



Università degli Studi di Trieste

Studi Superiori in Ingegneria Clinica  
Higher Education in Clinical Engineering  
SSIC-HECE

Specialist Master of “Management in Clinical Engineering”

Director: Prof. Agostino Accardo

*Progettazione di un dispositivo per la  
Fotopletismografia remota*

Studente:

Dott. Alessandro Pellegrino

Relatore

Chiar.mo Prof. Patrizio Accardo

Anno Accademico 2020-2021

Introduzione	3
Capitolo 1 – Breve panoramica sulla rPPG.	4
Capitolo 2 – Panoramica generali sulle fasi di progettazione e implementazione del dispositivo	9
Principi generali di progettazione	10
Requisiti Funzionali	10
Requisiti di Performance	11
Requisiti sulla Sicurezza	11
Requisiti sull'Usabilità	11
Schemi progettuali	12
Implementazione	15
User interface - Triage	16
Capitolo 3 – Test e risultati	22
Capitolo 4 - Conclusioni	24
Bibliografia e Sitografia	25
Indice Figure	26

## Introduzione

La tecnologia di monitoraggio della salute senza contatto è un tema che, nel contesto attuale di pandemia mondiale COVID-19 in cui si presenta sempre più la necessità di diminuire le occasioni di contatto e favorire il distanziamento nei luoghi di erogazione delle cure, sta assumendo sempre più rilevanza. [1].

In particolare, la rilevazione ed il monitoraggio di parametri vitali, indicatori importanti per determinare lo stato di salute di un soggetto, assumono un ruolo centrale nella diagnosi di patologie.

La fotopleletismografia remota (rPPG) è una tecnica di misurazione ottica avanzata che consente di determinare processi fisiologici senza alcun contatto con l'area della superficie del tessuto in esame.

Si basa sulla rilevazione di variazioni momentanee nel colore della pelle del soggetto legate al flusso sanguigno che non sono rilevabili dall'occhio umano e, servendosi di un complesso algoritmo matematico per l'analisi, genera una stima di alcuni parametri vitali.

In letteratura, dati preliminari che confrontano l'accuratezza delle letture di acquisizioni effettuate con la rPPG con quelle convenzionali di dispositivi medici collaudati mostrano che i risultati sono promettenti.

In particolare, il presente lavoro di tesi implementa questa tecnica avanzata per produrre un dispositivo in grado di effettuare una misurazione di parametri fisiologici allo stato dell'arte della fotopleletismografia remota.

Il progetto è stato svolto in collaborazione con la startup innovativa PadMed S.r.l. e si pone la finalità di presentare ed approfondire tutte le varie fasi che hanno definito la progettazione del dispositivo, i test preliminari e i risultati ottenuti.

## Capitolo 1 – Breve panoramica sulla rPPG.

La fotopletismografia remota è una tecnica capace di rilevare parametri vitali analizzando la variazione di colore della pelle per mezzo di una sorgente multimediale, ad esempio un video digitale.

La prima misurazione significativa effettuata è stata la frequenza cardiaca, rilevata andando ad analizzare la variazione del colore del viso del soggetto ottenuta da un semplice video.

La frequenza cardiaca (HR) è definita come il numero di battiti che il cuore compie in un minuti (bpm) ed è influenzata dal sistema nervoso autonomo (ANS).

Il sistema nervoso autonomo consiste di due rami principali: il sistema nervoso simpatico che si attiva nel momento in cui ci si trova in una situazione eccitante quale, ad esempio, di minaccia, paura, stress ed esercizio e comporta un aumento della frequenza cardiaca; ed il sistema nervoso parasimpatico che, inversamente, si attiva in situazioni di rilassamento e comporta una diminuzione della frequenza cardiaca.

L'indicatore di equilibrio di queste due differenti condizioni è un marcatore di salute e stress del soggetto e si definisce variabilità della frequenza cardiaca (HRV): la predominanza del sistema nervoso simpatico, come ad esempio in una condizione di forte stress per il soggetto, equivale ad una diminuzione della HRV.

Successivamente, per mezzo dello sviluppo di alcuni algoritmi è stato possibile calcolare ulteriori dati e parametri rilevanti al monitoraggio dello stato di salute di un soggetto: sesso, età, peso, altezza, ossigenazione del sangue ( $SpO_2$ ), pressione sistolica, pressione diastolica, pressione arteriosa media, carico di lavoro cardiaco, rischio di malattie cardiovascolari, rischio ictus, rischio infarto, indice di stress mentale, ecc.

In questo capitolo, presentiamo brevemente i principi base della PPG attraverso l'esempio di un dispositivo indossabile: nel caso di un orologio che effettua la misurazione del battito cardiaco, un primo sensore emette la luce sulla pelle e un secondo sensore rileva la quantità di luce che viene restituita al dispositivo.

E' possibile, quindi, ottenere il contrasto tra la luce emessa e riflessa. La quantità di luce riflessa varia in funzione del volume sanguigno che, causato dalla dilatazione e dalla costrizione dei capillari, permette di stimare la frequenza cardiaca.

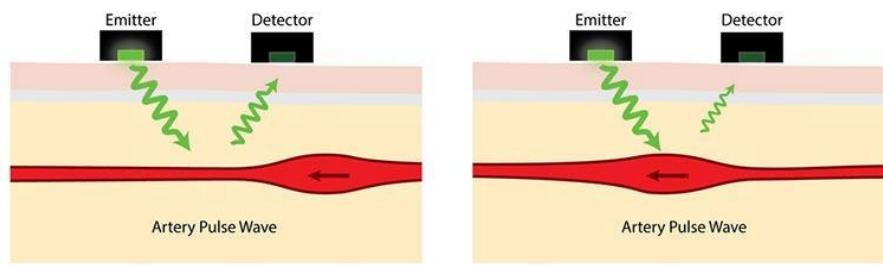


Figura 1. Rilevamento ottico della frequenza cardiaca. A sinistra: una pressione più bassa che precede l'onda del polso significa arterie più strette e meno assorbimento (maggiore riflettività) della sorgente di luce verde. A destra: un impulso di pressione sanguigna più alto causa arterie più larghe e un maggiore assorbimento della luce (minore riflettività)[3]

La fotoplethimografia remota per rilevare della frequenza cardiaca si basa sullo stesso principio presentato nell'esempio, con la differenza che la misurazione avviene senza alcun contatto con il tessuto del soggetto: misura la varianza dei cambiamenti di riflessione della luce rossa, verde e blu della pelle come il contrasto tra la riflessione speculare e la riflessione diffusa.

La riflessione speculare si definisce come la riflessione pura della luce dalla pelle; mentre la riflessione diffusa si definisce come la riflessione che rimane dall'assorbimento e dallo scattering nel tessuto cutaneo, e varia funzione dei cambiamenti di volume del sangue.

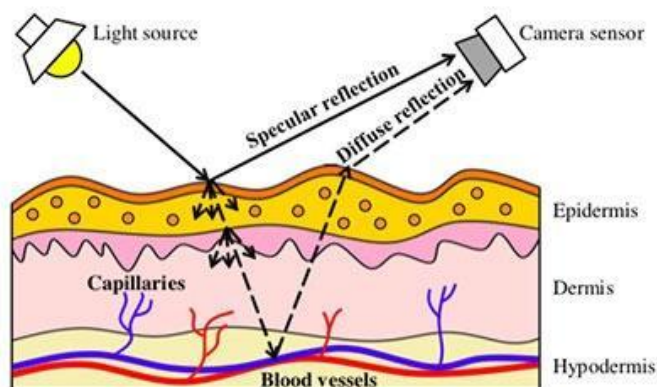


Figure 2. The skin reflection model that contains specular and diffuse reflections, where only the diffuse reflection contains pulsatile information [4]

Nel presente progetto, la procedura per il rilevamento a distanza è stata effettuata seguendo la seguenti fasi:

- *Cattura dell'immagine webcam* del viso del soggetto: una volta rilevata l'immagine, questa verrà modellata per determinare i punti di riferimento del viso e l'orientamento della testa. Successivamente, vengono selezionati circa i due terzi superiori del viso, dove si concentrano la maggior parte dei vasi sanguigni, come zona di interessare.
- *Estrazione del segnale*: la media dei colori di ogni pixel - rosso, verde, blu- della regione viene misurata nel tempo (riflessi speculari + diffusi).
- *Filtraggio del segnale*: adattando il modello facciale è possibile eliminare gli artefatti da movimento della testa e, di conseguenza, ottenere la misura della frequenza cardiaca priva di rumore.
- *Calcoli di output*: la rilevazione dei picchi consente la misurazione degli intervalli tra i battiti e, successivamente, la stima della frequenze cardiache e della variabilità della frequenza cardiaca.

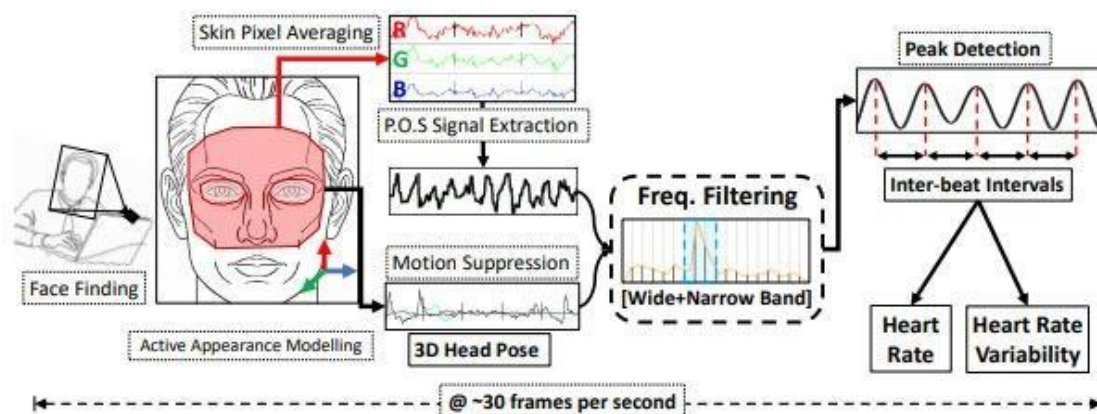


Figura 3. Una panoramica della pipeline proposta per la stima della frequenza cardiaca e della variabilità della frequenza cardiaca (da sinistra a destra). Il volto nelle immagini webcam catturate viene rilevato e modellato per tracciare i pixel della pelle nella regione di interesse. Il valore medio dei segnali RGB viene estratto nel tempo. In parallelo, i movimenti della testa sono tracciati e usati per sopprimere il rumore del movimento. Il processo di filtraggio dei segnali a banda larga e stretta produce una forma d'onda pulita degli impulsi da cui vengono rilevati i picchi. Gli intervalli tra i battiti ottenuti da questi picchi sono poi utilizzati per calcolare la frequenza cardiaca e la variabilità della frequenza cardiaca. L'analisi completa può essere eseguita in tempo reale su un computer [5]

L'obiettivo principale della fase embrionale del progetto è stato testare in prima persona le potenzialità di questa tecnica innovativa e, per far questo, ci si è serviti come riferimento un fornitore esterno.

Il motore che si andrà ad utilizzare, è una piattaforma di intelligenza affettiva basata su cloud che utilizza l'innovativa tecnologia di imaging del flusso sanguigno facciale per fornire un'analisi potente della fisiologia umana e degli affetti psicologici.

Le informazioni, quindi, sono estratte dal flusso sanguigno facciale utilizzando l'SDK di estrazione e, successivamente inviate al cloud per stimare i diversi segnali biologici come la frequenza cardiaca e la variabilità della frequenza cardiaca.

Inoltre, il fornitore ha sviluppato diversi modelli di reti neurali che possono prevedere anche ulteriori segnali biologici come la pressione sanguigna e altri marcatori di salute come l'indice di stress mentale.

Nelle seguenti rappresentazione si riportano l'architettura generale di un'applicazione basata sul sistema cloud e l'identificazione dei punti facciali di interessi per l'estrazione dei valori del flusso sanguigno:

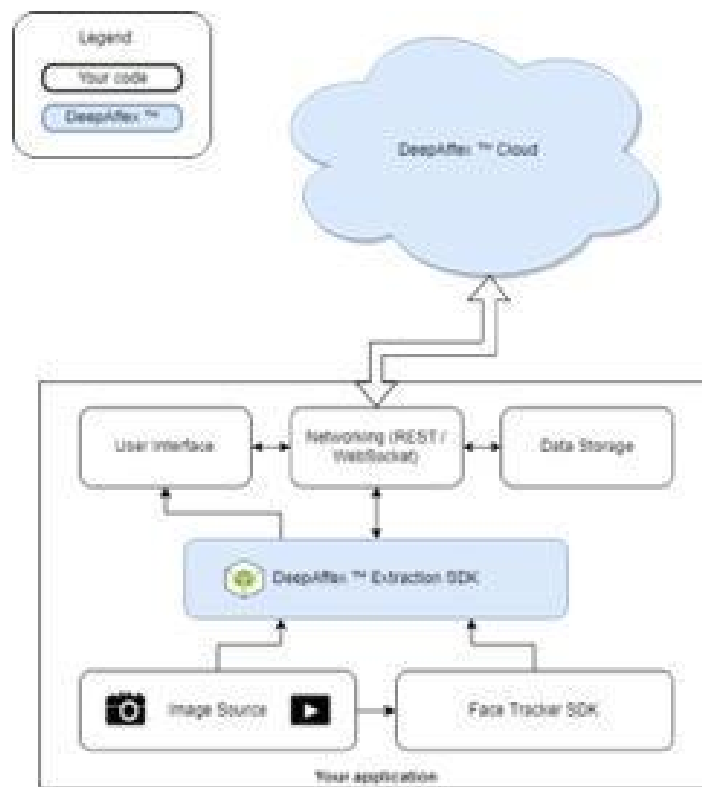


Figura 4. Architettura generale di un'applicazione cloud

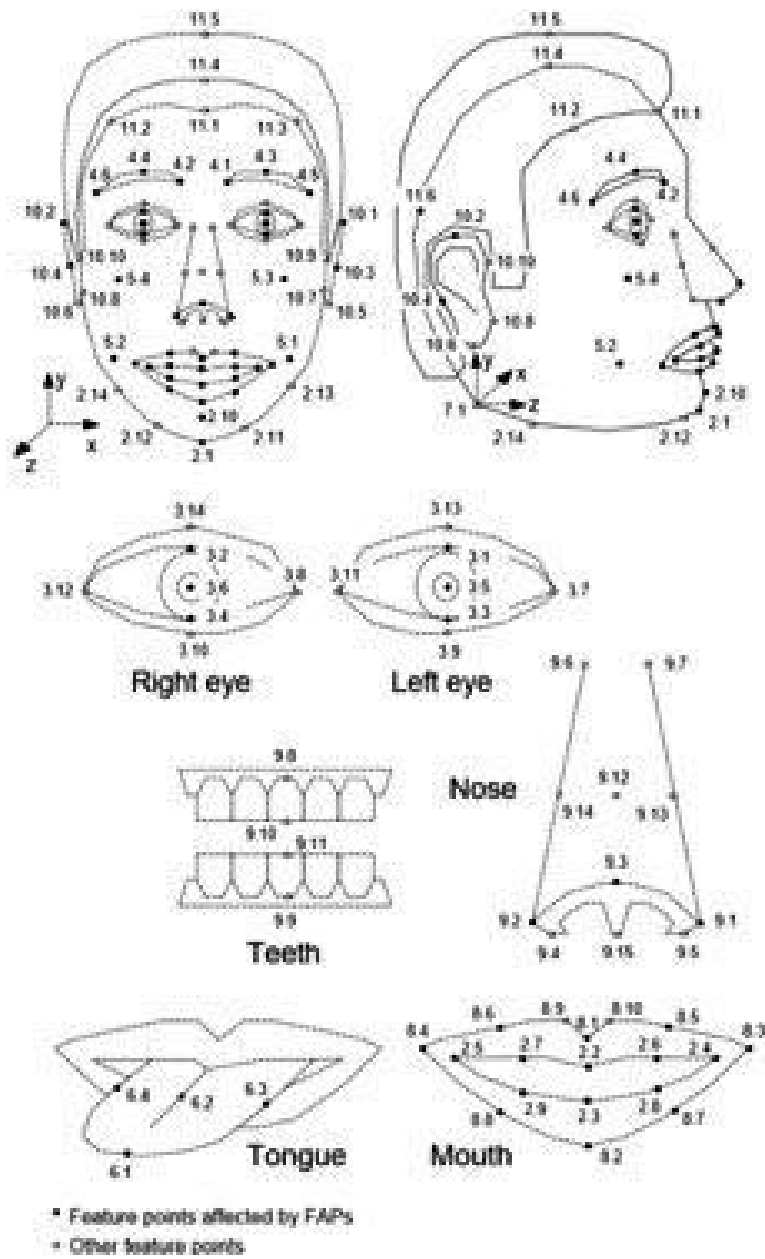




Figura 5. Rappresentazione dei punti facciali di interesse per l'estrazione dei valori del flusso sanguigno



## Capitolo 2 – Panoramica generali sulle fasi di progettazione e implementazione del dispositivo

L'obiettivo di questo progetto è implementare un dispositivo software in grado di integrare le tecnologie esposte nel capitolo precedente. Sebbene il cloud del fornitore offra delle REST API in grado di performare una misurazione di rPPG, ciò che richiede in input non è tanto la video acquisizione in sé, quanto i valori del flusso sanguigno estratti dai punti facciali esposti nella figura precedente. E' necessario, quindi, un preprocessing del biosegnale prima di darlo in pasto al cloud.

Il flusso del processo necessario per ottenere una misurazione, a grandi linee, prevede:

1. Il posizionamento frontale del soggetto ad una videocamera;
2. L'acquisizione video del volto del soggetto per una durata complessiva compresa tra i 30 e i 60 secondi;
3. L'estrazioni del flusso sanguigno dei vari punti facciali indicati dal cloud. In particolare, per questa fase si è utilizzata la libreria Python Dlib;
4. Chiamata REST verso il cloud: input  flusso sanguigno dei punti facciali; output . Ogni punto rappresenta un diverso parametro vitale, ad esempio la frequenza cardiaca.

Le specifiche tecniche a questo punto sono ben chiare e ben definite per iniziare a produrre un'architettura software in grado di soddisfare la necessità.

Le scelte tecnologiche effettuate sono state:

- Linguaggi: Python3, Javascript, C++, Bash
- Framework: Django, REST Framework
- Architettura Client-Server, Database SQLite

## Principi generali di progettazione

Le fasi preliminari di consultazione intercorse con l'azienda, prima ancora della definizione delle specifiche di progetto, hanno affrontato i principi che accompagneranno l'intera fase di progettazione fino al raggiungimento del dispositivo finale. Sebbene questa tesi contenga solo la fase che ha caratterizzato la realizzazione del primo prototipo, si è cercato di rendere il prototipo più fedele possibile ai seguenti principi:

- *Safety*: il dispositivo deve essere sicuro per il paziente, per gli operatori e per l'ambiente.
- *Effectiveness*: la capacità di produrre il risultato atteso per il paziente e per gli operatori, facendo riferimento a tutte le normative e gli standard che riguardano i dispositivi medici.
- *Data and system security*: garantire la sicurezza dei dati. Pertanto, le attività di informazione, dati e sistemi, sono ragionevolmente protetti dalla perdita di riservatezza, integrità e disponibilità.
- *Reliability*: la produzione di un dispositivo deve essere affidabile in tutte le circostanze. Si intende applicare il principio della *privacy by design e by default* per il quale si prevede che la tutela dei diritti e delle libertà degli interessati, con riguardo al trattamento dei dati personali, comporti l'attuazione di adeguate misure tecniche ed organizzative sia della progettazione che dell'esecuzione del trattamento stesso.
- *Accuracy*: i dati delle misurazioni dei parametri vitali del dispositivo medico saranno vicine al dato reale.
- *Scalability*: la realizzazione di un prodotto che deve essere grado di aumentare le sue funzioni e disponibilità in base alla richiesta.

## Requisiti Funzionali

Come primo requisito, il dispositivo medico deve essere progettato in modo da risultare sicuro da utilizzare per tutte le categorie di utente, nel senso che il rischio che possa causare qualunque tipo di danno è ridotto al minimo.

Deve essere possibile, inoltre, per il paziente autenticarsi e identificarsi in modo da poter accedere alle sessioni di Remote Photoplethysmography (RPPG) grazie

a tecnologie basate sull'Intelligenza Artificiale e di fruire di servizi di telemedicina.

Tutta l'architettura deve godere di piena integrabilità e interoperabilità con il sistema informatico ospedaliero (ad esempio Standard HL7) Fascicolo Sanitario Elettronico, Dossier Sanitario e EHR.

### Requisiti di Performance

Il DM deve garantire la minima latenza di sistema possibile durante l'utilizzo:

- La rilevazione dei parametri vitali attraverso Remote Photoplethysmography (RPPG) deve avvenire entro un tempo compreso tra i 30 ~ 40 secondi;
- Le misure RPPG devono essere precise ed accurate;
- Capacità di servire un elevato numero di client contemporaneamente;
- Elevata capacità di storage;
- Capacità di essere scalabile sia orizzontalmente che verticalmente.

### Requisiti sulla Sicurezza

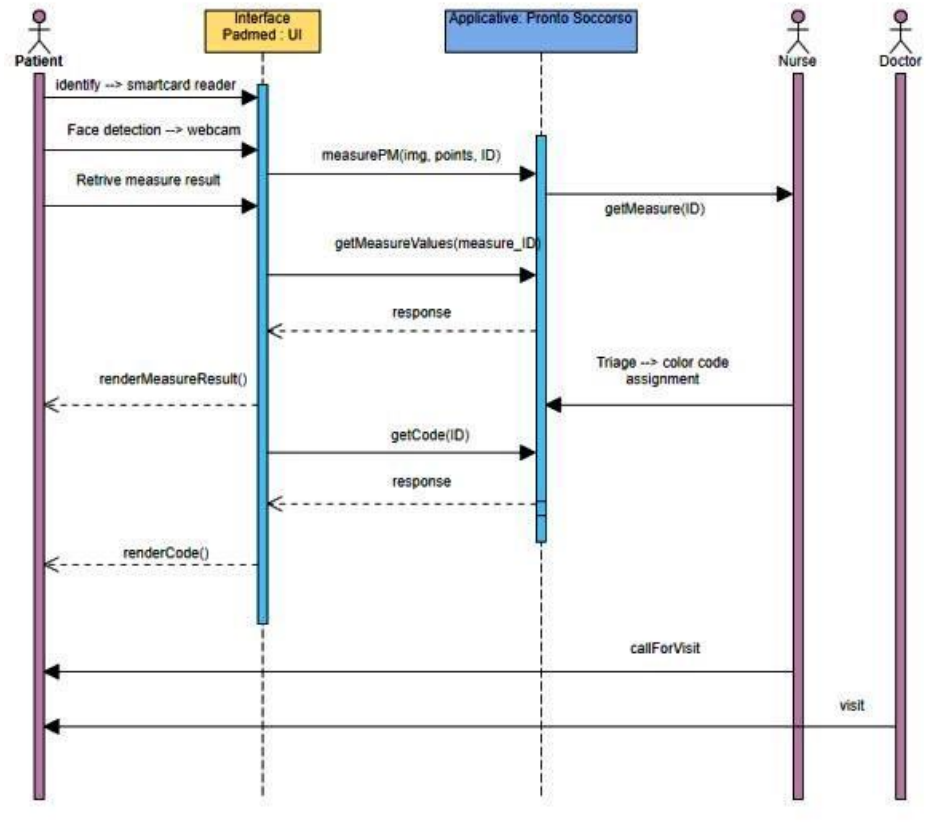
- Controllo degli accessi e stratificazione dei privilegi utente;
- Confidenzialità: i dati possono essere acceduti esclusivamente dal legittimo proprietario o da una figura che abbia le autorizzazioni necessarie;
- Garantire l'integrità e la sicurezza dei dati;
- Disponibilità: i dati devono essere disponibili a chi abbia le autorizzazioni necessarie nei modi e nei tempi richiesti;
- Privacy: il diritto che ha ogni individuo di determinare quando, quanto, come e a chi comunicare le informazioni che riguardano la sua persona;
- Non ripudio: fornire l'evidenza che una certa azione è stata compiuta da una determinata persona e non da altri soggetti;
- Autenticazione: fornire la prova che l'utente è esattamente chi dice di essere;
- Tracciabilità: è possibile tenere traccia di tutte le azioni compiute dagli utenti sulle risorse.

### Requisiti sull'Usabilità

- Il DM deve essere facile da imparare e da usare per tutte le categorie di utenti;
- Il DM deve essere accessibile ad utenti non vedenti e non udenti;
- Il DM deve essere disponibili nelle principali lingue della comunità europee: Inglese, Italiano, Francese, Spagnolo e Tedesco;

## Schemi progettuali

Conclusa la fase di raccolta specifiche, requisiti e vincoli di progetto si è passati alla produzione di bozze di schemi che permetta una visione compatta e di alto livello dell'applicativo e delle sue sfaccettature.



Il primo schema, riportato in Figura 6, è il sequence diagram:

Figura 6. Schema progettuale: sequence diagram

In seguito, sulla base delle esigenze di progetto e delle specifiche tecniche, si è prodotto lo schema che racchiude l'Architettura modulare ad Alto Livello sulla quale si appoggerà l'applicativo:

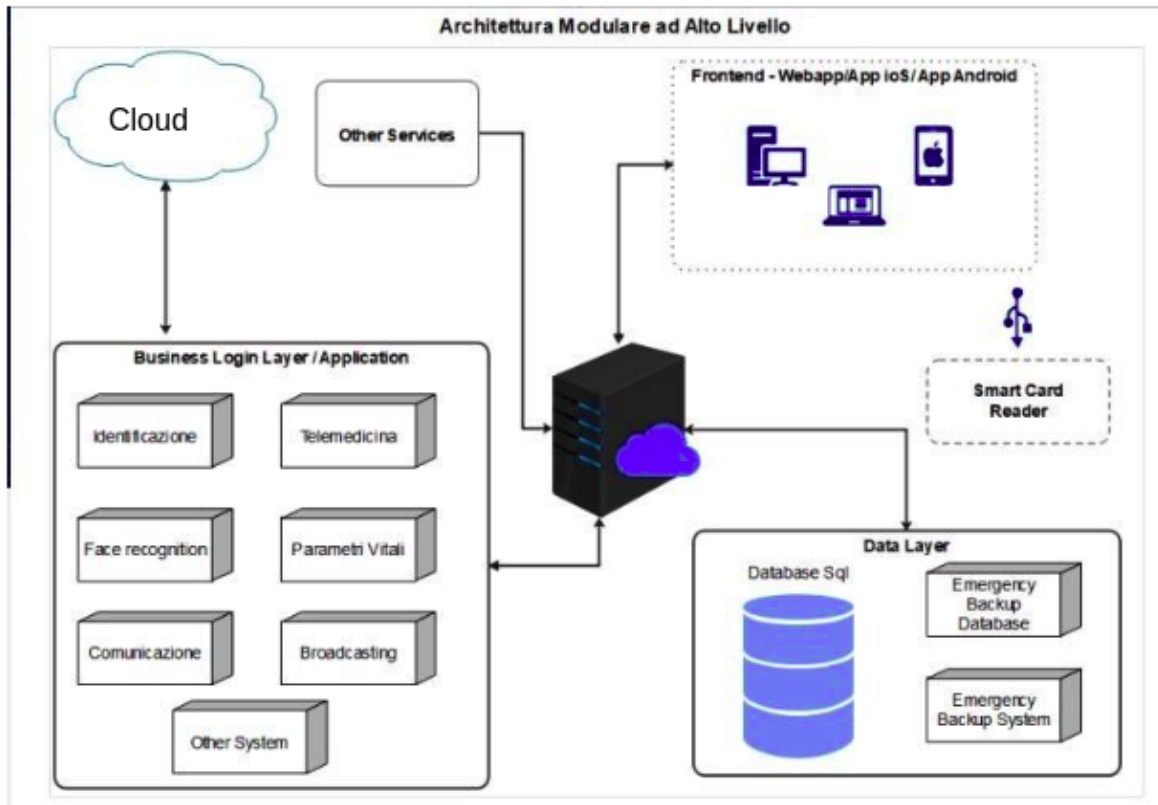


Figura 7. Schema progettuale: architettura modulare ad Alto Livello

L'intero applicativo si poggerà su un server cloud. La scelta di ricorrere ad un server di tipo cloud è stata presa e fondata su una serie di elementi e motivazione che è possibile riassumere in:

- Costi di manutenzione ridotti
- Tempi di avviamento ridotti
- Scalabilità elevata
- Sicurezza perimetrale collaudata
- Elevata flessibilità
- Presenza di Dashboard (offerta dal provider del servizio cloud) su cui effettuare analisi

Il Database, e tutta la sicurezza del dato che ne deriva, è contenuto in questa prima fase di test sulla stessa macchina cloud, ma non è una scelta definitiva per

il sistema che poi sarà in produzione. In produzione, infatti, si provvederà a predisporre una macchina dedicata con misure di sicurezza adeguate alla protezione necessaria dei dati sensibili che il sistema gestisce.

Nel dettaglio, attraverso la Figura 8, è possibile esaminare il modulo Triage, che consiste nell'obiettivo principe del prototipo, comprensivo di uno schema ad alto livello e dei moduli software che sono stati sviluppati:

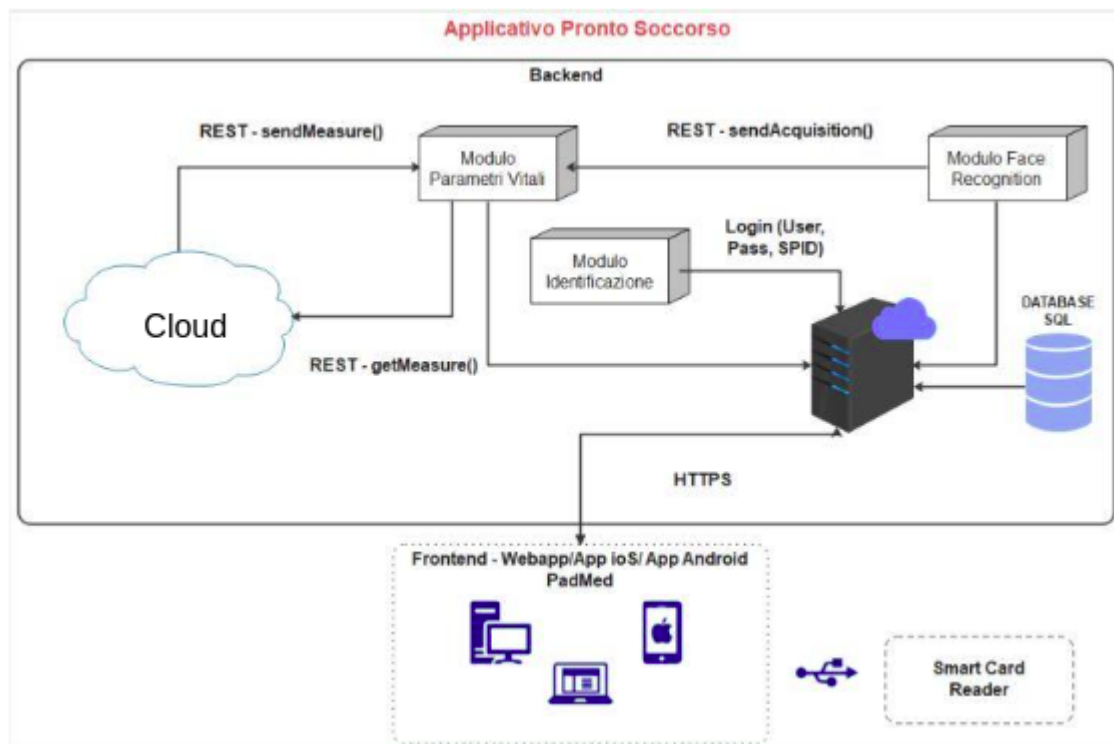


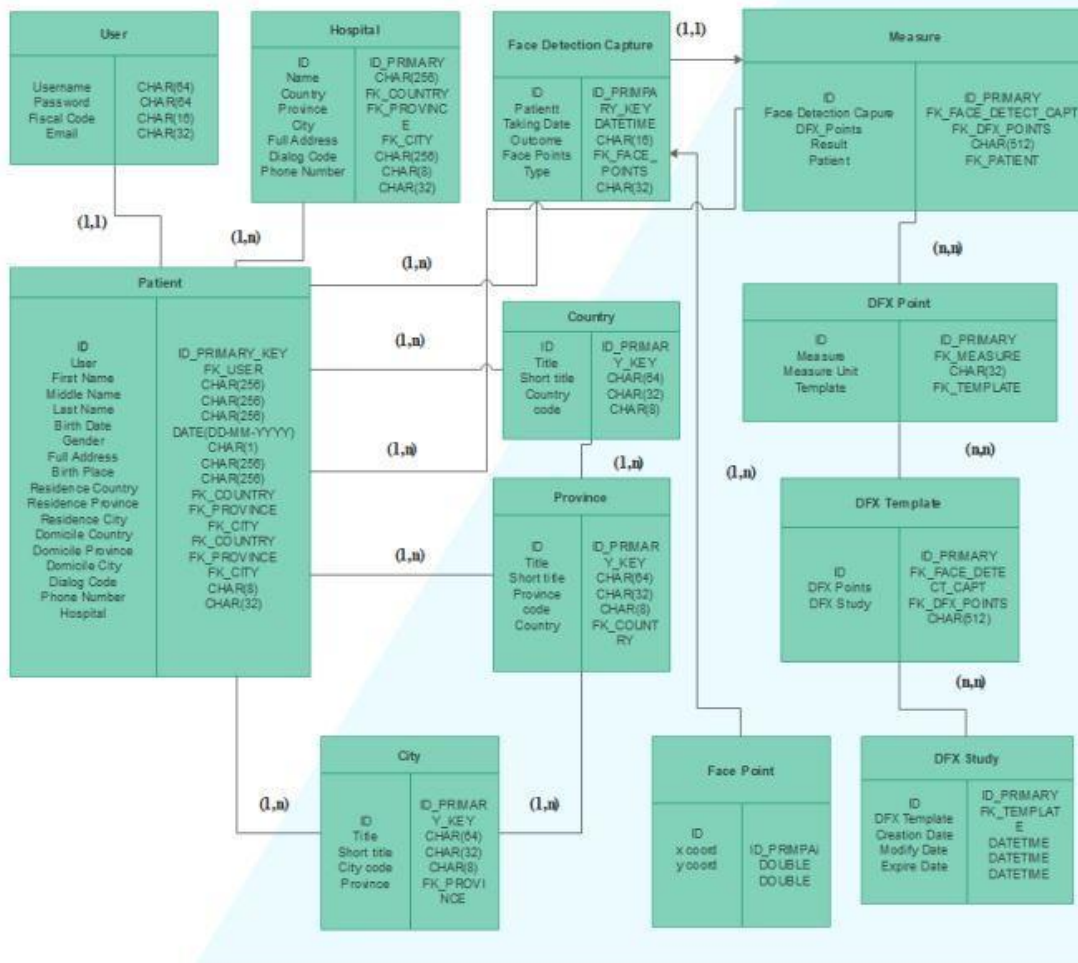
Figura 8. Applicativo Pronto Soccorso

L'Applicativo Pronto Soccorso è così strutturato:

- *Modulo parametri vitali* in cui vengono gestiti e registrati i parametri vitali che è possibile estrapolare dalle misurazioni effettuate;
- *Modulo face recognition (Dlib)* deputato al riconoscimento visivo durante una sessione di fotopletismografia remota. Inoltre, è il modulo software utilizzato per tracciare i punti facciali necessari al cloud per la misurazione;
- *Modulo di identificazione / autenticazione* che gestisce l'accesso al servizio. In questa fase di prototipazione si è trascurata la parte di

identificazione, sviluppando esclusivamente quella di autenticazione: username e password;

- *Frontend* che divide in due sezioni: la UI per il paziente e la dashboard per gli operatori
- *Database*: architettura di tipo relazionale



Nella figura 9 riportiamo lo schema relazionale del database (modulo triage):

Figura 9. Schema relazionale del database

## Implementazione

L'applicativo è stato sviluppato in versione web app in modo da essere servita come applicazione kiosk su dispositivi di tipo Totem.

I vantaggi di servire l'applicativo come web app che hanno portato a questa scelta sono molteplici e, tra questi, vi è la possibilità di rilasciare aggiornamenti e nuove versioni senza che sia l'utente a doverli scaricare.

Come già esposto precedentemente, l'applicativo è stato sviluppato utilizzando il framework Django e, attraverso questo framework, è stato possibile gestire: modelli database, moduli face recognition, moduli di autenticazione, lettura tessera sanitaria tramite lettore a banda magnetica o bar code scanner.

## User interface - Triage

In questa prima maschera, vengono presentate nel dettaglio al paziente le condizioni d'uso del dispositivo e l'informativa sulla privacy. E', infatti, presente un apposito pulsante info che consente all'utente di aprire ed accedere alla documentazione. L'utente, per continuare la sessione, deve esplicitamente apporre il proprio consenso.



Una volta cliccato sul comando "Acconsento", verrà chiesto al paziente di utilizzare la propria tessera sanitaria per accedere al servizio di triage.

La lettura della tessera sanitaria avviene sia tramite lettore a banda magnetica sia tramite bar code scanner. Alla scansione della tessera sanitaria, segue una controllo del codice fiscale, che tramite un'espressione regolare verifica che sia formalmente corretto.



Il codice fiscale ha una duplice importanza in questa fase: recuperare informazioni importanti, come il sesso e la data di nascita del soggetto, e verificare se il paziente abbia già effettuato l'accesso in passato. In questo caso, non verrà creato un nuovo paziente, ma il sistema recupererà l'utente già presente.

Nel caso di primo accesso del paziente al sistema, verranno richieste alcune



informazioni di tipo demografico. La seguente maschera riportata, quindi, apparirà solamente nel caso appena presentato.

La raccolta di tali informazioni è necessaria per la misurazione da parte di del

INSERIRE LE INFORMAZIONI RICHIESTE

ALTEZZA  
155

PESO  
90

SOFFRI DI IPERTENSIONE  SI  NO

HA IL DIABETE  SI  NO

SEI FUMATORE  SI  NO

pad.med

INTEGRATED BIOMEDICAL SYSTEM

cloud: per ottenere una misurazione accurata ed affidabile sono esplicitamente richieste queste informazioni relative all'identificazione dell'utente insieme al payload di facial blood points.

Nel dettaglio, al paziente vengono richiesti:

- l'altezza espressa in cm;
- il peso espresso in kg;
- se soffre di ipertensione;
- se ha il diabete;
- se è un fumatore.

Inoltre, è stato aggiunto un controllo tale per cui se il paziente non ha effettuato l'accesso negli ultimi 6 mesi, i parametri verranno nuovamente richiesti all'utente in modalità di modifica.

Arriviamo dunque in uno dei passaggi che saranno responsabili della determinazione del codice colore che verrà assegnato automaticamente al paziente al termine della sessione.

In questa maschera, viene chiesto al paziente di selezionare la motivazione per la quale sta effettuando una sessione di fotopletismografia remota tra le seguenti opzioni: valutazione generale, malessere, difficoltà a respirare, dolore addominale, infortunio sul lavoro, contusione, ferita, altro.

SELEZIONARE IL MOTIVO DEL CHECK UP

VALUTAZIONE GENERALE 1 5 INFORTUNIO SUL LAVORO

MALESSERE 2 6 CONTUSIONE

DIFFICOLTÀ A RESPIRARE 3 7 FERITA

In base alla gravità della motivazione espressa dall'utente, il sistema assegnerà in un primo momento un punteggio. Complessivamente il sistema, escludendo e non gestendo per ovvi motivi il codice colore rosso, riconosce solo tre livelli: bianco, verde e giallo.

Questo è solo il punto di partenza, in quanto il codice verrà successivamente determinato sulla base dei parametri vitali calcolati.

Ad esempio, nel caso di un paziente di età compresa tra i 18 e i 35 anni di media statura e costituzione (non fumatore, non diabetico e non cardiopatico) in cui si rilevata una frequenza cardiaca che si discosta molto dalla media, verrà assegnato un punteggio che farà tendere il codice verso un livello superiore. Tale procedura viene seguita e ripetuta per ogni parametro vitale rilevato.

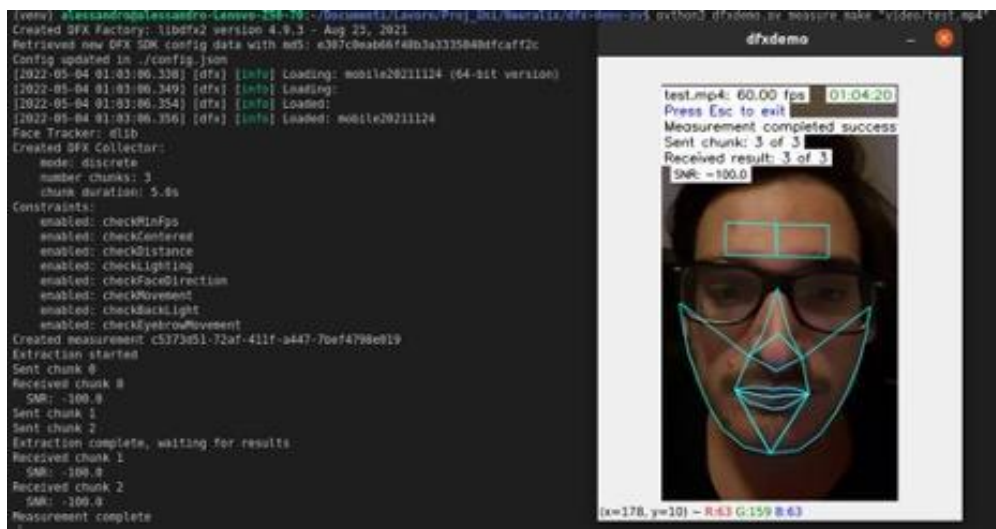
Nel progetto, si è fatto in modo che algoritmo sia calibrabile in modo che il medico che gestisce il dispositivo abbia la possibilità di modificare le logiche e i pesi per attribuzione del codice colore.

A questo procedimento, segue l'acquisizione video, che ha una dura complessiva di circa 35 secondi: 5 secondi per consentire all'utente di posizionarsi correttamente di fronte alla videocamera e i successivi 30 secondi per l'acquisizione vera e propria.



In questa fase, è necessario tenere presente i molteplici fattori che posso influenzare la misurazione ed i risultati che ne derivano. Tra i principali vi sono:

- La luminosità del volto: il viso non deve essere né eccessivamente né poco illuminato. La luminosità complessiva dell'ambiente deve essere adeguata, per evitare rumore di tipo Poisson nella condizione di scarsa luminosità.
- La saturazione dell'immagine: per non compromettere la qualità della misurazione, l'immagine deve avere una saturazione che fa tendere le colorazioni verso il rosso.
- L'utilizzo da parte dell'utente di occhiali
- La copertura del viso
- La presenza di make-up sul viso
- Il paziente deve ridurre al minimo i movimenti e cercare di rimanere rilassato



Diamo uno sguardo approfondito a quello che succede nel backend: una volta acquisito il video, viene elaborato tramite le librerie Python OpenCV e Dlib.

La libreria Python OpenCV è utilizzata per manipolare video segnali e produrre schermate come quella in figura; mentre la libreria Dlib per performare il face recognition ed estrarre i facial blood flow necessari a cloud per effettuare una misurazione completa.

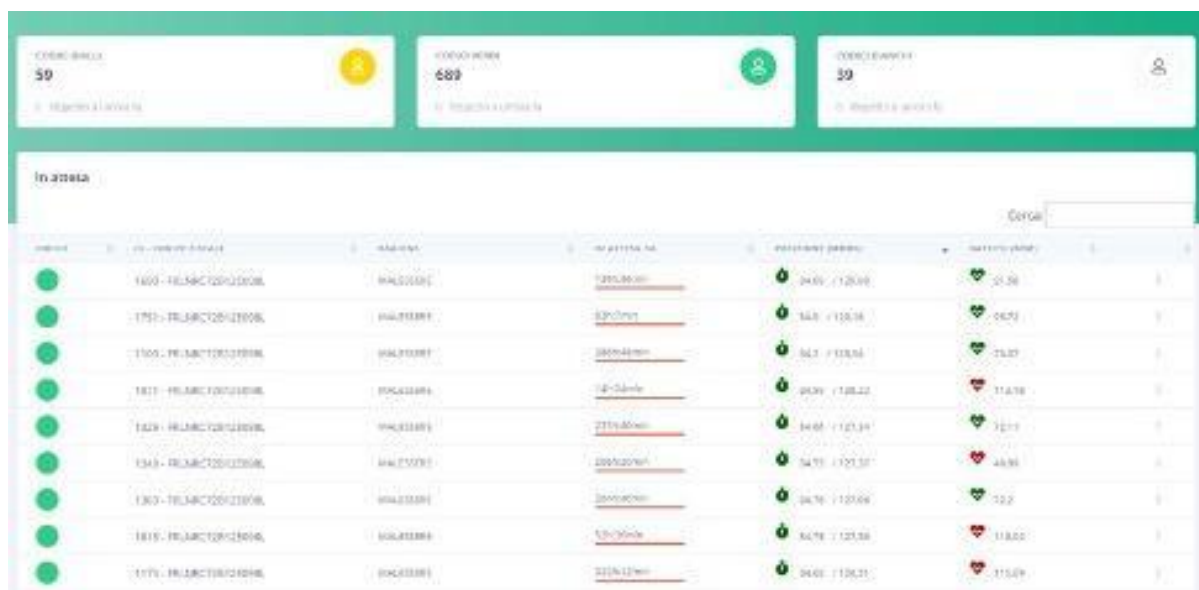
Per ragioni fisiologiche, il cloud necessita di un tempo minimo pari a 30 secondi di video ad 30 frame al secondo. Ogni video viene diviso in pezzi, definiti chunk, da 5 secondi in cui viene fatta l'estrazione e il calcolo dei punti facciali per ognuno.

Nel caso di misurazione con esito positivo, si ottiene il seguente risultato:

Misura 760			
Punteggio di benessere generale	83,67	Punteggio Vitale	4,25
Punteggio fisiologico	4,0	Punteggio mentale	4,0
Punteggio fisico	3,67	Punteggio Rischi globale	5,0
Indice di stress mentale NuraLogix	2,72	Indice di stress mentale NuraLogix	2,72
Variabilità del battito cardiaco (SDNN)	67,05 ms	Frequenza cardiaca 140 (bpm)	72,86 bpm
Frequenza cardiaca 140 (Hz)	1,21 Hz	Intervallo battito-battito	0,89
Rapporto segnale-rumore (SNR)	0,28 dB	Età (faciale)	46,0 yrs.
Sesso	1,0 M/F	Altezza (cm)	175,06 cm
Peso (kg)	78,32 kg	Circonferenza della vita	94,82 cm
Indice di forma del corpo	8,0	Rapporto vita-altezza	52,68 %
Pressione sanguigna sistolica	118,57 mmHg	Pressione sanguigna diastolica	84,63 mmHg
Pressione del polso	42,03 mmHg	Pressione arteriosa media	95,94 mmHg
Rischio di ictus	2,05 %	Rischio di infarto	1,13 %
Rischio di malattie cardiovascolari	3,59 %	Carico di lavoro cardiaco	3,9 dB
Capacità vascolare	2,03 seconds	Frequenza respiratoria (bpm)	15,05 bpm
Frequenza respiratoria (Hz)	0,25 Hz	Battiti cardiaci irregolari	0,0
Indice di massa corporea	26,23 kg/m <sup>2</sup>		

## Capitolo 3 – Test e risultati

L'applicativo è stato testato in condizioni controllate e su soggetti differenti. I



id	nome e cognome	data	data	pressione (mmHg)	frequenza (b/min)
1699	TELARIC T20121006	09/03/2017	12:00:00	94/65 / 120/90	61/58
1751	TELARIC T20121006	09/03/2017	13:00:00	94/65 / 110/68	66/70
1705	TELARIC T20121006	09/03/2017	14:00:00	94/71 / 110/68	73/67
1817	TELARIC T20121006	09/03/2017	14:30:00	90/59 / 120/82	114/78
1829	TELARIC T20121006	09/03/2017	17:00:00	94/65 / 121/84	70/71
1343	TELARIC T20121006	09/03/2017	10:00:00	94/75 / 121/87	68/66
1307	TELARIC T20121006	09/03/2017	10:00:00	94/76 / 120/84	72/72
1815	TELARIC T20121006	09/03/2017	15:00:00	94/78 / 123/88	118/80
1176	TELARIC T20121006	09/03/2017	11:00:00	94/60 / 120/81	115/69

risultati di ogni misurazione e di ogni accesso sono disponibili nella Dashboard del software sviluppato:

La fase di test è stata svolta in una clinica dentistica partner dell'azienda. Il primo giorno è stata effettuata l'installazione della macchina e il collaudo della stessa. Si è poi chiesto a dei soggetti di partecipare in modo volontario e assolutamente sicuro alla sperimentazione del dispositivo. A sostegno della strumentazione non proprio semplice da usare in primissima istanza, è stato presente un tecnico Padmed che supportasse ogni soggetto durante l'intera sessione.

Durante i test, si è voluto registrare:

- il feedback dei soggetti in merito alla semplicità di utilizzo dello strumento;
- il feedback dei soggetti in merito alle misurazioni ricevute
- il numero di sessioni andate a buon fine;
- apprezzare la variabilità intrasoggettiva dei soggetti;
- differenza tra la frequenza cardiaca e pressione ottenute dalla sessione di fotopletismografia e quella con lo sfigmomanometro;

Di seguito riportiamo i risultati della prima settimana di test:

*Configurazione:*

- Telecamera 720p
- 30 fps
- Formato video webm
- Risoluzione: 480x600
- Zoom: 1x
- Connessione Wifi stabile up 25mb

*Valutati un totale di 93 sessioni:*

- Sessioni andate a buon fine: 57
- Sessioni fallite: 36

*Feedback da parte dei soggetti ai valori ricevuti:*

- 84% affidabile
- 9% circa +/- 5mmHg di differenza su pressione sistolica e/o diastolica
- 7% poco affidabile +/- 15/20 mmHg di differenza su pressione sistolica e/o diastolica

La scala utilizzata è: affidabile, circa, poco affidabile.

I risultati della seconda settimana di test:

*Configurazione:*

- Telecamera 720p
- 30 fps
- Formato video webm
- Risoluzione: 480x600
- Zoom: 1x
- Connessione Wifi stabile up 25mb

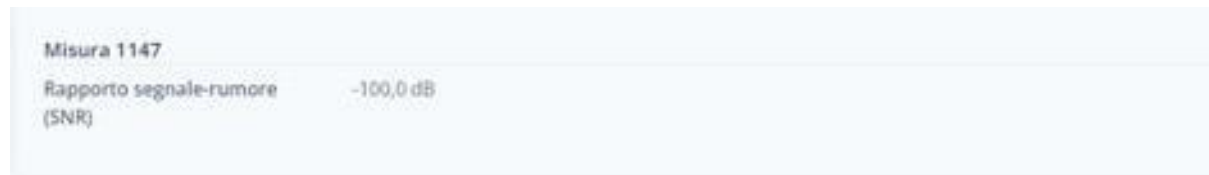
*Valutati un totale di 50 sessioni:*

- Sessioni andate a buon fine: 26
- Sessioni fallite: 24

*Feedback da parte dei soggetti ai valori ricevuti:*

- 92% affidabile
- 4% circa +/- 5mmHg di differenza su pressione sistolica e/o diastolica
- 4% poco affidabile +/- 15/20 mmHg di differenza su pressione sistolica e/o diastolica

La scala utilizzata è: affidabile, circa, poco affidabile.



Misura 1147	
Rapporto segnale-rumore (SNR)	-100,0 dB

Nel caso in cui la sessione fallisce, la schermata nella dashboard è la seguente:

I test preliminari sono tutt'ora in corso, sotto diversi tipi di condizioni luminose e di videocamere.

Altri tipi di test condotti:

- Sensibilità al battito cardiaco: per verificare che il sistema rilevasse correttamente il battito cardiaco, si sono eseguite su un soggetto prima a riposo e successivamente dopo uno sforzo fisico di media intensità. Questo test è stato ripetuto diverse volte andando sempre a misurare correttamente la frequenza cardiaca.

Alla fine della seconda settimana di test il problema principalmente riscontrato è stato quello che per alcuni soggetti non è stato possibile ottenere i risultati della sessione di fotopletismografia. Questo è dovuto a diversi fattori: pelle troppo chiara, presenza di makeup, luminosità troppo elevata. Riguardo questa criticità si stanno già testando delle soluzioni.

Il punto più importante che si è voluta testare in questa fase è stata l'effettiva differenza tra i valori del battito cardiaco e della pressione ottenuti dalla sessione di fotopletismografia e dallo sfigmomanometro. Oltre il 95% delle sessioni ha registrato una differenza di 2 battiti / min per l'HB e +/- 5 mmHg per la pressione sistolica e diastolica.



## Capitolo 4 - Conclusioni

Alla luce di questi risultati, i test fanno ben sperare che la direzione del progetto sia quella corretta. Sebbene il numero di sessioni fallite sia ancora notevole e non accettabile, i feedback ottenuti dalle sessioni riuscite sono comunque positivi. Le motivazioni che hanno portato la sessione a fallire sono state: eccessivo movimento o makeup durante la sessione e/o eccessiva luminosità della stanza.

È da specificare inoltre che i valori riguardanti il battito cardiaco e la pressione, sono stati monitorati precedentemente e successivamente alla sessione tramite l'utilizzo di uno sfigmomanometro.

In conclusione, abbiamo visto come tecnologie come queste siano altamente promettenti e possano diventare fondamentali nel contesto dei dispositivi medici e della telemedicina.

Le criticità ad oggi emerse sono:

- la misurazione è sensibile a diversi fattori che possono portare al fallimento: presenza di barba folta, presenza di makeup, condizioni luminose
- semplicità di utilizzo: quasi tutti i pazienti hanno avuto necessità di assistenza durante la misurazione

Possibili soluzioni:

- Ai fini di una misurazione affidabile e ripetibile, bisognerebbe irrobustire gli algoritmi di calcolo dei parametri e ripetere i test
- ottimizzare la UI e la UX e fornire quindi una maggiore semplicità di utilizzo

In questo lavoro abbiamo visto solamente uno dei moduli che dovrebbero far parte del progetto Padmed, ovvero il modulo triage. Nella sua totalità, il progetto includerà moduli riguardanti la telemedicina e altri futuri sviluppi.

Sicuramente c'è un ampio margine di miglioramento, ma allo stato dell'arte la tecnologia si presenta come moderatamente affidabile.

## Bibliografia e Sitografia

- [1] Lady Davis Institute, 2020, *La fotopleletismografia remota può essere utilizzata per l'acquisizione dei segni vitali senza contatto in un ambiente sanitario? Uno studio comparativo prospettico*
- [2] <https://www.noldus.com/blog/what-is-rppg>
- [3] NeuroData Lab. (2019, March). Every beat counts. *Comparing Remote Webcam Heart Rate Detector to Wearables*. <https://medium.com/@neurodatalab/every-beat-counts-comparing-remote-heart-rate-webcam-detector-to-wearables-d8d59aab863c>
- [4] Wang, W.; den Brinker, A. C.; Stuijk, S. & de Haan, G. (2016). *Algorithmic principles of remote PPG*. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 64 (7), 1479-1491.
- [5] Gudi, A.; Bittner, M.; Lochmans, R. & Van Gemert, J. (2019) *Efficient Real-Time Camera Based Estimation of Heart Rate and Its Variability*. *International Conference on Computer Vision (ICCV) Workshop*.

## Indice Figure

Figura 1. Rilevamento ottico della frequenza cardiaca. A sinistra: una pressione più bassa che precede l'onda del polso significa arterie più strette e meno assorbimento (maggiore riflettività) della sorgente di luce verde. A destra: un impulso di pressione sanguigna più alto causa arterie più larghe e un maggiore assorbimento della luce (minore riflettività)[3]	5
Figure 2. The skin reflection model that contains specular and diffuse reflections, where only the diffuse reflection contains pulsatile information [4]	5
Figura 3. Una panoramica della pipeline proposta per la stima della frequenza cardiaca e della variabilità della frequenza cardiaca (da sinistra a destra). Il volto nelle immagini webcam catturate viene rilevato e modellato per tracciare i pixel della pelle nella regione di interesse. Il valore medio dei segnali RGB viene estratto nel tempo. In parallelo, i movimenti della testa sono tracciati e usati per sopprimere il rumore del movimento. Il processo di filtraggio dei segnali a banda larga e stretta produce una forma d'onda pulita degli impulsi da cui vengono rilevati i picchi. Gli intervalli tra i battiti ottenuti da questi picchi sono poi utilizzati per calcolare la frequenza cardiaca e la variabilità della frequenza cardiaca. L'analisi completa può essere eseguita in tempo reale su un computer [5]	6
Figura 4. Architettura generale di un'applicazione basata sul cloud del fornitore	7
Figura 5. Rappresentazione dei punti facciali di interesse per l'estrazione dei valori del flusso sanguigno	8
Figura 6. Schema progettuale: sequence diagram	12
Figura 7. Schema progettuale: architettura modulare ad Alto Livello	13
Figura 8. Applicativo Pronto Soccorso	14
Figura 9. Schema relazionale del database	15