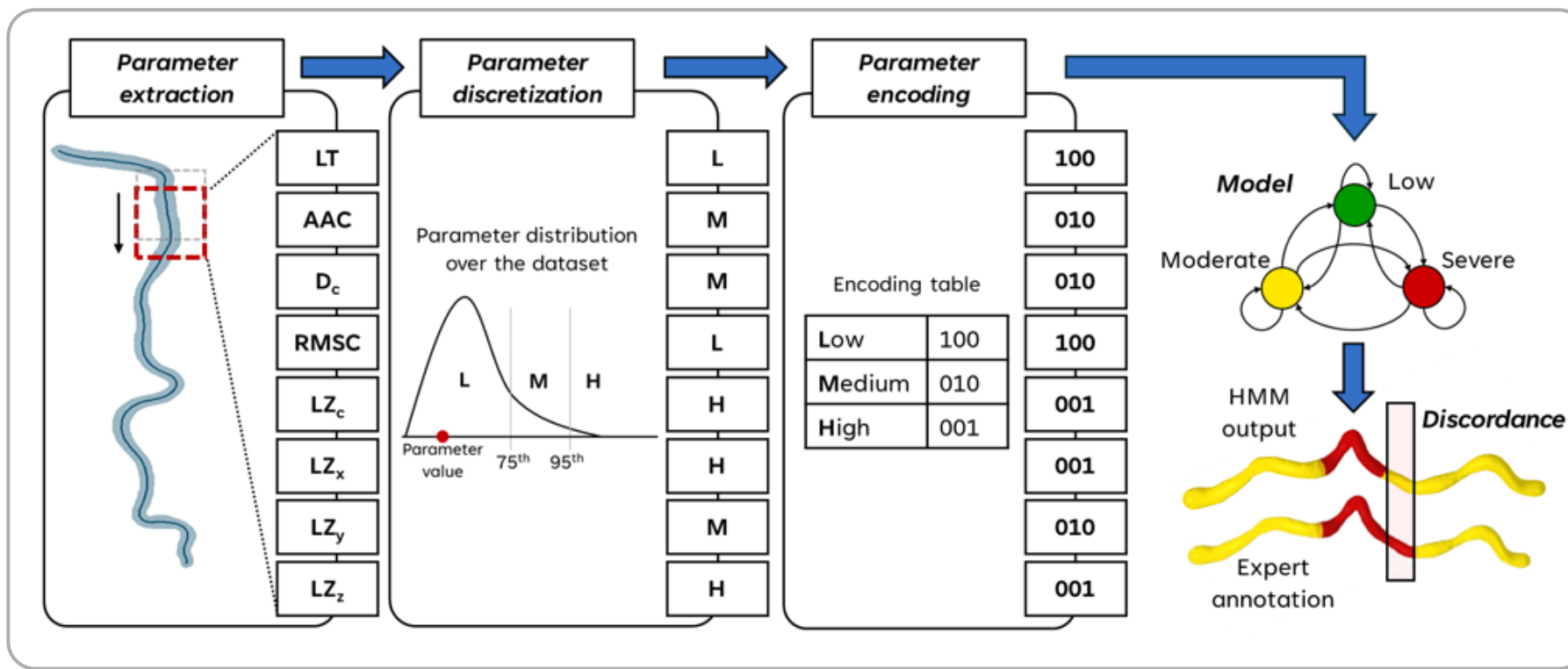


OBIETTIVO

- Caratterizzazione delle strutture di interesse
- Identificazione di anomalie anatomiche (calcificazioni dei vasi)



- ❑ **Esempio applicativo:** metodi di AI per l'analisi della tortuosità delle coronarie, che potrebbe alterare la fluidodinamica del sangue e può portare alla formazione di placche aterosclerotiche e stenosi.





AI PER L'ECOGRAFIA

INTRO: AI IN ULTRASOUND IMAGING

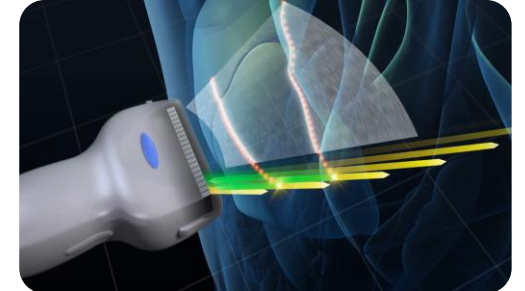
- ❑ Integrazione dell'AI nel campo dell'ecografia offre prospettive interessanti
- ❑ Tecniche di AI nell'ambito dell'ecografia raggruppabili in due macrocategorie per implementazione:

1. Ottimizzazione hardware/software per ricostruzione delle immagini a ultrasuoni (US)

- **Aumento del frame rate**
Per osservare eventi con dinamica rapida (es. apertura valvole)
- **Riduzione complessità hardware** sistemi di acquisizione
Realizzazione di sistemi ultraportable

2. Miglioramento delle immagini US, classificazione e identificazione delle strutture di interesse

- **Image enhancement e segmentazione di ROI**



AI PER LA SEMPLIFICAZIONE HARDWARE

- ❑ Attualmente è di grande rilevanza la realizzazione di sistemi **ultraportable**
- ❑ Utili per **estendere i contesti** di utilizzo di questa tecnologia:
 - Ambito **domestico** (telemonitoraggio e follow-up)
 - contesti **extra-ospedalieri** (ambulanze, medicina territoriale)
 - Aree **remote** o a risorse limitate
 - Etc.
- ❑ Ciò richiede di adottare strategie che permettano una **semplificazione hardware** (es. riduzione del numero di cavi)
- ❑ Alcune possibili soluzioni possono provenire dall'impiego dell'**AI**



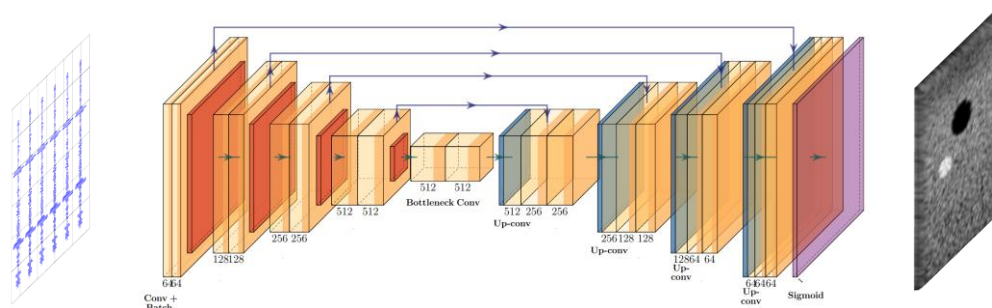
Ecografo classico



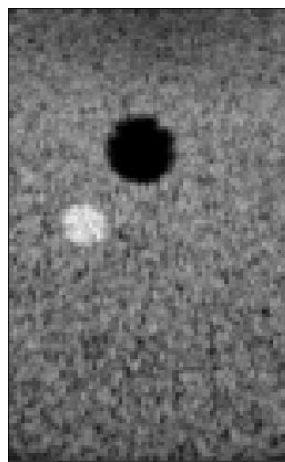
Ecografo portatile

AI PER LA SEMPLIFICAZIONE HARDWARE

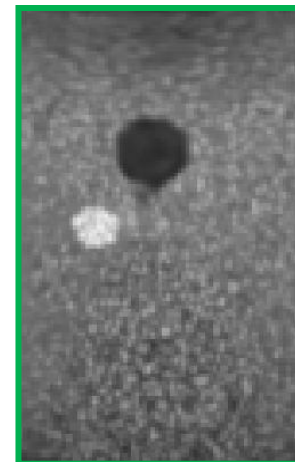
- Esempio di applicazione: sviluppo di una rete neurale per **ottenere immagini eco di alta qualità tipiche di un sistema convenzionale a N canali**, a partire da un sistema costituito da una solo canale



Sistema a 1 canale



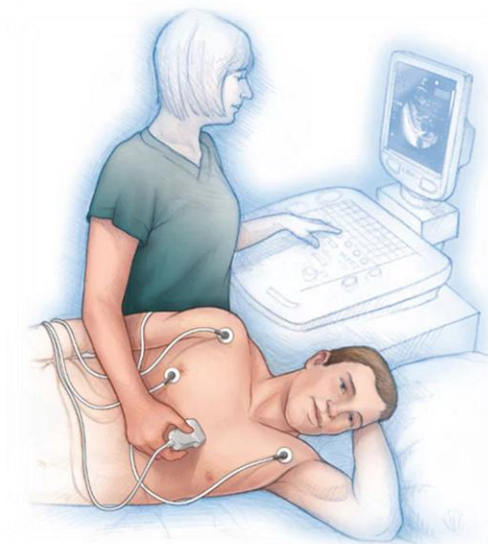
Sistema a N canali



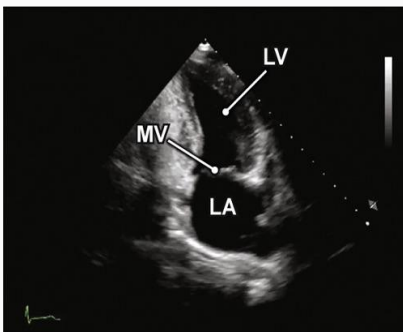
output rete neurale

ECOCARDIOGRAFIA TRANSTORACICA (TTE)

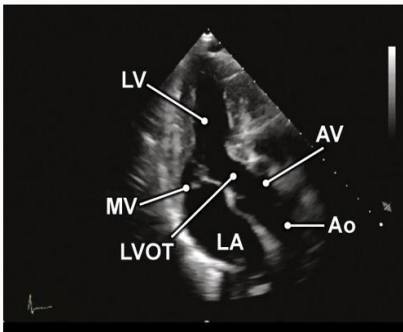
- Fra le tecniche ecografiche che possono beneficiare dell'utilizzo di ecografi portatili è L'**ecocardiografia transtoracica (TTE)**
- La **TTE** prevede il posizionamento della **sonda sul torace** del paziente per ottenere alcune viste particolari del cuore (es viste apicali A2C, A4C etc.)
- Da queste viste è possibile estrarre dei **parametri clinici rilevanti** per lo studio della **funzionalità cardiaca** (es. frazione di eiezione del ventricolo sinistro e lo strain miocardico)



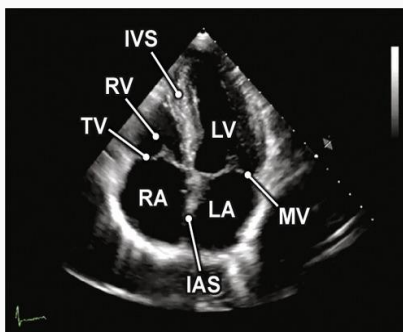
Apicale 2 camere (A2C)



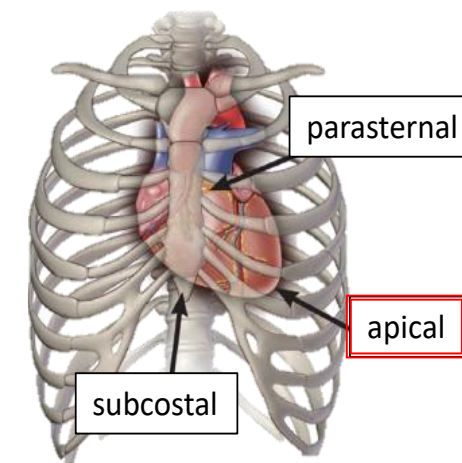
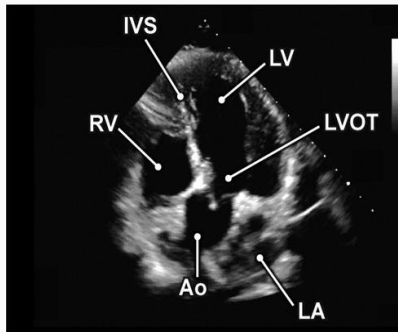
Apicale 3 camere (A3C)



Apicale 4 camere (A4C)

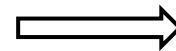


Apicale 5 camere (A5C)

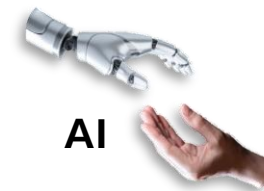


LIMITI DELLA TTE

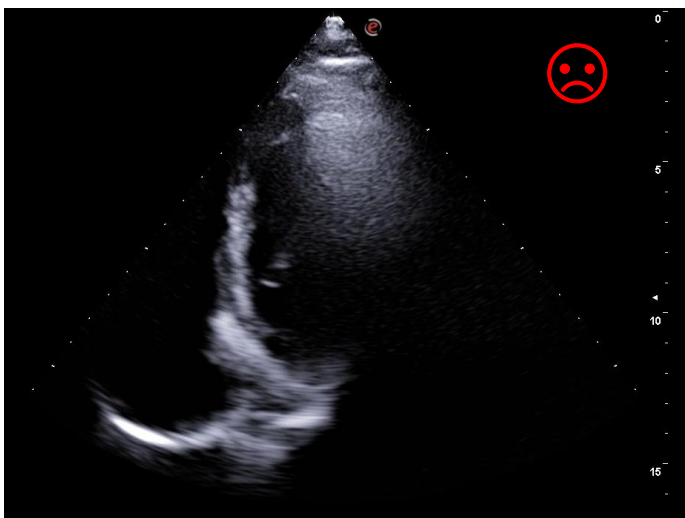
- L'**acquisizione** e l'**interpretazione** delle immagini TTE richiedono competenze tecniche avanzate.
- **Dipendenza** dei **parametri** estratti dalla **qualità dell'immagine**.
- **Difficile** per **operatori non esperti** ottenere immagini di qualità.



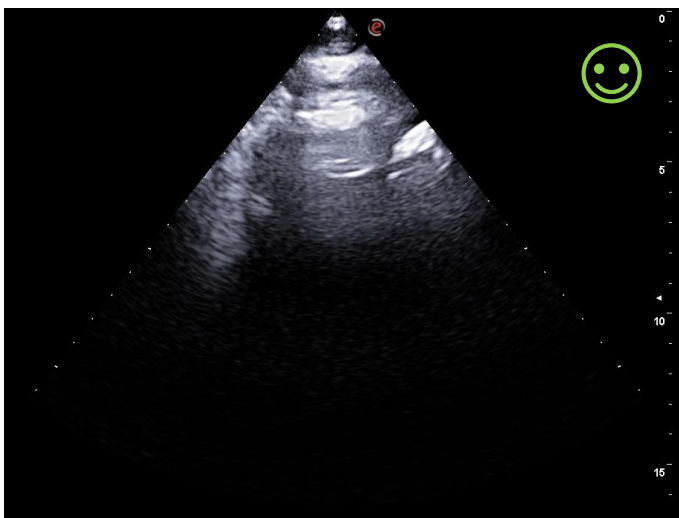
Tecniche di **IA** per
l'**automazione**
delle procedure **TTE**



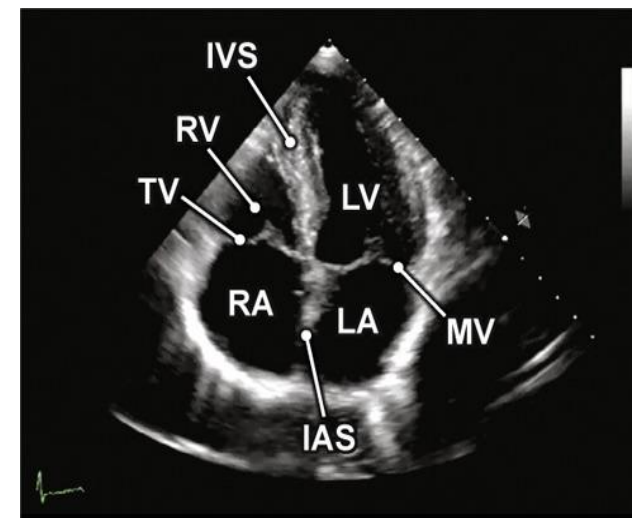
Operatore non esperto



Ecografista esperto

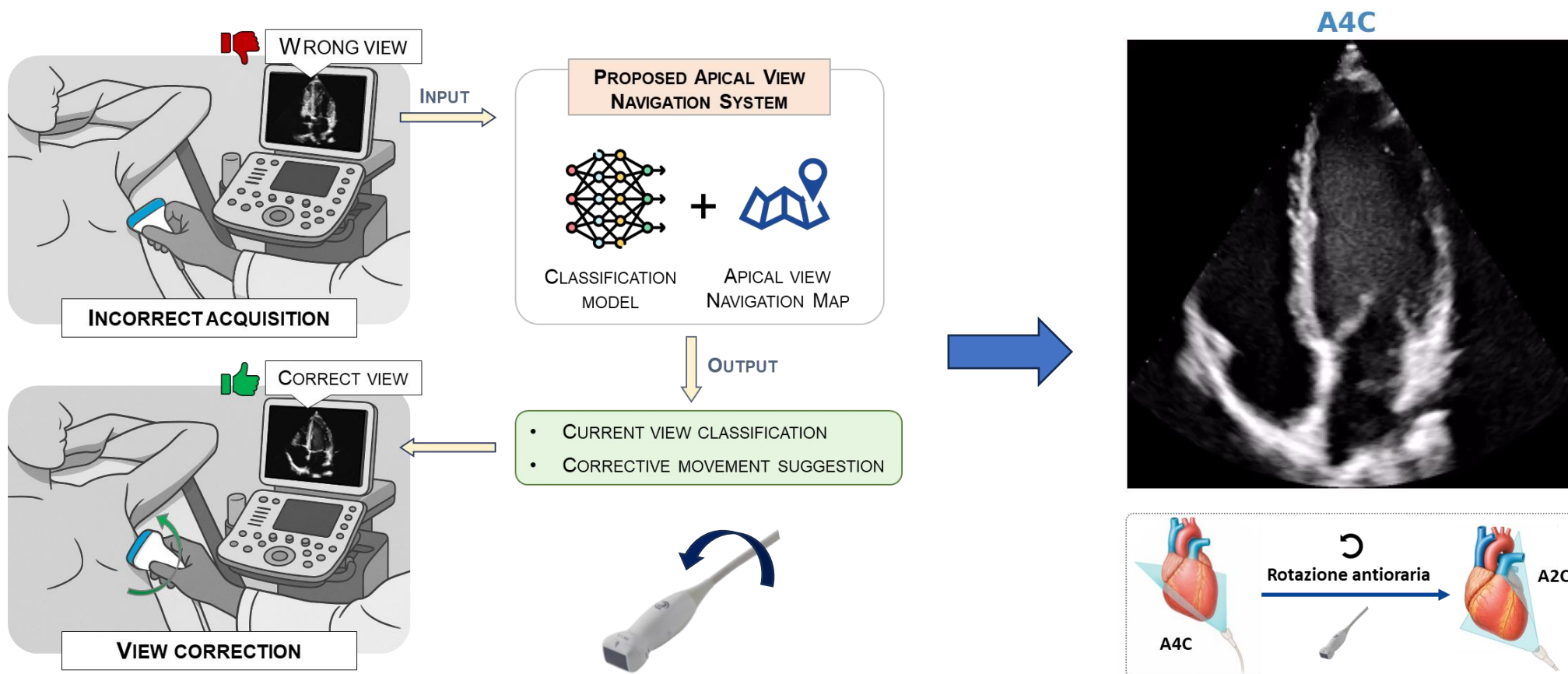


Vista target

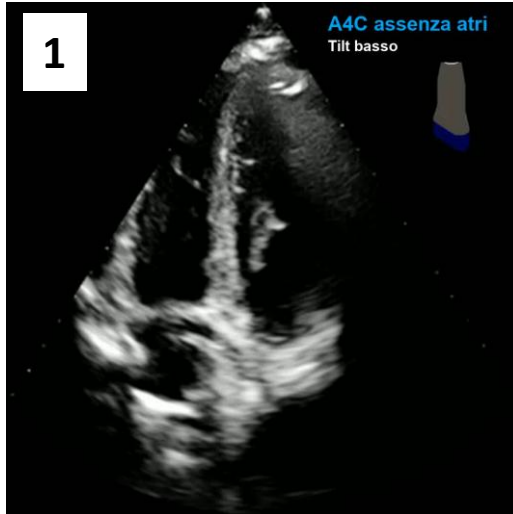


PROGETTO PROUD: PIPELINE (I)

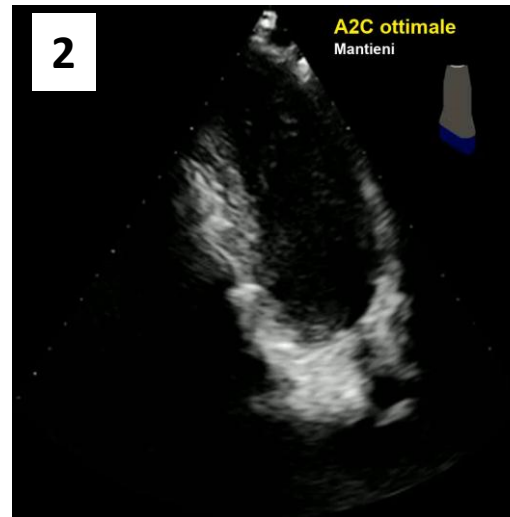
- ❑ **Idea del progetto (PROUD):** Sviluppo e implementazione di un **sistema che assista** operatori non esperti a eseguire esami TTE, suggerendo come posizionare correttamente la sonda a US sul torace del paziente per ottenere le viste desiderate.



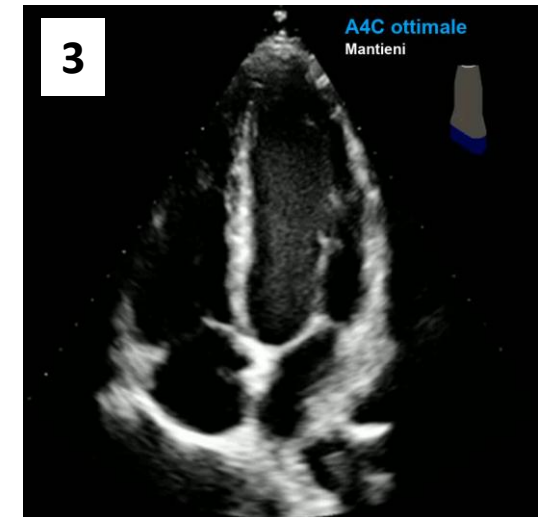
RISULTATI: SISTEMA DI GUIDA TTE



Da A4C schiacciata a A4C standard



Da A2C a A3C



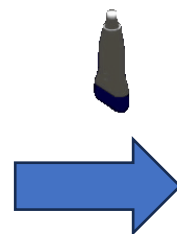
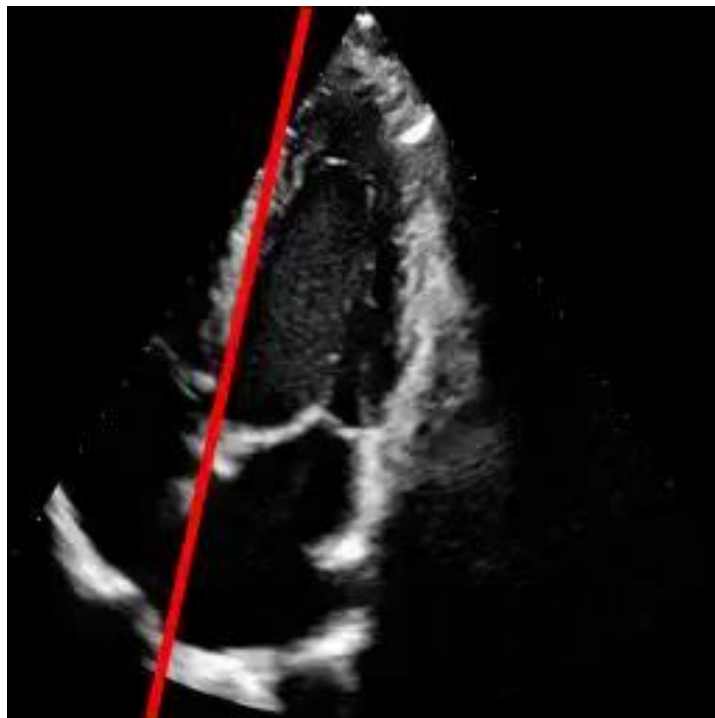
Da A4C a A5C

Il **sistema di AI** identifica la **vista TTE attuale** e **suggerisce** all'utente il **movimento** da applicare con la sonda per **correggere** la vista

TRACKING DEL SETTO INTERVENTRICOLARE

- **Ottenuta una vista di qualità accettabile** è possibile **raffinare** ulteriormente quest'ultima identificando la rototraslazione da suggerire all'utente, tramite il tracking di strutture particolari nell'immagine (es. setto interventricolare – IVS)

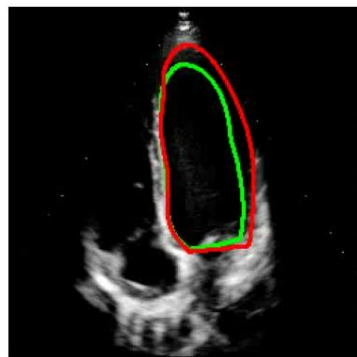
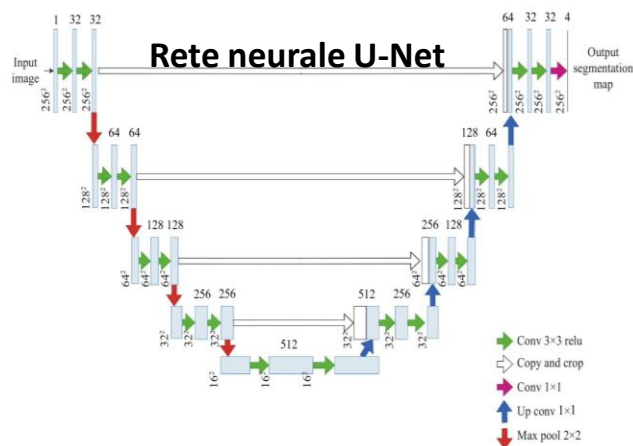
TRACKED IVS



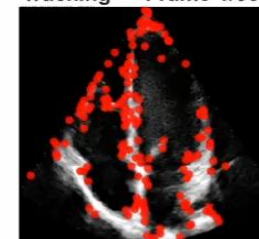
Il risultato è
l'ottenimento di
una vista TTE
ottimizzata

PROGETTO PROUD: PIPELINE (II)

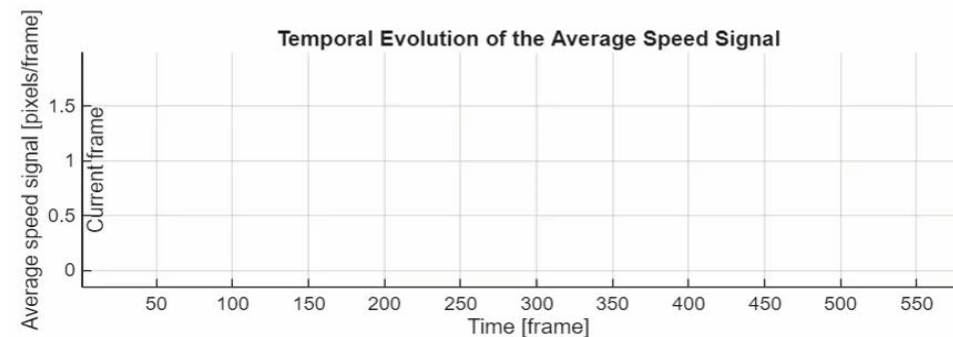
- ❑ Una volta ottenute viste di buona qualità il sistema calcola automaticamente una serie di **parametri quantitativi** rilevanti ai fini diagnostici (es. frazione di eiezione, strain miocardico)
- ❑ A tal fine è necessario (tramite l'AI):
 1. **Segmentare le strutture di interesse** per il calcolo dei parametri (es. ventricolo sx)
 2. **Identificare gli istanti del ciclo** relativi alle fasi di **fine sistole (ES)** e **fine diastole (ED)**



Tracking — Frame 1/588

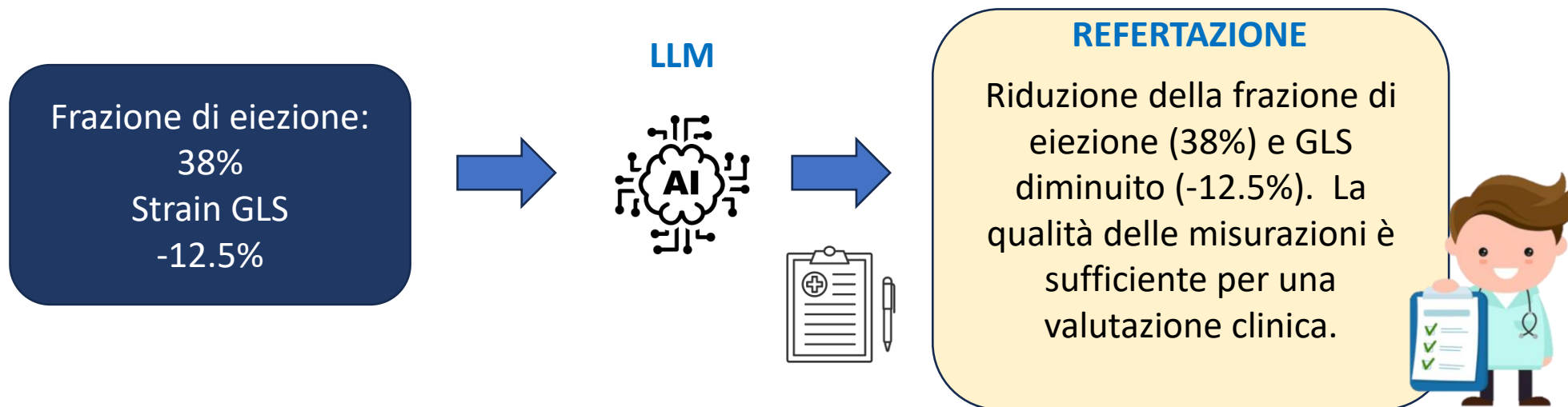


Temporal Evolution of the Average Speed Signal



PROGETTO PROUD: PIPELINE (III)

- ❑ I parametri estratti, assieme alle immagini ottenute sono quindi passati ad un **sistema di refertazione automatica** (LLMs), che **riassume i risultati dell'esame eseguito**, in modo da poter **sottoporre questi ultimi alla valutazione di un medico esperto**





GRAZIE PER L'ATTENZIONE

Presentazione a cura di Edoardo Spairani
edoardo.spairani@unipv.it