

# HEREMOS – Tecnologia indossabile per il monitoraggio clinico

Giuseppe Guarino<sup>1\*</sup>, Marco Sabatini<sup>1\*</sup>, Felice Del Mauro<sup>1</sup>, Alessandro Di Tomaso<sup>1</sup>, Emiliano Schena<sup>2</sup>, Massimiliano Carassiti<sup>3</sup>, Luca Vollero<sup>4</sup>, Giulia Di Tomaso<sup>1</sup>

RDSlab S.r.l. 1,

Università Campus Bio-Medico di Roma, Laboratorio di Misure e Strumentazione Biomedica 2,

Università Campus Bio-Medico di Roma, Unità di Anestesiologia e Medicina d'urgenza 3,

Università Campus Bio-Medico di Roma, Unità di Sistemi di Elaborazione e Bioinformatica 4

## Abstract

HEREMOS è una piattaforma per il monitoraggio continuo dei parametri vitali dei pazienti, ed ha come ambizione la riduzione dei tempi di degenza e la prevenzione di ospedalizzazioni ricorrenti. La tecnologia consiste di una rete di sensori indossabili; una base dati in logica Big Data, con metodi di criptazione avanzati per la memorizzazione delle informazioni raccolte; e un modulo di analisi dati con algoritmi specifici volti a estrapolare modelli e indici predittivi per valutare in modo precoce cambiamenti dello stato di salute del paziente. La metodologia di gestione ed analisi dati del sistema HEREMOS viene presentata in questo contributo.

## 1 Introduzione

Il monitoraggio continuo e remotizzato permette la costruzione di servizi assistenziali migliorativi per pazienti domiciliati e ospedalizzati. La mancata individuazione di segnali di deterioramento dello stato del paziente ospedalizzato è spesso causata da intervalli temporali eccessivi che avvengono tra misurazioni [Clifton et al., 2014], soprattutto durante la notte. Oltre ad un miglioramento dell'assistenza, secondo uno studio dell'Osservatorio Innovazione Digitale in Sanità del Politecnico di Milano, l'utilizzo sistematico di strumenti digitali in sanità comporterebbe un risparmio annuale di circa 7 miliardi di euro [Di Buono et al., 2018]. In questo articolo presentiamo la piattaforma HEREMOS la cui ambizione è quella di fornire un modello di monitoraggio che possa integrarsi, per qualità delle informazioni raccolte e sicurezza, nel sistema sanitario fornendo, nel contempo, una migliore esperienza al paziente e una riduzione dei costi di gestione per il sistema sanitario nazionale.

## 2 Metodo

La piattaforma HEREMOS è basata su un sistema indossabile che integra sensori per il monitoraggio in tempo reale dei parametri vitali del paziente: (i) pressione arteriosa, (ii) frequenza cardiaca e (iii) respiratoria, (iv) volumi respiratori, (v) saturazione dell'ossigeno nel sangue arterioso e (vi) dolore percepito. Ad esso si affiancano un sistema di comunicazione a due livelli, locale (Body Area Network) e remoto (un canale di comunicazione su

Internet), un sistema archiviazione dati in logica Big Data e un modulo di analisi dei dati.

### 2.1 Sistemi di comunicazione ed archiviazione

Il sistema di comunicazione impiegato in HEREMOS prevede la presenza di diversi generatori di informazione *wearable* che implementano logiche di digitalizzazione, codifica e trasmissione dati. Gli *stream* prodotti dai nodi generatori vengono gestiti ed elaborati da un aggregatore di basso livello. Tali elaborazioni contribuiscono a filtrare i dati e ad estrarre da questi, parametri sintetici ispezionabili tramite un'interfaccia locale sia per una valutazione in presenza del loro andamento, sia a scopi diagnostici del sistema.

#### 2.1.1 Generatori

I nodi generatori (*smart sensor*), costituiti da moduli di trasduzione e conversione, hanno il compito di produrre un flusso di dati per ogni elemento sensibile gestito. Tale stream è composto di campioni acquisiti a cui viene associato il *timestamp* di campionamento. L'informazione ottenuta viene dunque inoltrata tramite un protocollo di comunicazione a pacchetti da un trasmettitore interno al generatore. Nel complesso ogni nodo generatore è membro di una rete locale per la trasmissione delle informazioni ottimizzata in potenza e in *throughput*.

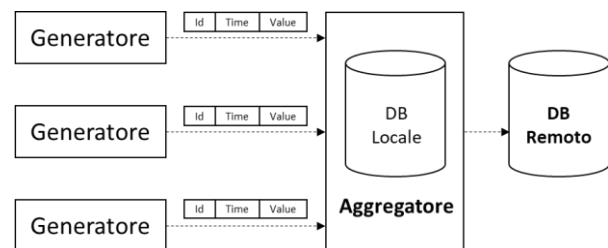


Figura 1: Blocchi logici del sistema di comunicazione

#### 2.1.2 Aggregatore

Il nodo aggregatore si occupa di raccogliere i dati provenienti dai vari *smart sensor*. Le informazioni vengono collezionate in una struttura dati comune per la memorizzazione su Data Base (DB) locale e per la trasmissione verso un DB remoto. Oltre alla raccolta e alla gestione dei flussi, il nodo aggregatore implementa delle

\*Gli autori hanno contribuito in egual misura

funzionalità di manipolazione ed analisi dei dati sul modello *Fog Computing*.

## 2.2 Modulo di analisi dati

Il modulo di analisi dati del sistema HEREMOS è costituito da diversi blocchi, finalizzati a diverse tipologie di analisi e a gestire diverse tipologie di dati, agendo su DB locale o DB remoto in logica Big Data.

### 2.2.1 Blocco 1: Analisi a soglia

I segnali fisiologici provenienti dai sensori ricevono un trattamento per il filtraggio, la formattazione e l'estrazione dei parametri vitali del paziente utilizzando algoritmi validati per uso medico. I dati vengono poi salvati sul DB locale per poter fare una prima valutazione dello stato del paziente. La valutazione è fatta tramite un'analisi a soglia basata su scale cliniche validate che assegna un punteggio di rischio al paziente.

### 2.2.2 Blocco 2: Analisi *patient-specific*

L'alta efficienza del sistema di archiviazione dei dati su DB remoto permette la consultazione efficiente dello storico dei pazienti e la visualizzazione e confronto con i dati in tempo reale. Questo, di fatto, è alla base di un sistema di *anomaly detection* nei parametri vitali del soggetto. Tale sistema serve ad integrare l'informazione fornita dall'analisi a soglia menzionata precedentemente, elevando il livello di finezza della analisi sopra gli standard di automazione attuali. L'analisi *patient-specific* si sviluppa in due fasi. La prima consiste nel trattamento del dato rilevato, una normalizzazione, in modo tale che possa essere paragonato allo storico del paziente (e/o di altri pazienti sul DB remoto) al fine di poter discriminare se il comportamento rientra nei valori 'normali' o comunque 'accettabili' (sistema di *fingerprinting*). Qualora dalla prima fase emergesse la presenza di anomalie nei segnali fisiologici, entrerebbe in funzione la seconda fase a impronta IA. In questa analisi un modello deep learning, allenato sullo storico di più pazienti presenti nel DB remoto, viene adattato allo storico del paziente via *transfer learning* e viene usato per identificare e classificare in modo robusto le anomalie.

### 2.2.3 Blocco 3: Analisi epidemiologica

Il DB in logica Big Data crea un Data Repository per svolgere analisi epidemiologiche e di popolazione. Le funzionalità di data mining e clustering permettono un'agevole gestione del dato strutturato (e.s. serie storiche) e destrutturato (e.s. referti clinici). Ciò permette, pur mantenendo l'anonimato dei pazienti, di effettuare analisi statistiche su un gran numero di campioni provenienti da più pazienti a diversi punti della loro degenza e/o della loro malattia con lo scopo di trovare nuove correlazioni che possano aiutare nello sviluppo di metodi di diagnosi o prevenzione.

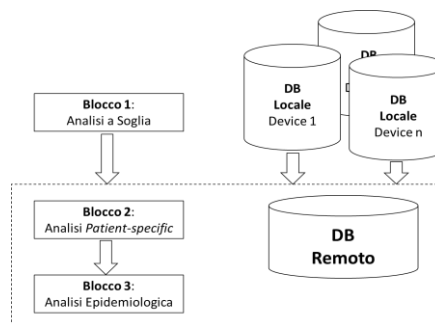


Figura 2: Flusso di elaborazione del dato

## 3 Discussione e conclusione

HEREMOS risponde alla crescente domanda di soluzioni per il monitoraggio remoto dei pazienti, determinata in parte dall'aumento delle malattie croniche e in parte dal processo di invecchiamento della popolazione europea. Il sistema di comunicazione ed archiviazione del dato, altamente modulabile, permette una gestione ottimizzata del flusso di informazioni proveniente dai singoli nodi generatori indossati dal paziente.

Il modulo di analisi dei dati elabora le informazioni provenienti dai nodi fornendo un supporto decisionale a vari livelli. Utilizzando i dati su sistema locale e tramite un'analisi a soglia clinicamente validata [Weenk et al., 2017], fornisce informazioni al personale clinico per un'immediata valutazione sulla stabilità dello stato clinico del paziente. Grazie ai dati storici raccolti nel DB remoto, l'analisi a soglia viene integrata con le informazioni fornite da un AI permettendo un'analisi approfondita sul comportamento biometrico specifico del singolo paziente analizzato. Il sistema HEREMOS è stato studiato per garantire una totale scalabilità, sia nella gestione dei nodi di informazione che nella gestione del dato fornito al DB remoto. HEREMOS può essere visto come un sistema *plug and play*, con la possibilità di inserire e analizzare dati da fonti eterogenee, ad integrazione delle informazioni cliniche esistenti, per fornire un supporto efficace al processo di valutazione clinica del singolo paziente.

## Riferimenti bibliografici

- [Di Buono et al., 2018] Di Buono, Michele, De Marco, Andrea, Peluso, Simona, Piazza, Sara, "Sanità 4.0", intervista a Mariano Corso – Osservatorio Innovazione Digitale Sanità, 1545087725879\_sanita40\_report, 2018
- [Clifton et al., 2014] Clifton, Lei, David A. Clifton, Marco AF Pimentel, Peter J. Watkinson, and Lionel Tarassenko. "Predictive monitoring of mobile patients by combining clinical observations with data from wearable sensors." *IEEE journal of biomedical and health informatics* 18, no. 3 (2014): 722-730.
- [Weenk et al., 2017] Weenk, Mariska, Harry van Goor, Bas Frietman, Lucien JLPG Engelen, Cornelis JHM van Laarhoven, Jan Smit, Sebastian JH Bredie, and Tom H. van de Belt. "Continuous monitoring of vital signs using wearable devices on the general ward: pilot study." *JMIR mHealth and uHealth* 5, no. 7 (2017).