

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MODENA E REGGIO EMILIA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA “ENZO FERRARI”

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Informatica

**ANALISI, PROGETTAZIONE E INTEGRAZIONE DI
UN TELEDERMATOSCOPIO DIGITALE**

Relatore:

Chiar.mo Prof. Ing. Franco Zambonelli

Laureando:

Simone Ferrari

Anno Accademico 2019-2020

*A tutte le persone che amo e che mi amano,
sperando che siano fieri di me tanto quanto io di loro.
Un traguardo per me,
un premio per voi.*

Abstract

Il termine IoT (Internet of Things) rappresenta un conglomerato di aspetti relativi all'espansione dell'Internet e del Web nel dominio reale. Questo mondo di sensori, attuatori e diversi dispositivi elettronici opportunamente collegati tra loro permette una connessione digitale condivisa. L'IoT, o più precisamente IoMT (IoT per i dispositivi medici), permette l'interazione virtuale tra diversi dispositivi, anche molto distanti tra loro, offrendo così molteplici applicazioni utili ad agevolare la vita delle persone e, come nel caso specifico dell'elaborato, la salute.

L'obiettivo di questo elaborato, dopo una breve introduzione al concetto di IoMT, sarà proprio l'analisi di un caso studio, rivolto all'integrazione di un teledermatoscopio digitale con un sistema embedded in ambito mobile. Lo scopo principale sarà dunque quello di spiegare nel dettaglio l'analisi, la progettazione e l'esecuzione dell'integrazione di un teledermatoscopio digitale con un sistema embedded installato su un device mobile ed il suo utilizzo. L'integrazione del dispositivo sanitario permette di verificare con un esempio pratico l'impatto della digitalizzazione dei processi sanitari con le nuove tecnologie emergenti. Anche la scelta di utilizzare un device mobile come software hub non è casuale, ma bensì ponderata sul fatto che questi dispositivi siano sempre più immersi nel quotidiano dei cittadini con lo scopo di contribuire positivamente alla vita delle persone.

Indice

CAPITOLO 1: Introduzione	7
1.1 Telemedicina	7
1.2 Scopo della tesi	10
1.3 Struttura della tesi	10
CAPITOLO 2: IoT e IoMT	12
2.1 IoT	12
2.1.a Tecnologie utilizzate nel mondo IoT	14
2.1.b Applicazioni, sfide e problematiche	23
2.1.c Impatto sull'economia e dati di crescita del fenomeno IoT	29
2.2 IoMT	30
2.2.a Architettura IoMT	31
2.2.b Principi generali	35
2.2.c Soluzioni pratiche	38
CAPITOLO 3: Analisi e progettazione del caso studio	42
3.1 Architettura generale	44
3.2 Fasi principali del caso studio	50
3.2.a Collegamento device mobile e teledermatoscopio	50
3.2.b Streaming video e cattura immagine	52
3.2.c Trasmissione dati al database aziendale	53
3.2.d Corretta visualizzazione delle misure effettuate	54
CAPITOLO 4: Implementazione del caso studio	55
4.1 Integrazione iniziale del teledermatoscopio	57
4.1.a Introduzione agli elementi del linguaggio Kotlin	58
4.1.b Approccio iniziale	60
4.1.c Pipeline dei processi	61

4.1.d Visualizzazione singola misura	63
4.2 Collegamento device mobile e teledermatoscopio	65
4.3 Streaming video e cattura del fotogramma	69
4.3.a Approccio iniziale e sviluppo	71
4.3.b Streaming video e libreria MJPEGView	72
4.3.c Cattura del fotogramma	75
4.3.d Galleria immagini	77
4.4 Trasmissione dati al database online	80
4.4.a Composizione formato misura	81
4.4.b Invio delle misure	82
4.4.c Misure non inviate	85
4.5 GUI dell'applicazione mobile	86
4.5.a Passaggi principali	87
4.5.b Web application Ticuro	93
CAPITOLO 5: Conclusioni	94
5.1 Considerazioni finali	94
5.2 Valutazione dell'attività di tesi	96
5.3 Estensioni e sviluppi futuri	97
Bibliografia e sitografia	100

Elenco delle figure

2.1	Applicazioni a silos	15
2.2	Applicazioni orizzontali	16
2.3	Domini applicativi IoT	24
2.4	Architettura generale IoT	32
3.1	Architettura servizio Ticuro	45
3.2	Immagine 3D sommità del teledermatoscopio digitale	46
3.3	Immagine teledermatoscopio digitale	47
3.4	Collegamento alla rete Wi-Fi	51
4.1	Struttura generale dell'integrazione	62
4.2	Richiesta ed invio delle misure	64
4.3	Pipeline processi per la connessione wireless	67
4.4	Schermate di streaming video e galleria immagini	70
4.5	Processi dello streaming video	73
4.6	Codice funzione startStreaming()	74
4.7	Codice funzione takePhoto()	76
4.8	Codice funzione deleteImage() e addMiniImages()	78
4.9	Codice funzione showMiniImages()	79

4.10	Formato misura inviata al database	81
4.11	Processi per invio delle misure e collegamento al database	83
4.12	Codice funzione sendMeasure()	84
4.13	Schermata pagina paziente e pagina dispositivo	88
4.14	Schermate pagine per la connessione al Wi-Fi	89
4.15	Schermate pagine per l'inizio dello streaming video	90
4.16	Schermate pagine per lo streaming video e galleria immagini	91
4.17	Schermate pagine invio misure al database	92

Elenco delle tabelle

2.1	Tecniche di accesso alle reti IoT	21
2.2	Benefici dell'IoMT	37
4.1	Soluzioni iniziali per il processo di streaming video	71

CAPITOLO 1

Introduzione

Nonostante non esista una definizione univoca di IoT, si è concordi nel ritenere che il concetto di base si riferisca alla possibilità di comunicazione tra oggetti quotidiani dotati di sensori e capacità di networking e processing attraverso Internet, al fine di fornire servizi utili.

Il mondo IoT sta prendendo sempre più piede nella comunità per la sua capacità di digitalizzare il mondo reale e la vita delle persone. Secondo uno studio di Gardner (2020) [GR17] il costo dei componenti diminuirà e la connettività sarà uno standard per tutti i dispositivi prodotti. Ci saranno dunque circa 26 miliardi di unità, in confronto ai circa 7 miliardi di personal computer, smartphone e tablet. Questi numeri e queste predizioni ci fanno capire quanto sia cruciale investire nell'innovazione di nuovi servizi basati su queste tecnologie.

L'aumento esponenziale dei dispositivi nel mondo IoT ha portato alla nascita di sue numerose branche, con rispettive nomenclature. Quest'ultime si ritengono necessarie per indicare il caso d'uso ma in questo studio si prenderà in esame solo quella relativa all'ambito medico. Nasce così la sigla di IoMT (Internet of Medical Things). Questo sottospazio dell'IoT consente il continuo sviluppo di molteplici servizi utili per la salute dei pazienti, ma anche per il personale sanitario, che necessita di strumenti semplici ed affidabili. Il mondo IoMT è un nuovo territorio nel quale possono nascere importanti benefici in termini di smart future network e sistemi sanitari intelligenti. Nonostante gli innegabili riscontri positivi, rimane comunque un controverso dibattito nella comunità scientifica sull'utilizzo dei dati sanitari e sulla tutela della privacy.

Di fatto, si vengono sempre a creare nuovi servizi utili allo sviluppo della comunità medico-scientifica, capaci di fondere insieme tecnologia e uomo. Uno di questi servizi è quello della *telemedicina*.

1.1 Telemedicina

La telemedicina deriva dal processo di sviluppo della tecnologia per migliorare la medicina e permettere una guarigione, diagnosi e prevenzione più efficace per il paziente. Questa categoria di servizi per la salute si è sviluppato grazie alla tecnologia e all'innovazione degli strumenti sanitari. In questa maniera, il paziente e il medico non devono essere fisicamente presenti nello stesso luogo, ma possono risultare distanti tra loro e permettere la prestazione in totale autonomia o in presenza di personale specializzato. Grazie ad Internet e i servizi offerti da numerose aziende pubbliche e/o private queste nuove tecnologie emergenti sono sempre più importanti e sicure per la salute dei pazienti.

Il mondo IoT è fondamentale nello sviluppo dei suddetti servizi per permettere una risposta efficiente a tutti coloro che ne abbiano la necessità. Inoltre, il collegamento ad Internet dei vari dispositivi IoT fornisce una velocità di ricezione dei dati ed un eventuale intervento più rapido rispetto ai canali abituali.

I primi esperimenti di telemedicina sono stati condotti per permettere un'adeguata assistenza nelle aree geografiche più remote o in situazioni disagiate (perforazioni petrolifere su piattaforma off-shore, spedizioni artiche o spaziali, aree interne e quindi meno raggiunte dai servizi essenziali), garantendo il diritto alla salute del cittadino in qualsiasi modalità possibile. In seguito, con la diffusione di tecniche di compressione dati più efficaci e di reti sempre più veloci, si è arrivati ad inviare via rete fissa anche dati voluminosi.

In Italia, una delle prime applicazioni di telemedicina è consistita nella trasmissione sperimentale di elettrocardiogrammi a distanza, iniziata nel 1976, utilizzando le normali linee telefoniche. Da allora, gli enti di ricerca, le università, le società scientifiche, il Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) ed il Ministero della Sanità, lavorando a diversi progetti, hanno portato all'attivazione di un master in telemedicina in alcune università, all'organizzazione di importanti convegni sul tema ed alla crescita esponenziale dei servizi disponibili. Tuttavia, le visite da remoto risultano limitate alle mere caratteristiche di una videochiamata se non vengono utilizzati strumenti aggiuntivi. Questi possono essere comprati personalmente dal paziente, in dotazione dall'ente curante o presenti in luoghi di ricezione delle cure sanitarie, in zone limitrofe all'abitazione del paziente. Per esempio, un paziente che non ha disponibilità a recarsi in una zona ospedaliera potrebbe effettuare la visita a distanza

comodamente da casa o in una farmacia/parafarmacia nelle vicinanze. Questa possibilità di allargare il concetto di prestazione medica al dominio digitale permette quindi di velocizzare le visite e risparmiare risorse utili per altri scopi.

Fanno parte della telemedicina anche tutte quelle soluzioni per smartphone, ovvero applicazioni di tipo clinico-medico, che permettono all'utilizzatore di gestire la propria salute attraverso il proprio cellulare. Tuttavia, esistono anche degli applicativi che consentono la sorveglianza delle malattie e offrono supporto per gestirne il trattamento, questo avviene soprattutto per la gestione delle malattie croniche. Questa branca della telemedicina prende il nome di m-health (mobile health).

Attualmente lo sviluppo di applicazioni mediche si è concentrato principalmente sulla gestione dell'ipertensione arteriosa e sulla gestione delle condizioni diabetiche. Altre applicazioni sono rivolte soprattutto allo stile di vita, senza focalizzarsi su una patologia precisa. La maggior parte di queste applicazioni sono rivolte al conteggio delle calorie assunte durante la giornata, o funzionano da contapassi o da personal trainer per l'esecuzione di esercizio fisico. Negli Stati Uniti vi sono delle applicazioni rivolte agli utilizzatori di sostanze stupefacenti che decidono di disintossicarsi con la funzione di coaching e reminder di visite di controllo. L'm-Health sta diventando una scelta popolare nelle zone scarsamente servite in cui vi è una vasta popolazione e un diffuso utilizzo del telefono cellulare (per esempio in Asia).

Riguardando al periodo attuale, la pandemia da Covid-19 ha mostrato come sia necessaria un'innovazione nel campo socio-sanitario e come si sia reso necessario questo tipo di servizio per garantire la sicurezza del personale sanitario e dei pazienti. La distanza, utilizzata come metodologia di difesa dal virus, si è trasformata in una limitazione nelle normali operazioni sanitarie, pertanto la soluzione più sicura è stata quella di accelerare lo sviluppo della telemedicina e del mondo IoMT.

1.2 Scopo della tesi

La pandemia da Covid-19 ha accentuato le problematiche già persistenti del sistema sanitario nazionale, ma anche internazionale, costringendoci a confrontarci con la realtà di una sanità ancora non al passo con la ricerca tecnologica. Dovoroso quindi, iniziare a discutere e illustrare alcuni benefici pratici per la realizzazione di alcuni servizi utili.

Lo scopo della tesi è quindi quello di introdurre al mondo IoMT e di spiegare nel dettaglio un caso studio di una delle molte possibili applicazioni pratiche realizzabili in telemedicina. In questo caso specifico, si andrà a spiegare come è stata progettata e realizzata l'integrazione di un teledermatoscopio digitale wireless con un sistema embedded già installato in un dispositivo Android. La possibilità di applicazione del caso studio è stata offerta da un'azienda operante per il sistema sanitario della Regione Lombardia e che ha gentilmente permesso di integrare il dispositivo fisico con la già esistente applicazione Android mobile.

La tesi è stata sviluppata con un approccio inizialmente teorico, necessario per andare a comprendere al meglio le tecnologie e metodologie da utilizzare. Successivamente, la procedura di elaborazione dell'integrazione ha risentito di un approccio più pratico, che ha quindi permesso di implementare quanto descritto sinora.

1.3 Struttura della tesi

La struttura dell'elaborato prevede una prima parte di spiegazione dei concetti di IoT e IoMT (*Capitolo 2*). Questo capitolo è utile per comprendere le motivazioni dell'utilizzo di questi dispositivi in campo sanitario.

I capitoli successivi saranno incentrati sull'integrazione del teledermatoscopio digitale con l'applicazione mobile dell'azienda. Si andrà a discutere della fase di studio e progettazione del caso studio (*Capitolo 3*), analizzando la progettazione e le ragioni delle scelte implementative del progetto. L'applicazione mobile presenta già alcuni dispositivi collegati perfettamente tramite Bluetooth, mentre il teledermatoscopio userà un collegamento wireless.

Successivamente, verrà spiegata l'implementazione del progetto (*Capitolo 4*), per indicare come è stato realizzato ogni singolo passaggio. In questa fase dell'elaborato, verranno proposti schemi ed esempi di codice in linguaggio Kotlin. Dopodichè verrà mostrata la GUI (Graphic User Interface) della pipeline dell'applicazione mobile (*Capitolo 4*), perfettamente integrata con quella già esistente. Infine, nell'ultimo capitolo (*Capitolo 5*) verranno evidenziati i punti di forza e problematiche del caso studio.

CAPITOLO 2

IoT e IoMT

I primi giorni di Internet sono stati caratterizzati dal World Wide Web, una rete di pagine HTML statiche collegate tra loro. Questa rete di pagine si è poi trasformata nel Web 2.0, dove la comunicazione two-way divenne uno standard, permettendo così l’interazione tra le persone e la comunicazione tra loro. Da qui lo sviluppo di social network, blog, forum e wikis. La vera rivoluzione però arrivò con il Web semantico (o Web 3.0), che rese il Web comprensibile anche lato macchina, rendendo i dispositivi sempre più intelligenti.

Tale rivoluzione riuscì a far ‘evolvere’ le macchine, consentendo l’elaborazione di dati (opportunamente standardizzati) automatica, senza la necessità di alcuna manipolazione dell’uomo. L’intelligenza crescente delle macchine e la possibilità di comunicare tra loro per scambiare informazioni hanno spinto i ricercatori verso la comprensione dei benefici ottenibili da una vasta rete di dispositivi intelligenti ed autonomi collegati tra loro. Questa visione ci ha condotti ad un paradigma comunemente riconosciuto, che prende il nome di *Internet of Things* (IoT).

2.1 IoT

L’IoT rappresenta l’evoluzione di metodologie già esistenti in termini di numeri, tipo di dispositivi e connessioni degli stessi in Internet. Di fatto, molti dispositivi hanno capacità di collegamento, processing e storage per permettere una connessione ad Internet.

Tuttavia, si deve ricordare come dispositivi come smartphone, personal computer, supercomputer, servers e tablet (solo per citarne alcuni) sono stati progettati già per questo scopo. Nel mondo IoT, si cerca anche di connettere tra loro molteplici strumenti la cui

funzione principale non è quella di collegamento ad Internet, come sensori, ricevitori audio/video, segnalatori antifumo, dispositivi wearable, device sanitari, ecc.

Un'altra peculiare evoluzione nel mondo IoT è quella di ripensare alcuni dispositivi già in commercio, per permettere una comunicazione attraverso Internet o altre tipologie di collegamento (WiFi, Bluetooth, NFC, ecc.). Per esempio, negli anni passati gli RFID sono stati impiegati per il tracciamento dei pacchi all'interno del magazzino. Una volta lasciato l'impianto di stoccaggio, il pacco da consegnare sarebbe stato impossibile da rintracciare, lasciando un vuoto informativo nel ciclo di transito e nessuna trasparenza per cliente. Per ovviare a tale problema, si è applicato un numero identificativo univoco all'RFID e si è resa questa informazione accessibile pubblicamente su Internet, garantendo così la completa tracciabilità del prodotto, sia da lato utente che da lato produttore.

Più generalmente l'IoT si prefigge il compito di generare una rete globale che possa supportare l'*ubiquitous computing*¹ e la conoscenza tra i dispositivi collegati. Questi due aspetti sono concetti chiave per poter considerare un oggetto intelligente, regola fondante dell'IoT.

Precisiamo tuttavia, che il concetto di *thing* non dev'essere propriamente un oggetto fisico, ma può anche essere un oggetto virtuale (come il Cloud computing²) [B14].

Un oggetto, per essere considerato integrante di una rete di *things*, deve avere le seguenti caratteristiche:

- facilmente leggibile;
- riconoscibile;
- indirizzabile e/o localizzabile;

¹ Lo ***ubiquitous computing*** o ***ubicomp*** è un modello post-desktop di interazione uomo-macchina, in cui l'elaborazione delle informazioni è stata interamente integrata all'interno di oggetti e attività di tutti i giorni.

² Il ***cloud computing*** indica un paradigma di erogazione di servizi offerti *on demand* da un fornitore a un cliente finale attraverso la rete internet (come l'archiviazione, l'elaborazione o la trasmissione dati), a partire da un insieme di risorse preesistenti, configurabili e disponibili in remoto sotto forma di architettura distribuita.

- controllabile via Internet od altre forme di collegamento.

In aggiunta, la maggior parte dei dispositivi disponibili è avanzata a tal punto da permettere più di una funzione e non solamente il suo compito originario. L'impatto che ha questa multi-funzionalità nella vita dell'utente è notevole, sia in ambito domestico che lavorativo. In questo senso, la domotica, e-health³, assistenza fisica, fitness e learning automatico sono solamente alcuni dei maggiori campi nel quale i benefici dell'IoT possano essere spesi. Similmente, le conseguenze nel business aziendale sono notevoli, come nei campi dell'automazione, manufacturing, logistica e trasporti di persone o beni.

2.1.a Tecnologie utilizzate nel mondo IoT

Per spiegare più a fondo il mondo IoT, verranno analizzate dettagliatamente le tecnologie utilizzate per permettere la comunicazione tra i diversi dispositivi di una rete. Questa analisi prende in considerazione l'evoluzione nel tempo delle infrastrutture tecnologiche e dei servizi annessi.

L'approccio più utilizzato in passato era quello verticale, che prende il nome di ‘silos’ (come mostrato nella *Fig.2.1*). Questa tipologia architettonale si colloca in un periodo storico in cui le risorse informatiche, intese come memoria e capacità di calcolo, erano infinitamente più costose e limitate. Ciò ha comportato una decontestualizzazione del dato, rendendolo più esclusivo e di dominio ristretto solamente al suo singolo utilizzo.

Secondo questo concetto strutturale, ogni applicazione viene costruita da un unico proprietario dell'infrastruttura ICT e su specifici dispositivi al fine di fornire solamente uno specifico servizio o insieme di servizi. Una struttura simile non condivide nessuna caratteristica per gestire la rete e servizi condivisi, visti come una forma di ridondanza e costo non necessario. Di fatto con questa architettura la condivisione dei dati e dei task tra dispositivi non sarebbe possibile.

³ L'**e-health** (scritto anche *eHealth*) è un termine recente utilizzato per indicare la pratica della salute attraverso il supporto di strumenti informatici, personale specializzato e tecniche di comunicazione medico-paziente. L'**e-health** è quindi il complesso delle risorse, soluzioni e tecnologie informatiche di rete applicate alla salute ed alla sanità.

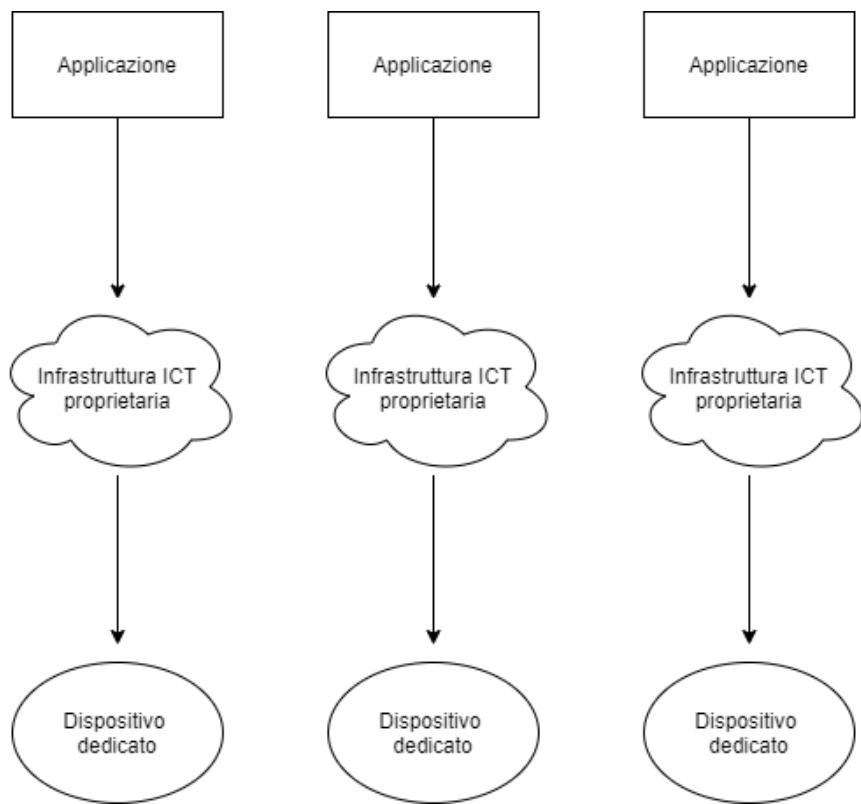


Figura 2.1. Rappresentazione classica delle applicazioni verticali o ‘silos’.

Con l’avvento dell’IoT la prospettiva cambia, anche grazie al progresso tecnologico che ha reso, non solo possibili ma anche economici, la memorizzazione e il processamento di grandi quantità di dati. Oggi è possibile memorizzare tutto il dettaglio necessario per una descrizione esaustiva del dato, con valore permanente e che va al di là della singola applicazione. In aggiunta, nell’IoT il concetto di database diventa molto più elastico.

Di fatto l’approccio verticale è stato soppiantato da una struttura più flessibile e orizzontale, capace di affrontare tutte le sfide che la condivisione di informazioni possa portare e capace anche di trarne tutti i benefici collegati.

In questa nuova architettura il dato diventa interoperabile e privo di scopo aprioristico e la sua manipolazione, così come il trasferimento e condivisione, risulta estremamente agevole.

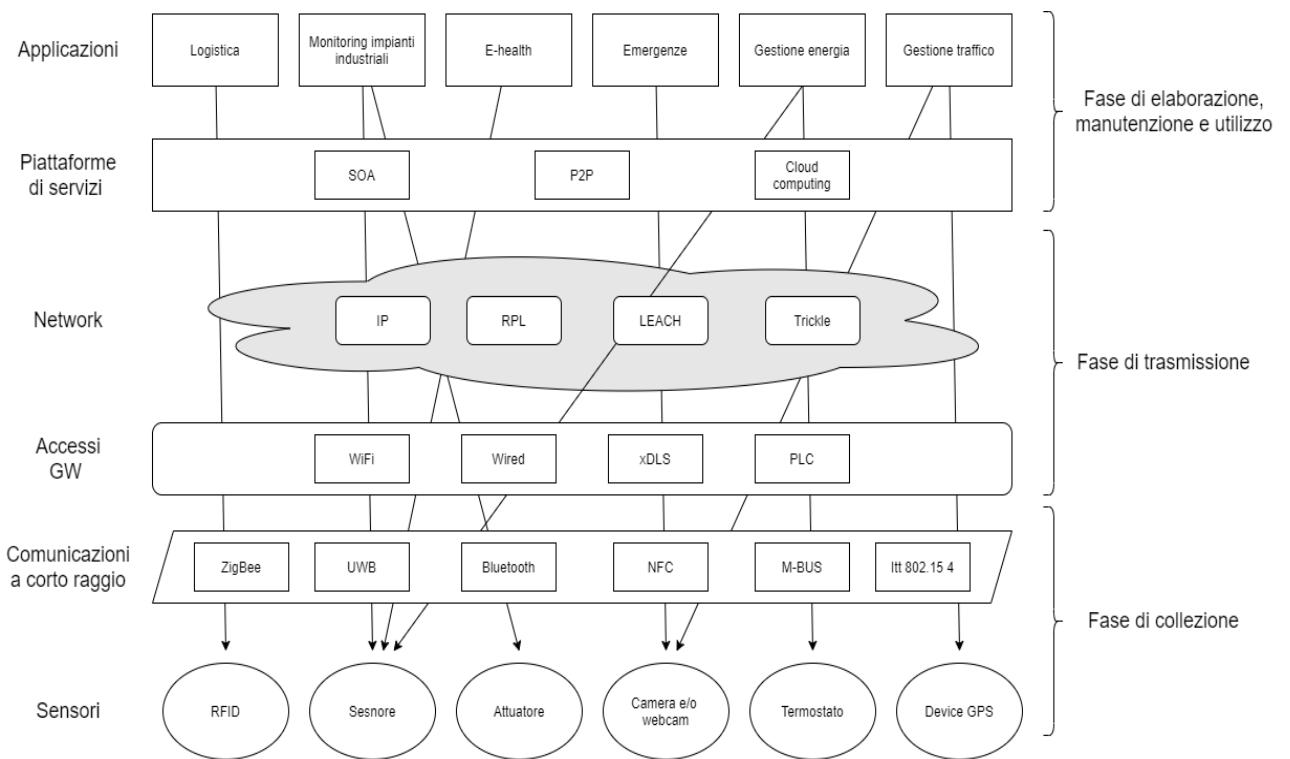


Figura 2.2. Rappresentazione dell'architettura orizzontale per un'applicazione IoT [B14]. Viene mostrata una lista di tecnologie e protocolli non esaustiva, alcuni dei quali verranno accennati successivamente.

Come mostrato nella Fig.2.2, le applicazioni non risultano più isolate tra loro, ma sono capaci di condividere risorse, infrastrutture, elementi di rete ed elementi ambientali, tutto orchestrato da una piattaforma di servizi [GTD12].

La Fig.2.2 mostra anche le tre differenti fasi dove l'interazione fisica-digitale prende piede. Dettagliatamente, si possono osservare le seguenti fasi:

- collezione dei dati;
- trasmissione dei dati;
- elaborazione, manutenzione e utilizzo dei dati.

Ogni sezione presenta dei sottocampi per entrare meglio nel dettaglio dell'argomento. Ciascuna di esse è caratterizzata da differenti tecnologie e protocolli, pensate per differenti

scopi e offrire relative funzionalità. Tuttavia, anche se sono divise tra loro, nessuna di esse non potrebbe coesistere senza le altre due.

Fase di collezione dei dati

La raccolta dei dati e informazioni dell’ambiente circostante e/o degli oggetti è il primo passo per un dispositivo IoT. Le informazioni raccolte possono essere fisiche, come la temperatura, percentuale di umidità o densità di un gas, oppure digitali, come il numero ID di un dispositivo, stato di processo o livello di energia. L’acquisizione dei dati viene sviluppata tramite differenti tecnologie integrate in sensori, telecamere, terminali GPS, etc., mentre la collezione dei dati viene accompagnata da tecnologie di comunicazione a basso range, Bluetooth, ZigBee, Dash7, Wireless M-BUS, solo per citarne alcuni.

La fase di collezione, o raccolta dei dati, fa riferimento alle procedure di analisi dell’ambiente circostante, alla raccolta dei dati in tempo reale ed alla ricostruzione di un modello percettivo di esso. Le tecnologie che andremo ad esaminare risultano essenziali per questa fase ed assai utili anche per comprendere al meglio lo sviluppo del mondo IoT nel tempo e le differenti applicazioni possibili (in dettaglio v. paragrafo 1.1.b).

Un ruolo fondamentale viene svolto dalla tecnologia *RFID* (Radio Frequency Identification). Questo sistema permette di identificare oggetti, animali e persone, immagazzinare informazioni e inviarle agli altri dispositivi elettronici. Il sistema RFID consiste di due elementi principali: il tag e il reader. Il tag viene applicato direttamente all’oggetto da identificare ed è univoco. Il reader legge i dati dal tag e li trasmette al mondo digitale, invia un segnale nell’area circostante per ricercare i possibili tag e si aspetta di ricevere il giusto ID del tag come risposta. Così facendo si può monitorare in real time gli oggetti, mappando il mondo reale in quello virtuale. Dal punto di vista fisico gli RFID sono piccoli microchip collegati ad un’antenna, utilizzata sia per la ricezione del segnale che per l’invio dell’ID come risposta. I tag sono di due tipi: passivo e attivo. Non necessitano di cariche di potenza e hanno bisogno di poca energia per poter funzionare correttamente (basta infatti l’energia emessa dal passaggio del reader). Quelli passivi risultano più flessibili, poco costosi, di piccole dimensioni e con una prospettiva di vita alquanto duratura. D’altro canto quelli attivi sono equipaggiati con batterie e presentano prestazioni computazionali maggiori, oltre che

una copertura del segnale di collegamento molto più ampia. Ovviamente la durata della batteria influisce sul tempo di vita dei dispositivi, i quali risultano più costosi dei precedenti.

La trasmissione dei tag avviene tramite differenti bande di frequenze [B14]:

- Low-Frequencies (LF), tra 125-134 e 140-148.5 kHz;
- High-Frequencies (HF), 13.56 MHz;
- Ultra-high Frequencies (UHF), 915 MHz (US) e 868 MHz (Europa).

Un'altra tecnologia essenziale per lo sviluppo dell'IoT è la *Wireless Sensor Networks* (WSN) [AV10]. Tale tecnologia viene ampiamente utilizzata in settori che spaziano dall'ambiente all'agricoltura intelligente, per consentire la raccolta e l'elaborazione dei dati. Le WSN tradizionali consistono in diversi sensori posizionati in un'area per riuscire a raccogliere tutte le informazioni relative ad un fenomeno. Recentemente, sta prendendo sempre più piede la WSN-ME (Mobile Elements) [FDA11 - CCFJK], che intende sfruttare l'alto numero di device mobile per riuscire a creare una rete più efficiente, duratura e utilizzata nelle diverse aree di interesse. Le reti di sensori possono includere al loro interno anche molti device, identificati come nodi. Ogni nodo riporta le informazioni riguardo agli altri nodi collegati - solitamente pochi - che connessi tutti tra loro riescono a fornire dati per tutto il sistema.

Per anni la ricerca intorno alla tecnologia WSN ha prodotto molteplici soluzioni, come quelle legate al MAC, routing, controllo della topologia e connettività e protocolli di trasporto. Negli ultimi periodi la ricerca si è concentrata sulla diminuzione del consumo e sull'aumento della potenza computazionale, fino ad una connettività più forte e resistente ad ambienti ostili (come, ad esempio, sott'acqua e sotto terra). I sensori collaborano con gli RFID per fornire prestazioni sempre più complesse ed aiutare sempre di più nel collegamento tra mondo reale e mondo virtuale. L'uso che viene fatto delle reti di sensori si può apprezzare in molteplici scenari, dal monitoraggio ambientale, passando per i sistemi militari ed i trasporti, fino ad arrivare al mondo dell'e-health.

Una modalità differente per connettere i dispositivi è quella della *Near Field Communication* (NFC). Questa tecnologia di comunicazione permette ai device di condividere le informazioni in modalità wireless semplicemente con il contatto fisico o stando a distanze di prossimità. Essa risulta assai utile per fornire una facile autenticazione, effettuare pagamenti online, nonché trasmettere immagini, video od altri dati semplici con un solo tocco. Viene

considerata come un’evoluzione degli RFID, anche se risulta essere assai differente da essi, in quanto rende possibile la trasmissione bidirezionale (al contrario di quella unidirezionale degli RFID). In genere, la distanza massima è di circa 5-6 cm.

Una tecnologia simile è quella *Bluetooth*. Anch’essa permette trasferimenti di dati a piccole distanze utilizzando modalità wireless. Inizialmente venne pensata per sostituire le comunicazioni a bassa potenza, ma oggi è applicata su vasta scala. Fornisce un metodo standard, economico e sicuro per scambiare informazioni tra dispositivi diversi attraverso una frequenza radio sicura a corto raggio in grado di ricercare i dispositivi coperti dal segnale radio entro un raggio di qualche decina di metri mettendoli in comunicazione tra loro. Questi dispositivi possono essere ad esempio palmari, telefoni cellulari, personal computer, portatili, stampanti, fotocamere digitali, smartwatch, console per videogiochi, cuffie, purché provvisti delle specifiche hardware e software richieste dallo standard stesso. I vari device utilizzati in questo sistema prendono il nome di piconet e possono presentare due ‘stati’: quello di master e quello di slave. Ovviamente, il *master* controlla i vari *slave*, il cui numero è limitato in base alla potenza del dispositivo master.

Fase di trasmissione

La fase di trasmissione dei dati include i meccanismi per l’invio e il transito dei dati raccolti alle applicazioni e ai server esterni. Una volta che i dati vengono raccolti, è necessario procedere con la trasmissione degli stessi in tutta la rete, o parti di essa, in modo che siano condivisi con i dispositivi che ne richiedono l’utilizzo. Le tecnologie di connessione sono principalmente di due tipologie: *wired* (fisiche con cavo) e *wireless*. Le prime risultano essere meno presenti delle seconde nel contesto IoT, vista la differenza di flessibilità.

Lo standard di riferimento per la connessione *wired* è l’Ethernet, che supporta una trasmissione da 10 Mbps a 100 Gbps lungo cavi coassiali e/o fibre. Il vantaggio è chiaramente visibile in termini di velocità di connessione e resistenza ai danni, oltre ad una maggiore protezione da interferenze ed errori. Tuttavia, la limitazione maggiore è data dal bisogno di una connessione fisica, che richiede manutenzione e costi aggiuntivi rispetto ad una connessione *wireless*.

Le connessioni wireless sono fondamentali per un sistema IoT, vista la grande flessibilità e facile integrazione, oltre ad un costo minore. Gli svantaggi rispetto alla precedente sono da

riscontrare in termini di area copribile dal segnale, resilienza agli errori e robustezza alle interferenze.

Una modalità agevole per connettersi alla rete è quella tramite la *WLAN* (Wireless LAN). In questo caso, alcuni device wireless sono connessi tra loro e con un device in particolare (chiamato *base station*) che ha accesso ad Internet, riuscendo a collegare la rete con il mondo. Esistono diverse tecnologie usate per questo scopo, con differenti coperture di rete e data rate differenti. Ne andremo a trattare alcune di seguito.

Nella famiglia del *WiFi* tutte le tecnologie che usano questo standard possono operare a diverse frequenze di banda (2.4 GHz o 5 GHz) grazie a differenti schemi di modulazione. La comunicazione dati può raggiungere il limite di 54 Mbps e le distanze coperte arrivano fino a circa 100m. Un’evoluzione del *WiFi* è la *WiMAX*, utile per coprire lunghe distanze (fino a parecchi chilometri). Essa opera tra i 2 e i 66 GHz ed arriva fino a 70 Mbps di data rate. Generalmente vengono usate tecnologie a banda larga, come la famiglia *xDSL*, per collegare ambienti familiari e/o sistemi domestici ad Internet, permettendo un’alta data rate, vista la necessità in tali ambienti, di ‘consumare’ dati e non di produrne.

Notevole importanza viene data anche ai sistemi mobile e quindi alle relative reti cellulari (GSM, GPRS, UMTS, HSPA+ e LTE). La densità di device di questo tipo di tecnologia ha permesso lo sviluppo di nuove modalità di trasmissione dati, che si sono resse utili anche nella fattispecie dell’IoT. In particolar modo le tecnologie *LTE* emergenti [AGB14] offrono all’utente la capacità di connettersi ad Internet sia in aree sperdute e con poca copertura di rete, che in aree con un’alta densità di connessioni. Sono così divenute molto utili per utenti in aree remote, con difficoltà di connessioni fisiche o a banda larga. Esistono anche tecniche di connessione ad Internet via satellite. Semplicemente, un satellite riceve una trasmissione ad una certa frequenza di banda, rigenera il segnale e lo rinvia al mittente ad un’altra frequenza. L’unica limitazione è la distanza considerevole dal satellite, che comporta l’inserimento di un ritardo di circa 280 ms.

Di seguito, nella *Tabella 2.1*, vengono mostrate tutte le tecnologie solitamente impiegate durante i processi appena descritti. Alcune di queste tecniche risultano più utilizzate di altre, ma nonostante questo tutte le voci presenti fanno riferimento ad un ampio numero di applicazioni. Bisogna ricordare come queste tecniche di trasmissione siano impiegate anche per molte altre applicazioni che non fanno riferimento diretto con il mondo IoT, tuttavia

risultano necessarie per la comunicazione tra dispositivi, aspetto fondante per la comunicazione tra i differenti elementi dei sistemi IoT.

Tecnologia	Standard di riferimento	Trasmissione media	Banda di frequenza	Data rate	Distanza massima
Ethernet	IEEE 802.3	Fibra ottica, cavo coassiale	-	fino a 100 Gbps	da 100 m fino a 50 - 70 km
WiFi	IEEE 802.11	Wireless	2.4 GHz 5 GHz	1-54-600 Mbps	Fino a 100 m
WiMAX	IEEE 802.16	Wireless	2-66 GHz	fino a 70 Mbps	Fino a 50-70 m
xDSL	ADSL, ADSL 2+, VDSL	Cavo coassiale, fibra ottica	Più di 2.2 MHz	Variabile	5.4 km
Cellulare	GSM, GPRS, UMTS, HSPA+, LTE	Wireless	900-2600 MHz	12-55 Mbps	da 10 m fino a 100 km
Satellite	BSM, DVB-S	Wireless	4-18 GHz	fino a 155 Mbps	da 3000 km fino a 35786 km

Tabella 2.1. Caratteristiche delle maggiori tecniche di accesso alle reti nel contesto IoT.

Fase di elaborazione, manutenzione e utilizzo

In questo processo il flusso di informazioni viene elaborato e/o modificato ed inviato all'applicazione. Tale fase si può dividere in due parti: le piattaforme di servizi e le applicazioni. Le piattaforme di servizi (vedi Fig. 2.2) ricoprono un ruolo fondamentale per nascondere l'eterogeneità dell'hardware, del software, del formato dei dati, delle tecnologie e dei protocolli di comunicazione che caratterizzano l'IoT [CLH12]. Questa fase è responsabile dell'astrazione di tutte le features degli oggetti, delle reti e dei servizi utili a fornire un basso accoppiamento dei componenti. Tale zona prende il nome di *middleware* ed ha assunto sempre più importanza negli ultimi anni per la necessità di semplificare lo sviluppo di nuovi servizi e la continua integrazione delle tecnologie esistenti in nuove forme più innovative e

orientate verso il mondo IoT. Le applicazioni consistono nelle vere e proprie funzionalità offerte all'utente finale, come per esempio la logistica, e-health, gestione delle emergenze, etc.

Per risolvere queste sfide, il concetto di *SOA* (Service Oriented Architecture) viene applicato all'IoT [GTD12]. Anche se inizialmente lo standard SOA è stato pensato per connettere programmi presenti nello stesso computer statico, è stato poi necessario apportare un adattamento al mondo IoT. L'utilizzo dei principi SOA permette la scomposizione di sistemi più complessi e monolitici in soluzioni contenenti componenti ben definiti e semplici. La presenza di interfacce comuni e standard fornisce una visione orizzontale al sistema e quindi una migliore interazione tra i componenti. Il sistema SOA si fonda su tre principali layers, ognuno responsabile di differenti funzionalità. Il primo layer si occupa dell'astrazione degli oggetti, ogni oggetto o funzionalità viene rappresentato come un *service*. Il secondo layer gestisce gli oggetti e i servizi, definendo come vengono trovati e amministrati in maniera dinamica e automatica, rendendoli pubblici agli altri. Infine il terzo layer fornisce il meccanismo per la costruzione di un servizio e/o un oggetto, specificando dinamicamente e in tempo reale come viene creato. I vantaggi dell'approccio SOA sono ampiamente riconosciuti nella comunità scientifica [AIM10], anche se manca una linea comunemente accettata di architettura a layer.

Anche il *Cloud computing* può rivelarsi un'ottima soluzione per contrastare le sfide del mondo IoT. Le risorse virtualizzate per la computazione e storage dei dati permettono l'evoluzione del mondo digitale senza alcun intervento dell'uomo. Il cloud sembra essere la modalità perfetta per le applicazioni IoT [EJ16], grazie al quale i dati collezionati vengono mantenuti online e possono essere facilmente usati dai dispositivi IoT. Per fare ciò però è necessaria una connessione costante ad Internet, o comunque sicura nel tempo. Il cloud inoltre risulta essere perfetto per contrastare l'alto volume di connessioni e/o trasmissioni di dati grazie a meccanismi di scalabilità automatica e dinamica fornita dai grandi player del settore. Anche gli efficienti sistemi per accedere allo storage virtuale sono di grande aiuta in casi di mancanza di spazio per i dati in locale, aspetto assai frequente vista la bassa disponibilità di memoria dei dispositivi IoT.

Un'altra interessante tecnologia usata in ambito IoT è il *P2P* (Peer to Peer) [P13]. Questo sistema rappresenta una tecnologia Internet definita content-centrica, usata per trovare le risorse disponibili in una rete ed è tipicamente utilizzata nelle telecomunicazioni. Essa indica

un modello di architettura logica di una rete informatica in cui i nodi non sono gerarchizzati unicamente sotto forma di client o server fissi, ma anche sotto forma di nodi equivalenti (detti peer), potendo fungere al contempo da client e da server verso gli altri nodi della rete. Mediante questa configurazione, qualsiasi nodo è in grado di avviare o completare una transazione. I nodi equivalenti possono differire nella configurazione locale, velocità di elaborazione, ampiezza di banda e quantità di dati memorizzati. Esistono molteplici classi di tale tecnologia, ma la *DHT* (Distributed Hash Tables) risulta essere la più promettente in termini di scalabilità, efficienza, resistenza ai fallimenti e responsabilità di distribuzione. Queste tecniche sono state pensate ed ideate in contrasto all'idea fondante delle architetture Internet, cioè quella di condivisione delle risorse e non dei dati. Nel mondo IoT è necessario però cercare di scoprire come condividere correttamente i dati tra i dispositivi.

Per finire, andiamo ad esaminare le applicazioni: l'ultima fascia dell'architettura. In tale area l'utente può vedere tutte le funzionalità del sistema. Infatti questo layer non è considerato parte del middleware, ma solamente una ‘vetrina’ da cui visionare i servizi. Qui è importante notare che una corretta integrazione tra il sistema distribuito e l'applicazione è fondamentale per una migliore elaborazione, o nel caso di utenti finale, di user experience.

2.1.b Applicazioni, sfide e problematiche

L'IoT presenta ampie potenzialità di crescita per lo sviluppo di nuove applicazioni intelligenti in molteplici campi. Alcuni di questi domini sono già stati influenzati dalle tecnologie IoT e hanno avuto un impatto molto positivo sulla vita quotidiana della società. Grazie a queste tecnologie si potranno (e si possono già) sfruttare servizi digitali da casa, dal lavoro, da zone remote del pianeta, in situazioni di salute precaria o durante attività sportive.

Rispetto a tutte le possibili applicazioni, si distinguono dei campi e degli scenari ben definiti, alcuni sono fortemente attuali, altri ancora in fase di sviluppo ed in continua ricerca.

La *Fig. 2.3* mostra alcuni di questi scenari e possibili servizi futuri. Alcuni risultano fortemente diffusi e ben consolidati nella vita delle persone - come i trasporti e logistica, healthcare e ambienti smart -, mentre altre soluzioni risultano ancora in forte crescita e in fase di ricerca scientifica. Bisogna tuttavia constatare che anche per le tipologie di servizi più completi è sempre presente un largo margine di sviluppo e ricerca, come il caso studio

presente nell'elaborato, dove si vuole sottolineare un esempio innovativo nel settore dell'healthcare.

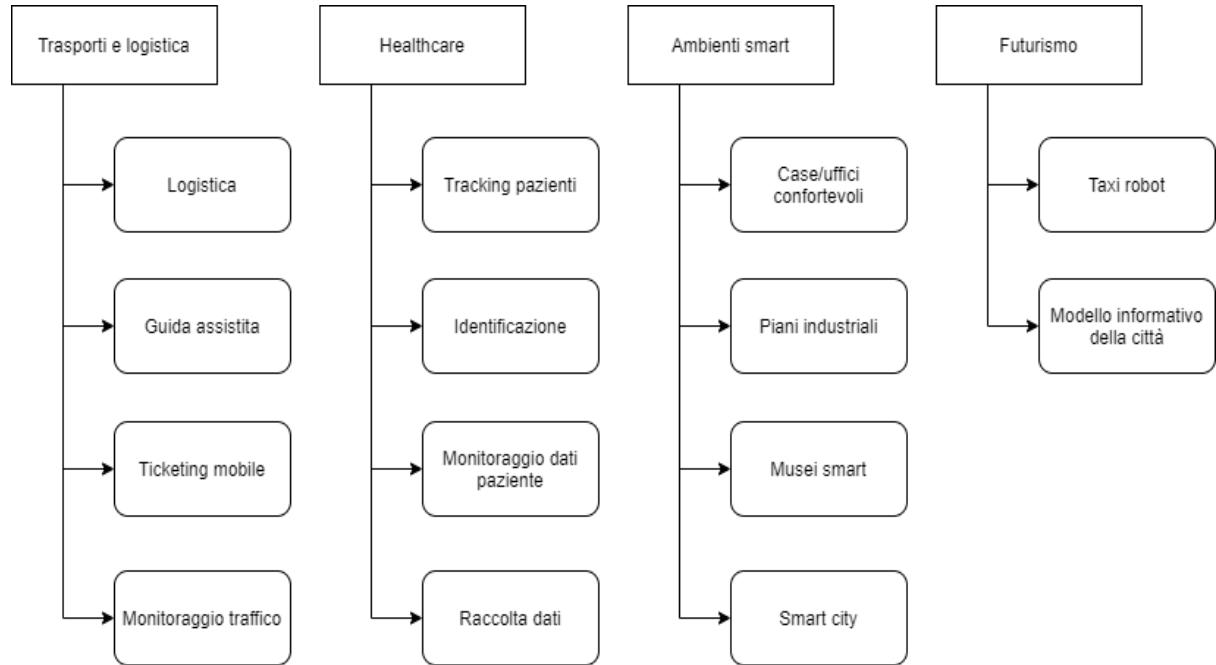


Figura 2.3. Alcuni dei domini applicativi e possibili scenari [AIM10].

La lista dei domini IoT non è esaustiva ed è in continuo sviluppo; pertanto verranno analizzati solamente alcuni servizi. E' necessario notare che queste funzionalità non hanno tutte lo stesso livello di maturità e ricerca e quindi di fatto possono sembrare squilibrate in termini di comparazione. Alcune sono attivamente partecipi nella nostra vita quotidiana, altre sono (e si spera siano) in dirittura di arrivo nel prossimo futuro.

Dominio industriale

Nelle attività industriali il fenomeno dell'IoT è presente già da tempo e si occupa di moltissime applicazioni nella logistica, nella manifattura, nonché nel monitoraggio dei processi di produzione dei prodotti. La logistica viene migliorata con l'uso di RFID e/o NFC che consente il corretto tracciamento dei prodotti e una maggiore trasparenza nel processo di

spedizione e consegna. La logistica, con l'uso degli RFID, è divenuta sempre più completa e prestante grazie all'introduzione di sofisticati algoritmi di machine learning e IoT.

La comodità, per un produttore, di conoscere il flusso di lavorazione di un prodotto è fondamentale per consentire ad un'azienda di migliorare la catena di produzione e la qualità del prodotto stesso. In questo modo si può evitare lo spreco di materiali, di risorse produttive e di macchinari semplicemente conoscendo e monitorando il ciclo di vita di un prodotto. Inoltre, è possibile anche monitorare lo stato dei prodotti e valutarne il deterioramento, aspetto fondamentale per i prodotti alimentari.

Le tecnologie IoT si possono usare anche nei contesti degli allevamenti intensivi e nella produzione di prodotti agricoli. L'integrazione tra la tecnologia e l'agricoltura è diventata sempre più importante al fine di evitare sprechi e problematiche legate alla salute degli animali e dei vegetali. Microchip avanzati possono fornire informazioni sullo stato di salute dell'animale o sul suo percorso, oppure sensori termici possono monitorare la temperatura e umidità del terreno per valutare la crescita corretta di una pianta. Queste sono soltanto alcune soluzioni legate a tale micro-settore.

Smart city e smart home

Il mondo IoT aiuta anche nell'incremento della sostenibilità ambientale nelle città, rendendole sempre più smart e aumentando la qualità della vita delle persone. Reti di sensori possono aiutare a reperire nel minor tempo possibile la disponibilità di un parcheggio libero, in modo da risparmiare non solo tempo, ma anche carburante, limitando anche l'emissione di CO² nell'aria. Alcuni sensori e videocamere possono segnalare facilmente infrazioni stradali, consentendo una migliore e più efficiente applicazione del codice della strada. Anche i pagamenti possono diventare più semplici, permettendo agli utenti di pagare il parcheggio tramite NFC o di acquistare i biglietti dei mezzi pubblici tramite RFID.

Le smart home possono essere parte integrante della smart city aiutando la vita degli abitanti in maniera considerevole, riuscendo a connettere in maniera veloce ed istantanea il nucleo abitativo e la città. Oltre a divenire un nodo all'interno della smart city, la stessa smart home risulta essere una rete di sensori e dispositivi tecnologici capaci di interagire tra loro e connettersi correttamente ad Internet per fornire i più disparati servizi. Basti pensare alle

telecamere di sorveglianza, ai termostati intelligenti, alle tapparelle smart, ai televisori, agli speakers e molto altro ancora.

Healthcare

Lo sviluppo esponenziale della tecnologia e delle reti di Internet ha portato numerosi cambiamenti nella vita delle persone, coinvolgendo gli ambiti più disparati. Una rivoluzione fondamentale si è resa necessaria in ambito medico, dove al rapporto umano medico-paziente (pur sempre imprescindibile) ne è stato affiancato uno nuovo tipo, quello digitale. Si prospetta urgente l'evoluzione di nuovi sistemi di cura che permettano controlli, visite di prevenzione e diagnosi a distanza.

Le applicazioni maggiori vengono concordate con la comunità medico-scientifica in modalità tali da incrementare notevolmente i benefici dell'IoT applicato alla sanità. Tutti i dispositivi utilizzati sono pensati per poter svolgere funzioni sanitarie e possono essere integrate soluzioni IoT per aumentare l'efficienza della cura o della prevenzione. I servizi più importanti svolti in questo ambito sono:

- tracking del paziente o di un oggetto;
- identificazione e autenticazione;
- raccolta dati e prestazioni mediche;
- monitoraggio dei dati e del paziente.

Il *tracking* è la funzione di identificazione di una persona o un oggetto in movimento e può essere sia in modalità real-time che attraverso il passaggio da checkpoint. La funzione di tracking viene ampiamente utilizzata per controllare il flusso di lavoro di prodotti sanitari, materiali utilizzati per chirurgie, organi di donatori, medicinali necessari per le cure, etc.

La procedura di identificazione e autenticazione di un paziente è utile per evitare disguidi o errori nei dosaggi dei medicinali e nelle procedure sanitarie; per mantenere cure specifiche per un determinato paziente; per identificare in modo certo i neonati al fine di ovviare a problematiche di scambio. Per quanto riguarda lo staff sanitario, la maggior parte di questi servizi viene usata per garantire l'accesso agli addetti ai lavori in maniera corretta e trasparente e per permettere per la corretta esecuzione delle procedure di intervento e di cura.

La raccolta dei dati sanitari è chiaramente alla base di molti servizi essenziali per la cura, la ricerca e lo sviluppo dei protocolli sanitari. Pertanto, questi servizi sono volti a migliorare le prestazioni sanitarie offerte con l'ausilio di algoritmi e strumenti statistici, resi possibili solo grazie alla raccolta di dati e alla costruzione di importanti dataset. Viene considerata parte di questo processo anche la di dati dopo aver effettuato delle prestazioni sanitarie, come delle semplici visite specialistiche o di controllo. Il caso studio presente in questo elaborato tratta proprio della raccolta dei dati sanitari, in particolare delle immagini dei nevi del paziente. Questa procedura è utile per la creazione di uno storico cronologico per ciascun paziente, in maniera tale da poter elaborare cure, prestazioni, terapie o modalità di prevenzione dei rischi sulla base di dati sanitari certi raccolti.

Il monitoraggio dei dati permette di controllare real-time lo stato di salute del paziente e come lo stesso reagisca alle cure e terapie prescritte. Il dominio applicativo prevede numerose soluzioni di telemedicina, modalità di prescrizione di medicinali e alerting dello stato di salute del paziente. In questo senso, i sensori possono essere applicati sia all'interno del paziente (come il pacemaker) che esternamente (dispositivi wearable). Ovviamente un accesso wireless alla rete ci permette di conoscere le informazioni desiderate del paziente in ogni luogo e momento.

L'ambito Healthcare è particolarmente sensibile nel mondo dell'IoT, tanto che è stata ideata una disciplina apposita per inglobare tutti gli studi e le innovazioni tecnologiche in questo particolare settore di utilizzo. Tale campo prende il nome di IoMT e verrà introdotto meglio nella sezione di capitolo successiva.

I sensori avanzati capaci di connettere e monitorare lo stato del paziente durante le sue attività quotidiane, senza che si debba recare in un presidio medico-ospedaliero, possono aiutare notevolmente i pazienti e il personale sanitario. I dati vengono trasmessi tramite modalità di connessione già citate (Bluetooth, ZigBee, wireless, etc.). Anche i sensori wearable (chiamati anche BAN, Body Area Network) aiutano a percorrere questa tipologia di monitoraggio da remoto. Altri sensori possono essere impiegati per monitorare strumentazioni sanitarie e farmaci utilizzati all'interno dell'ospedale. Molti altri strumenti invece possono essere impiegati per svolgere delle prestazioni sanitarie in modalità digitale, come per esempio il caso studio presente in questo elaborato di tesi.

L'esempio particolare del caso studio consente di comprendere come sia possibile implementare una risposta innovativa e digitale al problema delle visite dermatologiche

laddove sia difficile raggiungere il paziente o dove vi sia una perdita di risorse - in termini di tempo e di spazio - altrimenti spendibili per altri pazienti. Anche l'attuale pandemia da Covid-19 ha contribuito allo sviluppo di queste tecnologie digitali da remoto per permettere una corretta implementazione del protocollo sanitario, dove la distanza interpersonale è necessaria per garantire la salute del paziente. Di fatto questo insieme di operazioni che possono essere facilmente effettuate da remoto aiutano, in parte, ad arginare il problema del virus.

Sfide e problematiche ancora aperte

Le sfide che emergono sono numerose, sia tecniche che sociali. Esse dovranno essere superate per poter permettere l'evoluzione dell'IoT. Di seguito vengono spiegate alcune sfide, alcune riprese come problematiche ancora da completare (vedi *Problematiche ancora aperte*).

La sicurezza e la privacy risultano delle sfide decisive per l'IoT. La sicurezza dei dati trasmessi deve essere garantita in maniera tale da proteggere gli utenti o le aziende coinvolte nei processi tecnologici. La privacy sta diventando un tema sempre più discusso nel mondo dell'informatica, per considerare al meglio la natura dei dati raccolti, la distribuzione, lo storage e l'utilizzo che viene fatto di queste informazioni.

Ci saranno nuove sfide tecnologiche legate al network e alla capacità di controllare molti devices con il minor dispendio di risorse possibili. Il continuo sviluppo dell'elettronica è fondamentale per incrementare gli sforzi nella progettazione e implementazione di nuove tecnologie e algoritmi. Così altresì l'innovazione e la ricerca spaziale avranno il loro impatto sulle telecomunicazioni e quindi anche sulle modalità di connessione utili alle reti IoT. Come recenti sfide e ricerche tecnologiche in questo campo si possono annoverare studi eseguiti sui gateway, reti gerarchiche per aumentare la capacità, nuove metodologie di addressing, mobilità migliorata degli oggetti, nuove tecniche di routing e nuove metodologie di gestione dei dati [AIM10].

Le problematiche del mondo IoT sono molteplici ed in continua evoluzione, essendo un campo di studi abbastanza recente. Verranno spiegate brevemente solo alcune di esse.

Il problema più attuale è quello della sicurezza e della privacy dei dati trasportati e dei dispositivi utilizzati. I devices hanno una potenza computazionale bassa e fanno fatica a contenere algoritmi e protocolli di sicurezza dei dati, rendendo tutti questi dispositivi sensibili ad attacchi esterni. Le difficoltà maggiori sono riscontrate in fase di autenticazione e integrità dei dati. La prima richiede una sicurezza forte e comunicazioni con il server, aspetto che rende il carico di trasmissioni decisamente consistente. La seconda riguarda invece la possibilità di un dato di essere disturbato e/o manipolato da terzi o da errori funzionali. Tutto ciò è legato alla trasmissione dei dati, effettuata maggiormente in modalità wireless, quindi più facile da penetrare. La particolare attenzione che viene data a questo problema è dovuta al fatto che la maggior parte dei dati trasferiti sono di natura sanitaria, aziendale e soprattutto personale, con un notevole rischio per la privacy dell'utente finale. Numerosi sforzi sono stati fatti per aumentare la sicurezza e incrementare la difficoltà di ricevere attacchi, e molti altri metodi saranno necessari per assicurare un futuro sicuro a queste tecnologie.

Un'altro problema molto importante è quello legato alla standardizzazione dei protocolli di comunicazione, formato dei dati, informazioni dei dispositivi e aspetti tecnici degli algoritmi utilizzati. Questa mancanza di standard globali alimenta la diversificazione delle tecnologie e tecniche utilizzate per i servizi IoT, aumentando anche la possibilità di errori e problematiche legati alla progettazione. Per esempio si fatica a trovare uno standard utile per l'IPv6, che presto entrerà sempre più in vigore quando l'IPv4 saturerà [B14].

2.1.c Impatto sull'economia e dati di crescita del fenomeno IoT

Si stima che con la crescita del mondo IoT potranno nascere e svilupparsi molti servizi essenziali, applicazioni intelligenti e prodotti assai utili per l'ambiente, per la società, per i singoli individui e per il business. Perché si possa avverare tutto questo è però assolutamente indispensabile garantire il più possibile uno scambio di informazioni sicuro ed affidabile, soprattutto per quanto riguarda i dati sensibili degli utenti [GKG13]. Il valore economico associato al mondo IoT si presume sia enorme, circa il 2-5% del PIL⁴ degli Stati Uniti.

⁴ **Prodotto Interno Lordo** degli Stati Uniti d'America, uno dei maggiori produttori di tecnologie IoT e dato principale dell'articolo di riferimento [M14]. Attualmente, il 20% del PIL deriva da aziende digitali, mentre il restante da industrie ‘fisiche’ (manifatturiere, energia, trasporti, agricoltura, ecc.). Dati del 2014.

Questo incremento è dovuto alla crescita esponenziale della digitalizzazione di tutti i processi produttivi e sociali nei Paesi del mondo.

Le più grandi aziende hi-tech hanno iniziato ad investire in mercati che prima non erano di loro competenza, cercando di digitalizzare il più possibile tali servizi. Per esempio, Google ha acquisito una compagnia di termostati per entrare nel mercato delle smart home, mentre IBM si sta interessando a soluzioni per la gestione del traffico stradale e smart grid. Le strategie future dei colossi hi-tech come Google, Amazon, Tesla, IBM - solo per citarne alcuni - sono chiaramente proiettate verso il mercato IoT. Anche i governi nazionali e i servizi pubblici hanno risposto con interesse sempre più crescente all'innovazione in campo IoT, investendo notevoli risorse nella ricerca. Molte di queste risorse sono state indirizzate soprattutto nel campo medico, dove si stanno scoprendo numerose innovazioni utili a garantire ai cittadini un servizio sanitario più sicuro, veloce e innovativo. Questi aspetti del mondo IoT vengono raggruppati sotto un unico sottocampo, quello legato ai dispositivi medicali, ovvero quello dell'*Internet of Medical Things* (IoMT).

2.2 IoMT

L'Internet of Medical Things, o IoMT, sta ricevendo sempre più attenzione nel mondo dovuto agli effettivi miglioramenti riscontrabili per la salute delle persone. Le differenti applicazioni dell'IoMT aiutano a ridurre costi operativi e a ridimensionare il carico di lavoro dei presidi sanitari, migliorando così la qualità delle prestazioni sanitarie e sviluppando nuove tecnologie utili a salvare vite.

Il crescente numero di pazienti sta aumentando le sfide che i servizi sanitari sono volti a sostenere e risultano sempre più difficili da affrontare. L'IoMT propone molte soluzioni a differenti problemi, offrendo un servizio più efficiente e, in alcuni casi, anche da località assai lontane o difficilmente raggiungibili. Così facendo si ottiene la trasmissione dei dati senza l'intervento dell'uomo, ma soltanto tramite l'interazione tra macchine (di fatto i *things*). Una piattaforma IoMT è un insieme di sensori e circuiti elettronici capaci di raccogliere segnali biomedici da un paziente, processarli e immagazzinarli in opportune unità di memoria e inviarli attraverso una rete.

Un'altra considerazione va fatta sul mercato dell'healthcare, che si sta trasformando sempre più in un sistema su misura per il paziente, con medicinali e prestazioni differenti per ognuno. Ogni dispositivo in dotazione ad un paziente, se correttamente connesso ad Internet o a reti di altri dispositivi, funge da trasmettitore di informazioni. La velocità e affidabilità della rete rendono questi dati direttamente fruibili al medico o al personale sanitario competente, che in caso di problemi può agire di conseguenza. Anche i dispositivi sanitari presenti negli ospedali o in centri specializzati possono divenire parte di sistemi IoMT, volti sempre a monitorare al meglio i dati e/o a fornire servizi migliori.

Nell'ecosistema sanitario un importante passo è quello di riuscire ad utilizzare tutte le potenzialità offerte dalla tecnologia già esistente. I sensori wireless sono elementi importanti e altrettanto critici. Vengono spesso utilizzati per monitorare lo stato di salute dei pazienti da distanze considerevoli e informare prontamente il personale sanitario in caso di problemi. Molti altri esempi si possono fare con device cellulari e dispositivi wearable, ma verranno analizzati in seguito.

Inoltre, da quando sono stati effettuati miglioramenti non indifferenti nel mercato dei sistemi di comunicazione, l'uso di soluzioni IoMT è aumentato e così, di conseguenza, anche la mole dei dati è diventata maggiore. La gestione dei dati sanitari dei pazienti ha portato a nuove sfide, molte delle quali relative alla sicurezza dei dati e delle comunicazioni, la capacità di storage e di calcolo dei sistemi impiegati e nuove tecniche di gestione delle informazioni digitali. Si deve ricordare che molti studi e nuove tecniche sono stati sviluppati con l'aiuto di algoritmi di machine learning e deep learning, oltre che di soluzioni IoMT.

Brevemente, si vedrà la struttura di un generico sistema IoMT e la spiegazione della sua architettura. Successivamente, verranno illustrati i principi dell'utilizzo dell'IoMT nella sanità. Infine, si darà voce ad alcune soluzioni pratiche.

2.2.a Architettura IoMT

La struttura comune delle applicazioni IoMT si basa sulle tecnologie viste precedentemente dell'IoT. Di seguito, verrà proposto uno schema generale utile per comprendere la struttura base di molti applicativi IoMT.

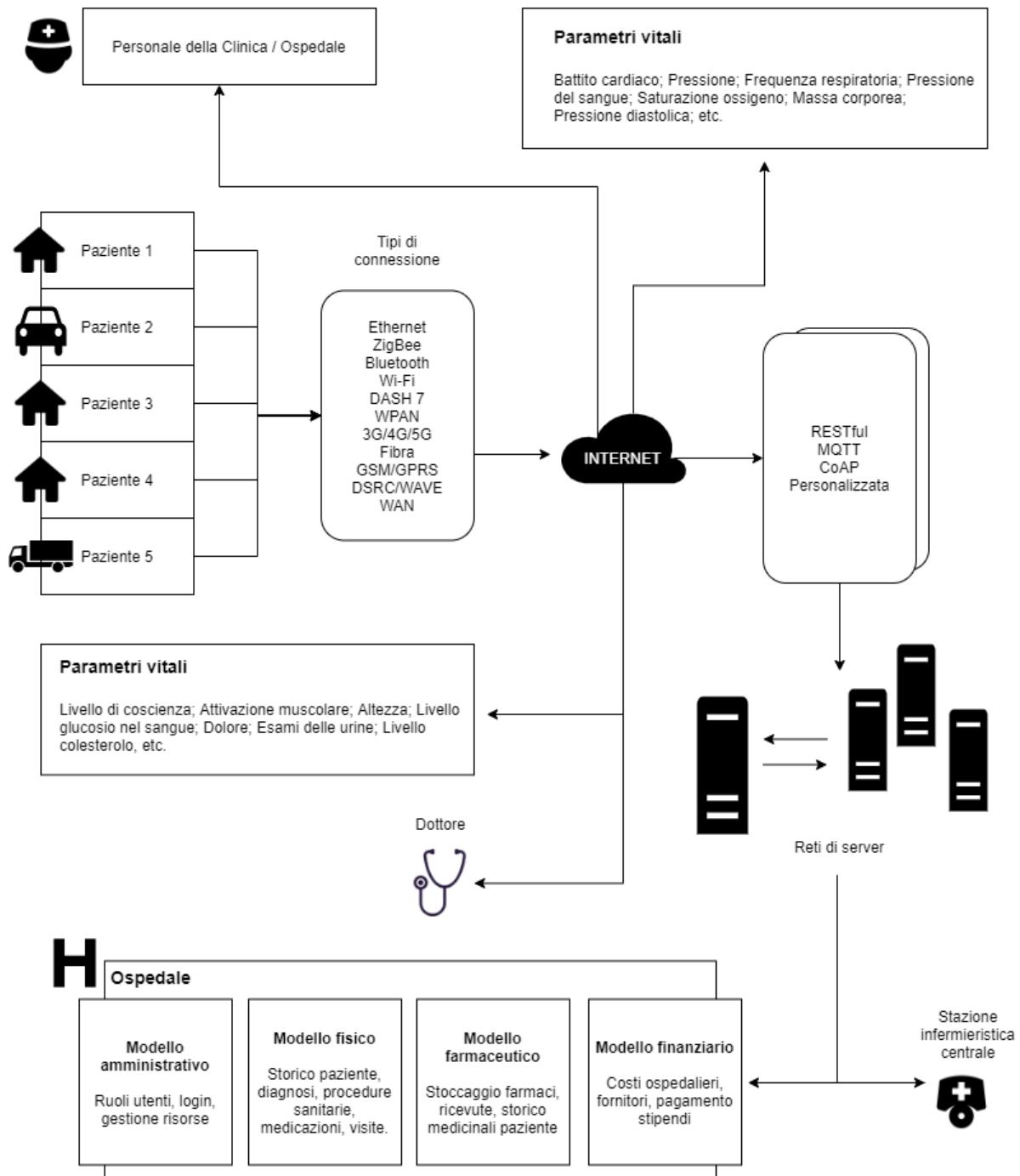


Figura 2.4. Architettura generale dei sistemi IoMT [SRJ20].

Lo schema proposto nella Fig.2.4 mostra come siano necessarie varie tecnologie di comunicazione, memorizzazione e invio dei dati. Inoltre, si può facilmente notare la complessità del sistema e i compiti complessi e non delle diverse entità coinvolte.

La struttura appena descritta risulta chiaramente dipendente dall'architettura descritta nella Fig. 2.2 della sezione di capitolo precedente. Si possono osservare tre layer o fasi di sviluppo dell'applicazione e tecnologie già citate.

La fase di collezione dei dati nei processi IoMT avviene tramite i diversi sensori e strumenti usati durante la degenza o la terapia del paziente. Questi sensori possono essere dispositivi wearable, sensori impiantati sottopelle o nel corpo del paziente stesso oppure strumenti fisici esterni. Per esempio, un pacemaker digitale potrebbe avvertire il personale sanitario competente, o direttamente l'ospedale, nel caso il cuore del paziente non batta ad una frequenza adatta. Un altro esempio pratico è quello di utilizzare delle capsule per il monitoraggio gastro intestinale (note come *SmartPill*) aiutano a localizzare le anomalie del transito in una specifica regione gastrointestinale, raccogliendo dati lungo l'intero tratto percorso. La capsula di motilità SmartPill, viaggiando attraverso il tratto gastrointestinale del paziente, misura la pressione, il pH e la temperatura per fornire preziose informazioni diagnostiche, tra cui lo svuotamento gastrico e i tempi di transito gastrointestinali totali nei pazienti. Durante questa prima fase le modalità di raccolta dei dati possono essere le più svariate, alcune attraverso strumenti sanitari digitali e altre attraverso sensori che vanno a controllare determinati valori del paziente.

Gli strumenti sanitari esterni utilizzati per tali tipologie di operazioni possono variare a seconda della terapia e della cura da intraprendere. Nel nostro caso studiosi esamina un teledermatoscopio digitale che raccoglie le immagini e le misurazioni dei nevi cutanei del paziente, ma è solamente uno dei tanti possibili strumenti utilizzabili. Si potrebbero infatti applicare agli ECG, sfigmomanometri, braccialetti fitbit, sensori neurali, etc.

Bisogna anche constatare che molti di questi strumenti potrebbero anche essere trasformati in apparecchiature digitali, per assolvere ai compiti di condivisione dei dati e collegamento ad una certa tecnologia come richiesto dai sistemi IoMT. Per esempio, il caso di una bilancia che viene trasformata per trasmettere dati digitalmente oppure un termometro che viene ridisegnato per inviare dati al telefono cellulare.

Successivamente, per la trasmissione di questi dati vengono impiegate le tecnologie più disparate, dal Bluetooth passando per il Wi-Fi alla connessione NFC. Di solito, la più impiegata è quella Bluetooth, grazie al suo semplice utilizzo e alla facile integrazione con gli strumenti sanitari - anche se i sistemi wireless stanno iniziando a prendere sempre più piede come modalità di trasmissione e collegamento tra tali dispositivi -.

Il processo di trasmissione dei dati raccolti durante la precedente fase avviene tramite le tecnologie solitamente utilizzate per il mondo IoT; tuttavia bisogna però constatare che per determinate cure e/o terapie viene indicata una modalità di trasmissione piuttosto che un'altra, per non incorrere in problematiche di area di copertura del segnale. Per esempio, l'utilizzo di un sistema Bluetooth non sarebbe adatto al tracking di un paziente in una zona remota, in quanto l'area di copertura della tecnologia di trasmissione non riuscirebbe a raggiungere il paziente. Per il caso studio sin qui citato viene utilizzato il collegamento wireless tramite la rete Wi-Fi, in quanto risulta la modalità di collegamento predisposta dal dermatoscopio digitale, mentre per tutti gli altri strumenti trattati dall'applicazione mobile viene usata la connessione Bluetooth.

L'ultima fase citata nell'architettura dei sistemi IoT, quindi valida anche per quelli IoMT, è quella di elaborazione dei dati e immagazzinamento degli stessi. Questo processo varia in base alle tipologie di strumentazioni utilizzate, alla necessità del formato del dato, alla modalità di trasmissione e di immagazzinamento del dato e allo scopo del servizio sanitario. Solitamente i dati vengono inviati a server esterni e/o cloud per permettere un accesso alle informazioni anche da remoto e in modo semplice. Nel caso studio del teledermatoscopio digitale i dati raccolti vengono inviati al server dell'azienda curante il servizio, anche se avviene attraverso l'elaborazione e l'invio del software hub. In questo specifico caso, il software hub funge da middleware che elabora ed invia il dato al server per offrire un servizio applicativo di controllo, di raccolta e di monitoraggio delle misurazioni dermatoscopiche.

Nel settore sanitario i molteplici dispositivi IoMT sono solitamente diversi tra loro e tecnologicamente differenti. Durante la fase di creazione di sistemi condivisi IoMT si vanno a costituire delle reti di device molto eterogenee. Risulta peraltro importante la corretta integrazione di tali dispositivi tra di loro, aspetto fondamentale per permettere la comunicazione ed esecuzione delle attività ricercate nel loro utilizzo. La fase di integrazione è delicata in quanto può portare a differenti problematiche durante l'esecuzione dei task del dispositivo che non possono essere normalmente presenti nell'ambito sanitario. Di fatto, il continuo dell'elaborato si basa sull'operazione di integrazione di un dispositivo sanitario digitale con un sistema embedded mobile normalmente non utilizzato per scopi sanitari. Questa fase è fondamentale per permettere la raccolta dei dati tramite il device sanitario, l'elaborazione degli stessi con il device mobile e la trasmissione dei dati ad un servizio remoto tramite internet.

2.2.b Principi generali

In questa sezione si vogliono esporre alcuni dei principi generali che fungono da guida a soluzioni reali già implementate, in fase di sviluppo o da progettare in futuro (analizzate poi nel paragrafo 2.2.c *Soluzioni pratiche*).

Come primo punto ovviamente si vorrebbe innovare il sistema sanitario e la tecnologia usata. I benefici sono visibili sia lato paziente che lato personale sanitario; il primo riceverebbe un trattamento più veloce, preciso ed efficace ed il secondo avrebbe un'ottimizzazione dei processi sanitari e minori margini di errore. Le tecnologie innovative possono includere e-health [R16] e mobile health [F18], insieme a molte altre. Al giorno d'oggi queste tecnologie e sistemi sono ampiamente disponibili e personalizzabili, oltre ad essere a basso costo.

La riduzione dei costi è un fattore importante, soprattutto per quanto riguarda la sanità pubblica, ma al pari della riduzione delle tempistiche nella diagnosi, nell'effettuazione delle prestazioni sanitarie e nelle cure. Questo miglioramento ovviamente giova al paziente ma anche all'ente curante, che riesce così ad effettuare le prestazioni più velocemente e in modo migliore. Il sistema può anche inviare alert ai pazienti, rendere le prestazioni e visite prenotabili con un click, permettere l'accesso ai documenti sanitari in formato digitale e molto altro ancora. Si potrebbe anche tenere traccia dello storico di un paziente, accessibile rapidamente e con pochi passaggi onde così evitare lungaggini dovute a una lenta e macchinosa burocrazia fatta di richiesta e lunghe attese.

Un'applicazione già nota dei sistemi IoMT è quella di permettere il tracking dello stato del paziente da remoto, in maniera tale da poter raggiungere zone remote o lavorare in situazioni emergenziali (come, ad esempio, nel corso della pandemia da Covid-19). In questo modo anche il monitoraggio riesce ad essere costante o comunque duraturo per tempi più lunghi. Grazie a queste tecnologie la prevenzione viene migliorata e resa più veloce tramite la connessione ad Internet. Anche la risposta all'emergenza viene notevolmente migliorata in termini di velocità e quindi anche di efficacia. Tramite l'invio di alert personalizzati e messaggi di allarme al personale sanitario e/o medico l'emergenza può essere presa in carico in tempo reale, arginando al più presto il problema.

Sempre da remoto, possono essere svolti tutti i servizi di telemedicina, come le visite specialistiche o le consulenze online tra medico e paziente, di modo da evitare il problema

della reperibilità, delle lunghe attese in ambulatori affollati e degli spostamenti da parte di entrambe le parti.

Una motivazione importante che lega lo sviluppo dell'IoMT verso servizi mirati è quella della personalizzazione basata sul contenuto dei dati ricevuti. Per ogni paziente verrà estrapolato un profilo ed un insieme di dati che serviranno tutti a sviluppare nuovi medicinali, percorsi terapeutici e prestazioni ad hoc per il paziente e le sue patologie. In questo modo viene creato in automatico un servizio unico e personalizzato per ogni utente. Anche la cura delle malattie croniche (HIV, diabete, ipertensione, etc.) trova spazio in questo contesto, proprio per la personalizzazione del servizio tramite un'azione di monitoraggio costante.

Ovviamente la ricerca nel campo IoMT non si ferma. Si sperimentano continuamente nuove tecniche di riduzione dell'energia, costi computazionali, tempi di ricezione ed invio, ottimizzazione dei processi, sostenibilità ambientale e sicurezza della salute delle persone. Ricordiamo come la ricerca e sviluppo dell'IoMT vada di pari passo con quella dell'IoT; di fatto molte applicazioni sono sviluppi di quest'ultima, ma applicati in campo medico.

L'IoMT ci sta guidando verso una nuova generazione di cura del paziente, definendo nuovi processi di diagnosi e cura. Tutti gli equipaggiamenti sanitari, sensori wearable e device impiantabili sono pensati per supportare il personale sanitario, che dovrà essere opportunamente qualificato anche nel mondo digitale.

Un concetto interessante è quello del *connected health vision*. Questo paradigma viene introdotto per specificare la visione per la quale un paziente sia più coinvolto per la cura della sua salute. In questo senso, un sistema IoMT invia i dati del paziente costantemente alla struttura sanitaria, la quale fornisce al paziente tutte le informazioni necessarie per poter svolgere, per quanto possibile, in autonomia la propria cura. In caso questo non sia possibile o insorgessero alcune emergenze, l'ente sanitario è già a conoscenza dello stato di salute del paziente e quindi sarà già pronto ad intervenire con celerità.

Covid-19

La pandemia da Covid-19 ha portato alla luce tutte le difficoltà di gestione e organizzazione del sistema sanitario, introducendo anche nuove problematiche nel contatto tra paziente e medico.

L'IoMT ha saputo rispondere ai problemi legati alla distanza e al monitoraggio da remoto delle persone affette dai sintomi di coronavirus. I diversi sistemi si sono mostrati dei perfetti candidati per la prevenzione, cura e diagnosi delle possibili persone infette. La sorveglianza real-time e monitoraggio da remoto tramite dispositivi wearable, device mobile o sistemi di health-monitoring hanno sicuramente aiutato a risolvere alcune problematiche sollevate da questa pandemia. Alcune nazioni, come Taiwan, Corea del Sud e Germania, hanno utilizzato sistemi IoMT e tecnologie di machine learning per mitigare i danni da Covid-19 nella popolazione. Sono riusciti a controllare l'aumento dei casi e delle infezioni grazie a sistemi di sorveglianza digitale, dispositivi wearable IoMT, tracciamento dei movimenti, test segnalati dai device mobile e visite da remoto [AHS21].

Benefici e rischi

<i>Benefici</i>	<i>Benefici</i>
Vita più longeva	Costi ridotti
Riabilitazione dei pazienti migliore	Automatizzazione processi ospedalieri
Qualità della vita migliore	Gestione del tempo e risorse
Prevenzione patologie	Riduzione ricoveri
Cure in tempi più rapidi	Efficienza
Sostenibilità	Personale sanitario più efficiente
Cura dei pazienti da casa o zone remote	Semplicità dei processi

Tabella 2.2. Riassunto dei benefici in campo medico grazie all'IoMT. Con questa tabella si vuole mostrare alcuni dei maggiori benefici che il mondo IoMT può apportare, bisogna specificare che sono solamente alcune delle molteplici opzioni presenti nel mondo,

I numerosi benefici introdotti dall'IoMT hanno portato a ridurre il divario tra pazienti, dottori e servizi sanitari. La precisione nelle operazioni di gestione e nelle stesse prestazioni è aumentata, con conseguente incremento dell'efficienza e della flessibilità. La digitalizzazione

di molti processi ha aiutato a sopperire a mancanze strutturali che hanno caratterizzato per anni il nostro sistema sanitario.

I rischi introdotti dallo sviluppo dell’IoMT sono maggiormente legati alla sicurezza dei dati trattati. Se una condizione medica di un paziente viene resa nota, sarebbe un duro colpo per la reputazione dell’ospedale e un grande problema di privacy del paziente. Anche la possibilità di attacchi informatici per la manipolazione di dati sanitari, il furto di informazioni, il sabotaggio di operazioni automatizzate sono concreti e non devono essere assolutamente sottovalutati. Inoltre, dati alterati che vengono trasmessi da un device sanitario possono portare a gravi danni per la salute del paziente, sia che questa manipolazione sia voluta o che essa sia frutto di un malfunzionamento tecnico. Per ovviare a ciò, sono state intraprese diverse soluzioni e innovazioni tecnologiche.

2.2.c Soluzioni pratiche

Nonostante vi siano dei rischi, i sistemi IoMT sono il risultato della combinazione tra affidabilità e sicurezza dei device normalmente usati in campo sanitario e risultano essere dinamici, scalabili e con una capacità generosa rispetto ai normali device IoT.

In questo paragrafo si parlerà di diverse soluzioni pratiche sviluppate negli anni nel campo dell’IoMT. Tutte queste applicazioni sono conformi a quanto detto finora e agiscono per migliorare soluzioni già esistenti o per svilupparne altre innovative.

Monitoraggio da remoto

Il beneficio maggiore del monitoraggio da remoto è quello di poter verificare le condizioni di salute del paziente in qualsiasi luogo accessibile via Internet. I dispositivi utilizzati per offrire questo tipo di servizi sono di diversa natura in base allo scopo del trattamento sanitario e possono raccogliere dati sulla pressione arteriosa, diabete, temperatura del corpo, stato dei polmoni, battito cardiaco, etc. Per molti dei dispositivi utilizzati negli anni passati il più grande vincolo era legato all’autonomia di questi macchinari, che fossero wearable o meno. Attualmente le batterie sono più durature, i device spendono meno energia per funzionare e i protocolli di comunicazione sono poco dispendiosi.

Il monitoraggio del battito cardiaco è considerata la funzione più importante che un sistema IoMT può svolgere. Il battito cardiaco fornisce subito informazioni importanti per lo stato di salute del paziente. Solitamente vengono impiegati elettrodi ECG impiantati nel petto del paziente per misurare i segnali fisiologici. Successivamente, il segnale viene digitalizzato, impacchettato e inviato al server centrale che elabora il dato. Viene usata una GUI (web application o mobile application) per poter permettere l'interazione del medico con i dati elaborati da questa misurazione.

Un'applicazione interessante è quella del monitoraggio delle persone anziane o affette da disturbi motori, in maniera tale da tenere traccia di eventuali cadute che possono causare gravi danni al paziente. Un insieme di sensori, tra i quali un giroscopio, accelerometro e sensore di vibrazione viene equipaggiato e fornito al paziente. Tutti questi sensori sono interfacciati con dei micro-controllori e una rete di processori si occupa di inviare i segnali ad un server centrale per stabilire una connessione real-time di allerta dei movimenti del paziente.

Discorso analogo si può fare per i disturbi neurologici e del cervello, che affliggono molti pazienti affetti da Alzheimer, epilessia, demenza, Parkinson, etc. Qui, il monitoraggio del cervello e del sistema nervoso può aiutare ad alleviare i dolori del paziente e a riscontrare nuove statistiche per la ricerca di una cura definitiva per queste malattie. I sensori utilizzati per questi scopi sono di ridotte dimensioni e possono essere a contatto con la pelle o innestati nel corpo del paziente. Vengono usati sensori EEG⁵, sensori sottopelle a risposta Galvanica, bio-sensori salivari, Kinect con gesture recognition, telecamere e molto altro ancora.

Miglioramento malattie croniche

Le malattie croniche sono patologie che non possono essere curate, ma che devono essere opportunamente controllate. Negli anni passati venivano affiancati ai pazienti persone abilitate a ciò oppure venivano fornite ai pazienti tutte le informazioni necessarie affinché si curassero da soli. Tuttavia, molte volte la malattia cronica riusciva a peggiorare e creare gravi danni fino ad arrivare addirittura alla morte del paziente. L'IoMT entra in soccorso a queste

⁵ L'elettroencefalogramma (**EEG**) è la registrazione dell'attività elettrica dell'encefalo. Sfrutta la differenza di potenziale elettrico tra due piccoli dischi di metallo (elettrodi) quando essi sono posti a contatto sulla cute sgrassata del cuoio capelluto.

categorie di malattie stabilendo un contatto costante e diretto con i pazienti. Così facendo, i sensori sono capaci di notificare immediatamente l'aggravarsi della malattia e agire con le giuste cure. In questo modo si evita altresì l'ospedalizzazione del paziente che può essere curato anche da casa, risparmiando in risorse ospedaliere e rendendo la degenza del paziente più confortevole.

Mobile health

Una parentesi particolare si può aprire per il ruolo fondamentale dei dispositivi mobile nella vita delle persone. Il cellulare è uno strumento sempre più potente e capace di effettuare operazioni differenti, pertanto viene anche usato in molte mansioni come dispositivo portatile e flessibile.

Il *mobile health*, o m-health, fa riferimento all'uso del device mobile per raccogliere i dati sanitari in tempo reale, eventualmente elaborarli ed inviarli a server collegati tramite Internet. I dati possono essere visualizzati da diversi gruppi di clienti, come personale sanitario, enti istituzionali e persino il paziente. L'm-health è usato dal medico per rendere più flessibile e a portata di mano la visualizzazione, diagnosi e fornitura di prestazioni al paziente.

I recenti sviluppi della nanotecnologia e dei sistemi di comunicazione così come gli sviluppi nelle misurazioni biomedicali e nei sensori wearable hanno incrementato le soluzioni in questo campo. La m-health sarà sempre più presente nella salute delle persone e chiave fondamentale per la nuova sanità digitale.

Tutti i dispositivi wearable, come smartwatches e smart t-shirt, possono essere collegati tramite NFC, Bluetooth o sistemi wireless al device mobile che funge da nodo di elaborazione, visualizzazione e trasmissione dei dati in real-time. Alcune applicazioni utilizzano il device mobile come vero e proprio trasmettitore di informazioni a server esterni, per renderli subito disponibili alla rete sanitaria, diversi device elaborano i dati e permettono la visualizzazione delle informazioni direttamente sul dispositivo stesso. Altri dispositivi, precedentemente non pensati per essere digitali, vengono riadattati per assolvere allo scopo di connettersi con la rete sanitaria.

I device per la mobile health sono pensati per lavorare per lunghi periodi, pertanto il consumo di energia delle batterie deve essere di bassa portata. I sensori, circuiti e processori utilizzati devono mostrare delle alte caratteristiche di efficienza energetica.

CAPITOLO 3

Analisi e progettazione del caso studio

Il caso studio proposto in questo elaborato riguarda la progettazione, l'analisi e l'integrazione di un dispositivo sanitario digitale con un sistema hub software aziendale installato in un dispositivo mobile Android.

Il dispositivo sanitario in questione è un teledermatoscopio digitale, utilizzato per offrire prestazioni sanitarie di controllo e mappatura dei nevi di un paziente. Il dispositivo è digitale, in quanto si può collegare tramite WiFi ad un'applicazione mobile Mic-Fi, scaricabile da Google Play Store. Tale applicazione è di proprietà della casa produttrice del dispositivo stesso (Italeco) e permette la visualizzazione a schermo di ciò che la lente del teledermatoscopio sta puntando.

Oltre a quella digitale non vi sono altre modalità per poter visualizzare ciò che la lente del teledermatoscopio sta puntando.

Il dispositivo garantisce una modalità innovativa e semplice per poter svolgere le visite specialistiche dermatologiche da remoto, in autonomia o in presenza di personale specializzato nel primo point of care (PoC) disponibile per il paziente.

La particolare utilità della telemedicina applicata a queste operazioni permette di effettuare prestazioni sanitarie in presidi sanitari privati e pubblici, farmacie, centri ospedalieri, case di cura private e non, centri prelievi e addirittura anche restando nella propria abitazione. Ovviamente tutte queste strutture appena citate devono disporre dell'applicazione mobile Ticuro installata nel proprio tablet o mobile Android e degli strumenti sanitari necessari.

L'applicazione mobile Android Ticuro offre diversi servizi di telemedicina e presenta molteplici dispositivi già perfettamente collegati e integrati. Nel caso studio in esame sarà analizzata l'integrazione del teledermatoscopio digitale e la corretta visualizzazione delle sue misure effettuate, procedimento simile a quello dell'applicazione Mic-Fi sopra descritta.

Questa soluzione è nata per far fronte alla necessità di molti pazienti residenti nelle zone remote delle colline e delle Alpi della Lombardia e successivamente si è sviluppata in altre realtà. La regione Lombardia ha vissuto, a partire dal 2015 con la *Legge Regionale n. 23* (11 agosto 2015), una vera e propria rivoluzione del sistema sanitario con l'attuazione di diversi programmi al servizio dei cittadini. La riforma ha voluto introdurre alcune innovazioni in campo sanitario, incrementando la digitalizzazione di molti processi. Si è cercato di coinvolgere molti centri specializzati e farmacie, per diversificare e ampliare il più possibile il raggio d'azione di queste politiche.

La motivazione principale per la realizzazione di tale applicazione era quella di sviluppare una soluzione software hub capace di gestire correttamente molteplici dispositivi sanitari con un unico device mobile. Per riuscire a completare questo obiettivo è necessario che gli strumenti dispongano di una modalità di connessione digitale da poter condividere con il device mobile. Per la maggior parte dei dispositivi la connessione è Bluetooth, mentre per il dispositivo oggetto del nostro caso studio è tramite la rete Wi-Fi. Oltre ad una connessione possibile tra i due dispositivi, gli stessi devono essere configurabili al fine di comunicare tra loro correttamente e permettere la trasmissione di dati ed esecuzione di attività annesse.

Il caso studio in esame si preoccupa delle tematiche di corretta connessione ed integrazione dello strumento sanitario e del device mobile (operazioni, queste, fondamentali per permettere l'esecuzione delle attività del teledermatoscopio digitale tramite l'applicazione mobile Ticuro). Il teledermatoscopio - una volta integrato correttamente - permette la visualizzazione di ciò che viene puntato dalla lente e la cattura del fotogramma presente in quell'istante. Tale cattura costituisce l'azione basilare per raccogliere il dato - in questo caso, un'immagine - che verrà successivamente elaborato ed inviato al server remoto dell'azienda o dell'ente curante dei dati sanitari.

Grazie al caso studio ora è possibile utilizzare il dermatoscopio digitale con l'applicazione Android permettendo così ad un paziente, ad un medico o al personale specializzato di eseguire la visita da remoto, senza che nessuno dei soggetti coinvolti debba spostarsi fisicamente. Questa integrazione facilita notevolmente la procedura di erogazione delle visite di controllo dei nevi e/o visite di mappatura dei nevi, indispensabili al fine di verificare la presenza di forme cancerogene cutanee o di problematiche della pelle. Inoltre, con questa procedura il paziente può eseguire, anche in autonomia o con le dovute direttive, un controllo

periodico, ove e se necessario, delle dimensioni, delle forme e del colore di ogni singolo nevo potenzialmente pericoloso.

Risulta facile constatare come questa operazione possa migliorare la reperibilità del servizio sanitario offerto ai pazienti che vivono in particolari zone remote, o impossibilitati a muoversi o costretti a situazioni di complicato svolgimento del servizio - come la pandemia da Covid-19 ha evidenziato -. Oltre agli evidenti benefici che tale integrazione ha portato al paziente, risultano altrettanto chiari i benefici per il personale medico-sanitario, ovvero il risparmio di risorse, tempo, energie, personale, maggiore sicurezza, migliore fornitura e precisione del servizio e migliore e più completa catalogazione dello storico del paziente grazie alla digitalizzazione dei dati.

3.1 Architettura generale

Il caso studio presenta un'architettura in linea con molti sistemi IoT visti precedentemente. Gli elementi principali che fanno parte di questo sistema sono:

- teledermatoscopio digitale;
- hub software mobile Ticuro;
- device mobile o tablet, con sistema operativo Android;
- database contenuto in un server esterno.

La *Fig.3.1* mostra in maniera dettagliata lo schema principale dell'architettura appena elencata. La struttura è simile a quella degli altri strumenti integrati con l'applicazione Ticuro, ma presenta alcune differenze per quanto riguarda il collegamento tra dispositivo e teledermatoscopio. La progettazione della struttura di questo caso studio si è basata su queste schematiche già ampiamente collaudate in termini di scalabilità, resistenza e affidabilità.

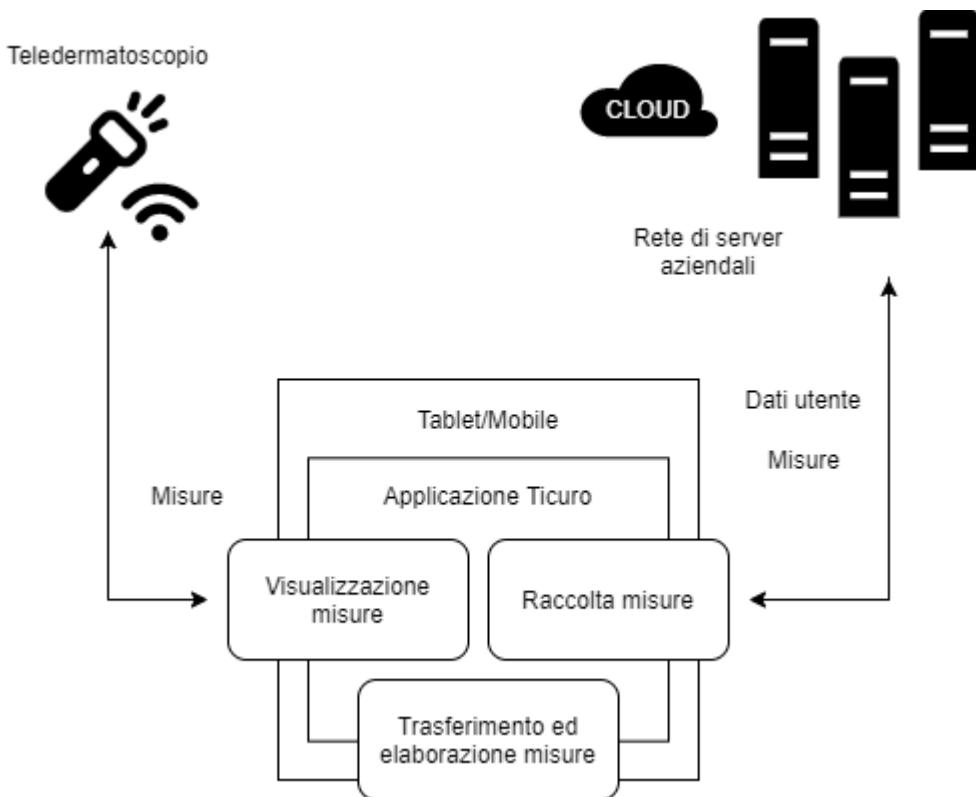


Figura 3.1. Architettura del servizio Ticuro applicato ad un device mobile Android e teledermatoscopio digitale.
In questa figura si può osservare chiaramente che i dati inviati (misure) sono bidirezionali e i dati relativi all'utente sono presenti solamente nel collegamento tra il device mobile e i server.

La struttura evidenzia le funzioni e servizi offerti da ogni entità. Ogni voce nello schema (ovviamente tranne l'hub software Ticuro) non è stata creata ad hoc per fare parte dell'applicazione Ticuro, quindi possono essere impiegate per altri scopi all'infuori delle operazioni sanitarie in esame. Verranno di seguito illustrati dettagliatamente tutti gli elementi appena visti nella Fig.3.1

Teledermatoscopio digitale

Il sistema prevede un teledermatoscopio digitale Italeco Mic-Fi con connettività wireless tramite Wi-Fi. Esso è un dispositivo medico di supporto alla diagnosi che permette di osservare a seconda del prodotto, i capillari, la pelle, i capelli, il cavo orale o le orecchie. Il dispositivo è dotato di una fonte di luce a LED incorporata ed è alimentato da batterie a litio.

Esso presenta tre pulsanti nella sommità, uno per l'accensione, uno per scattare l'immagine visualizzata in quel momento e uno per l'accensione/spegnimento del Wi-Fi. Le luci a LED indicano lo stato della carica della batteria, l'accensione del dispositivo (LED verde) e la connessione tramite Wi-Fi (LED blu).

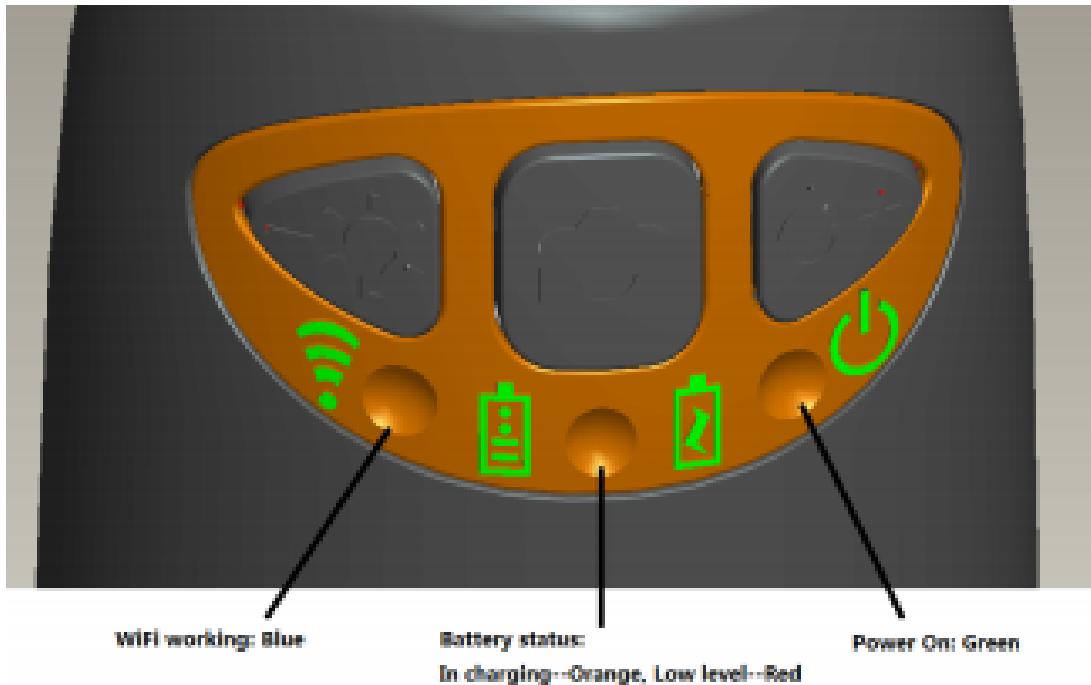


Figura 3.2. Immagine 3D digitale raffigurante i pulsanti di accensione, spegnimento e collegamento wireless nella sommità del dispositivo. Da sinistra verso destra, pulsante collegamento Wi-Fi, pulsante per la cattura dell'immagine e pulsante di accensione.

La parte finale presenta una lente, una cover di plastica trasparente (da 10 mm e 30 mm) e una fonte di illuminazione, che permettono di vedere in dettaglio le caratteristiche della cute del paziente. Vi è la possibilità di regolare l'ingrandimento della lente e la messa a fuoco tramite l'apposita ghiera di regolazione. Il dispositivo riesce a collegarsi al device mobile nel raggio permesso dalla connessione wireless. Il dispositivo è ricaricabile tramite una presa micro USB posta in sommità, non utilizzabile per il collegamento dati.



Figura 3.3. Immagine raffigurante il teledermatoscopio digitale e tutte le sue componenti.

La parte del dispositivo che deve entrare in contatto con il paziente è costituita dallo strumento ottico collegato alla camera (ad esempio l'endoscopio, il microscopio, il rettoscopio, etc.) che deve essere necessariamente sterilizzato dopo ogni uso secondo la pratica. Qualora altre parti del device Mic-Fi dovessero venire a contatto con il paziente devono anch'esse venire disinfectate. Si vuole anche ricordare che questo device è costruito con materiali biocompatibili.

In campo otoscopico il dispositivo medico utilizzato unitamente ad uno speculum per otoscopio, permette di svolgere esami visivi del condotto uditivo esterno e delle pareti del timpano attraverso l'analisi diretta delle foto otoscopiche o dei video digitali catturati dal dispositivo. Tale configurazione offre all'otorinolaringoiatra un prezioso metodo di base per migliorare l'accuratezza dell'analisi visiva.

In campo odontoiatrico il dispositivo utilizzato con l'apposito accessorio holder integrato per specchietto dentale (non fornito dalla Italeco) può essere utilizzato per svolgere esami visivi del cavo orale, attraverso l'analisi diretta in tempo reale sul monitor o successivamente

attraverso l’analisi dei video o delle immagini catturate. In tale configurazione il dispositivo facilita il dentista durante l’ispezione del cavo orale consentendo una miglior visuale ed una postura di lavoro più ergonomica.

Hub software Ticuro

Di seguito si spiegherà brevemente il ruolo dell’applicazione mobile Ticuro.

Con questa applicazione, che sarà disponibile su Google Play Store - e quindi solamente per sistemi operativi Android -, sarà possibile la visualizzazione delle misurazioni effettuate per ogni paziente, attraverso il collegamento agli opportuni dispositivi. Questo software funge sia da hub software, o da ‘middleware’, che da applicazione capace di elaborare le operazioni legate agli strumenti impiegati. Si intende quindi come ‘middleware’ la parte del software adibita al collegamento della parte applicativa con gli strumenti sanitari digitali.

Gli strumenti sanitari disponibili per effettuare, processare e visualizzare le misurazioni sono (oltre al teledermatoscopio in esame):

- termometro digitale;
- sfigmomanometro;
- pulsossimetro;
- ECG;
- FitBit per pulsazioni cardiache durante attività sportive;
- bilancia smart.

Tutti questi strumenti sono perfettamente integrati con l’applicazione mobile Android e servono per svolgere misurazioni di rilevamento della temperatura corporea, peso del paziente, pressione sanguigna, battito cardiaco e molto altro ancora.

Le misurazioni raccolte cambiano in base allo strumento impiegato e pertanto anche la portata del dato digitale sarà differente. Per esempio, nel caso del termometro digitale la misurazione importante è quella della temperatura corporea, immagazzinata in una semplice stringa o un intero. Invece, per quanto riguarda il teledermatoscopio, la misurazione raccolta sarà un’immagine del nevo in esame (nel caso di esami dermatoscopici), pertanto verrà trattata in maniera differente. Sono presenti anche misure soggettive, utili per aiutare il

medico o il personale sanitario a comprendere meglio lo stato di salute fisico o psicofisico del paziente. Esse possono essere inserite lato paziente o anche lato medico.

Dispositivo mobile Android

I dispositivi mobile devono avere sistema operativo Android, visto che l'applicazione è pensata solo per questa tipologia di sistema. Inoltre, molte librerie e tecnologie che sono state utilizzate sono dipendenti da questo sistema operativo. Il sistema operativo necessario per poter funzionare correttamente deve essere pari o successivo alla versione *Android Q* (quindi *APK*⁶ 29).

Server aziendale e cloud

Un elemento importante in questa architettura è quello del database, capace di contenere tutte le informazioni personali degli utenti, che siano medici o pazienti, tutti dispositivi associati ad ogni utente, tutte le informazioni dei device e tutte le misurazioni effettuate. Le due aree dove risiede il database sono la rete di server aziendali e il cloud, intercambiabili tra loro per offrire stabilità e sicurezza. Si rendono necessarie entrambe perché alcuni degli enti sanitari coinvolti possiedono server propri e non desiderano utilizzare il cloud.

La rete di server è di proprietà dell'azienda e, a seconda dell'ente, in collaborazione con la regione Lombardia. Questi server permettono di elaborare, immagazzinare e comunicare con i device mobile e/o tablet tutte le informazioni e i dati raccolti dagli strumenti sanitari. L'API del database aziendale è stata oggetto di studio approfondito per capire come inviare il dato e come poterlo ricevere correttamente, aspetto che verrà analizzato meglio successivamente.

Per permettere una scalabilità maggiore e una dinamicità aumentata per la grande mole di dati che si va a trattare, sia per l'applicazione mobile Ticuro, che per l'applicazione web Ticuro, si fa un largo uso anche del cloud computing.

⁶ L'estensione *APK* indica un file Android Package. Questo formato di file, una variante del formato *JAR*, è utilizzato per la distribuzione e l'installazione di componenti in dotazione sulla piattaforma per dispositivi mobili Android.

3.2 Fasi principali del caso studio

L'applicazione Android Ticuro presenta diverse funzionalità di telemedicina, con svariati strumenti coinvolti. Il primo passo per accedere a queste funzionalità è attraverso il login dell'utente, che può essere un paziente o un medico. Il medico visualizzerà la lista dei suoi pazienti, il paziente d'altro canto potrà accedere direttamente alla visualizzazione dei dispositivi associati alle prestazioni svolte. La pagina paziente è la stessa per entrambi gli utenti e mostra le informazioni anagrafiche e i dispositivi ad esso associati; selezionando un dispositivo sarà possibile visualizzare tutte le misurazioni effettuate precedentemente con quel device e richiedere nuove misurazioni tramite l'applicazione mobile.

Si andrà a vedere come viene effettuata una nuova misurazione utilizzando il teledermatoscopio digitale. Questa operazione è la funzione principale dell'integrazione del teledermatoscopio digitale ed è di fatto l'argomento principale di tutto l'elaborato. Le altre operazioni, utili all'integrazione del device alla stregua degli altri strumenti già integrati, sono anch'esse essenziali per offrire una qualità del servizio efficiente e una user experience perfetta, ma, tuttavia, si sono rivelate di facile progettazione e quindi non possono essere considerate di pari importanza come l'operazione di aggiunta di una nuova misurazione. Tali operazioni 'secondarie' verranno trattate dettagliatamente nel *Capitolo 3* e nel *Capitolo 4*.

L'operazione di aggiunta di una nuova misurazione è possibile eseguirla tramite l'apposito pulsante di aggiunta, presente nella schermata di visualizzazione delle misure di un dispositivo associato al paziente. Una volta avviata la richiesta di aggiunta di nuova misurazione, il device mobile cerca di collegarsi al teledermatoscopio digitale e di instaurare una connessione per poter visualizzare il contenuto del puntamento della lente dermatoscopica. Passiamo così ad illustrare la prima fase dell'operazione, ovvero la procedura di collegamento tra il device mobile e il teledermatoscopio.

3.2.a Collegamento device mobile e teledermatoscopio

A differenza di tutti i dispositivi già integrati con l'applicazione mobile, che si collegano tramite Bluetooth, il collegamento tra l'applicazione mobile e il teledermatoscopio avviene tramite connessione Wi-Fi.

La particolarità di questa connessione è che il dispositivo mobile non riceve dati mobili e non risulta connesso ad Internet. Le normali funzionalità di ricezione ed invio dei dati non sono possibili, quindi la condivisione dei dati con il database aziendale non può avvenire. In questa fase del collegamento il dispositivo mobile risulta offline e non può elaborare o immagazzinare informazioni in remoto, ma solamente in locale. Durante la fase di analisi e progettazione del caso studio questa limitazione è stata presa in considerazione e ha reso complicate le trasmissioni. Tuttavia, le problematiche relative alla mancanza di connessione ad Internet sono state ritenute superabili vista la breve esposizione a questo processo.

La *Fig. 3.4* permette di visualizzare i task principali utili per questa fase di collegamento tra i due dispositivi, necessaria per poter utilizzare il teledermatoscopio nei successivi passaggi.

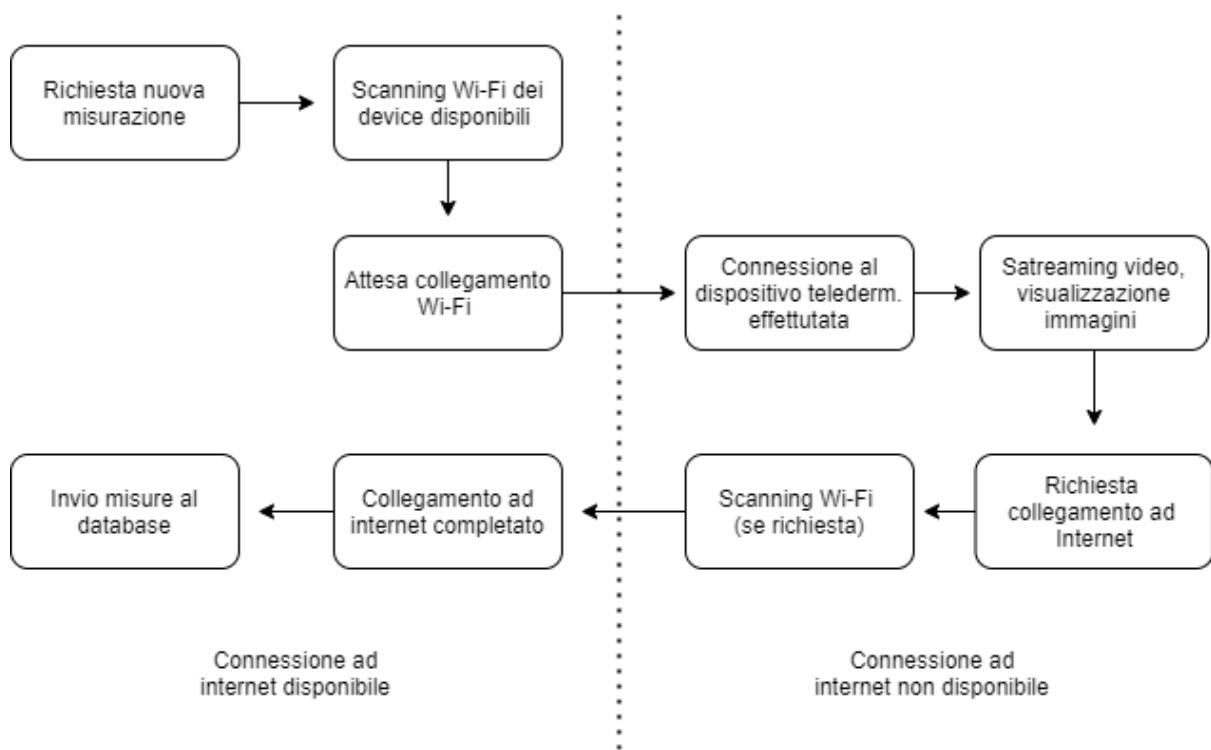


Figura 3.4. Procedimento del collegamento tramite WiFi dei due device. Quella illustrata è la prima fase per l'aggiunta di una nuova misurazione.

Come si può vedere dalla *Fig.3.4*, successivamente alla richiesta di una nuova misurazione, viene avviato lo scanning per ricercare i device vicini tramite Wi-Fi. La procedura può

richiedere del tempo e necessita dell'approvazione da parte dell'utente per far sì che la connessione possa essere completata.

Dopo che l'utente ha svolto le operazioni richieste nell'utilizzo del dermatoscopio, approfondite nel *Capitolo 4*, viene avviata una nuova richiesta di collegamento alla rete Internet per permettere l'invio delle misurazioni al database online. Se viene scelto di connettersi tramite Wi-Fi verrà effettuato nuovamente uno scanning, che sarà più veloce del precedente.

Una volta completata la connessione alla rete Wi-Fi o alla rete mobile, sarà possibile inviare le misure al database online. Dopo questo passaggio, l'elaborazione di una nuova misurazione è terminata.

3.2.b Streaming video e cattura immagine

In questo paragrafo verrà analizzata la fase di ‘streaming video’, così chiamata per identificare il processo nel quale è possibile visualizzare, da applicazione mobile, il contenuto dello streaming video che viene trasmesso dal teledermatoscopio. Più precisamente, viene visualizzato il contenuto puntato dalla lente del dispositivo, con il dovuto ingrandimento e messa a fuoco dell’immagine. Come si può vedere nella *Fig.3.3* è presente anche una fonte di illuminazione per migliorare la vista offerta dal dispositivo.

Principalmente lo streaming video avviene con un frame rate alto, che dipende molto dalla connessione Wi-Fi instaurata precedentemente. Più la connessione risulta stabile, più verranno evitati effetti di ritardo del segnale e smoothness delle immagini. Le immagini presentano una risoluzione di 320 x 240, 680 x 480 e 1280 x 1024 pixel, in formato YUV e MJPEG.

La trasmissione dello streaming video avviene grazie al collegamento dell'applicazione mobile all'indirizzo HTTP della rete instaurata con il teledermatoscopio. A tale indirizzo è visualizzabile una pagina HTML che permette la visualizzazione e gestione del dermatoscopio lato browser. Verrà utilizzata questa proprietà per consentire la visualizzazione da remoto dello streaming video. Tutti questi aspetti saranno trattati tecnicamente nel *Capitolo 4*.

Se non si registrano problemi di connessione, questo processo permette la visualizzazione real-time del puntamento della lente del teledermatoscopio. Viene offerta anche la possibilità di ‘catturare’ il singolo frame, sia tramite un apposito bottone nell’applicazione mobile che tramite il pulsante fisico del dispositivo.

Una volta catturata l’immagine, essa può essere visualizzata nell’apposita galleria immagini insieme a tutte le altre misurazioni catturate in questo momento. Successivamente, una volta conclusa la procedura, verranno inviate, tutte in blocco nel passaggio successivo, quello di trasmissione dei dati al database online.

3.2.c Trasmissione dati al database aziendale

Per partire con questa fase il dispositivo mobile deve essere collegato alla rete Internet, che sia via Wi-Fi o via dati mobili, non ha importanza.

La richiesta di connessione ad una rete Wi-Fi avviene nelle stesse modalità dell’instaurazione di una connessione con il teledermatoscopio, come mostrato nella *Fig.3.4*, anche se la user experience risulterà differente (vedi *Capitolo 4*, sezione *4.5*).

Successivamente, se la connessione ad Internet lo permette, verrà inviata una richiesta POST al server online dell’azienda, contenente il database nel quale verranno immagazzinati i dati. Il pacchetto di dati dovrà rispettare un particolare formato per poter essere correttamente inviato e non risultare alterato in alcun modo. All’interno del pacchetto sono presenti tutte le misurazioni effettuate dal teledermatoscopio e tutte le informazioni relative ad ogni misurazione (data e altre misure tecniche). I dettagli tecnici dei pacchetti di dati inviati verranno analizzati più in dettaglio nel *Capitolo 4*.

Una volta terminato l’invio delle misurazioni verrà notificato tramite dialog Android il corretto invio delle misure o verrà notificato un errore in caso di qualsiasi malfunzionamento. Nel caso vi siano stati problemi, le misure verranno preventivamente salvate a parte e accessibili tramite una pagina dell’applicazione. Grazie a questa funzione si potrà tentare di inviarle nuovamente quando la connessione lo permette o quando sarà risolto il problema.

Alla fine di entrambe le casistiche l’utente verrà redirezionato verso la schermata iniziale della lista delle misurazioni, chiamata anche *pagina paziente*. Qui potrà visualizzare la lista

delle misure appena effettuate, nel caso siano state inviate correttamente, o decidere di usare ancora il teledermatoscopio per aggiungere nuove misurazioni.

3.2.d Corretta visualizzazione delle misure effettuate

Oltre alle procedure appena citate è possibile anche visualizzare le misure effettuate. La visualizzazione si distingue in due metodologie differenti:

- modalità offline (durante lo streaming video);
- modalità online.

La prima avviene durante l'utilizzo del dermatoscopio (nella fase citata in 3.2.b) e viene offerta tramite una galleria immagini simile a quella dell'applicazione fotocamera Android, capace di mostrare tutte le misurazioni appena effettuate, con anche la possibilità di eliminare la misurazione.

La seconda opzione invece offre la visualizzazione delle misure nella *pagina paziente* e necessita di una connessione internet per poter richiedere al database del server la misurazione effettuata. L'utente che visualizza la suddetta pagina può visionare la lista delle misurazioni effettuate in precedenza, identificate dalla data di cattura dell'immagine. La lista è ordinata in ordine decrescente.

Questa funzione offre un servizio essenziale per poter valutare la validità delle misurazioni effettuate, permettendo all'utente utilizzatore, chiunque esso sia, di scegliere le immagini migliori in termini di posizione, nitidezza, colore e luce.

CAPITOLO 4

Implementazione del caso studio

Nel presente capitolo vengono riportati in maniera dettagliata tutti i procedimenti necessari per comprendere le specifiche tecniche e i passaggi dell'integrazione del teledermatoscopio digitale con l'applicazione software mobile Ticuro.

Come ampiamente spiegato nel precedente *Capitolo 3*, l'applicazione mobile Ticuro presenta già alcune integrazioni di strumenti sanitari e una struttura di elaborazione, immagazzinamento e invio dei dati. Una delle maggiori difficoltà tecniche di tutto questo processo è stata quella di fondere perfettamente le funzionalità offerte dal teledermatoscopio con le altre già presenti. Oltre a questo aspetto, si è reso necessario anche analizzare e progettare correttamente le nuove funzionalità da inserire nell'integrazione. In questo capitolo si espongono le motivazioni di determinate scelte progettuali e le successive implementazioni, con alcune introduzioni alle librerie tecniche impiegate e frammenti di codice, utili a spiegare meglio il lavoro svolto.

Il linguaggio di programmazione scelto è *Kotlin*, progettato per sviluppare applicazioni mobile Android e offrire le più ampie funzionalità possibili. Kotlin è un linguaggio di programmazione general purpose, multi-paradigma, open source sviluppato dall'azienda di software JetBrains. Tale linguaggio di programmazione si basa sulla JVM (Java Virtual Machine) ed è ispirato ad altri linguaggi, tra i quali Scala e lo stesso Java, mentre ulteriori spunti sintattici sono stati presi da linguaggi classici, come il Pascal e moderni come Go o F#. Kotlin è un linguaggio a tipizzazione statica e forte⁷, ed è particolarmente orientato verso la programmazione a oggetti permettendo, peraltro, un pieno uso dell'approccio funzionale. La

⁷ In programmazione, la **tipizzazione statica** è una particolare politica di tipizzazione, ovvero di assegnazione di tipi alle variabili. Mentre, l'espressione **tipizzazione forte** può essere usata per caratterizzare il tipo di regole che un determinato linguaggio di programmazione impone, a livello sintattico o semantico, circa la tipizzazione dei dati e all'uso dei dati in relazione al loro tipo. L'opposto della **tipizzazione forte** è la tipizzazione debole [Wiki1].

particolarità di Kotlin è che sia un linguaggio strutturato per interoperare con la piattaforma Java Runtime Environment come target principale, il che garantisce il funzionamento delle applicazioni in ogni ambiente che accetti la JVM (Java Virtual Machine), ivi compreso Android, ma il compilatore è in grado anche di emettere codice JavaScript. È inoltre presente la possibilità di compilare il linguaggio Kotlin direttamente in linguaggio macchina tramite il compilatore Kotlin per l'ambiente di riferimento.

Come strumento di programmazione è stato utilizzato Android Studio, che fornisce un'abile integrazione del linguaggio Kotlin e una facile scrittura del codice. Tutte le caratteristiche tecniche verranno affrontate dettagliatamente in seguito.

Le assunzioni progettuali che sono richieste per questa applicazione sono:

- l'acquisizione e la rilevazione di misure tramite teledermatoscopio devono essere lineari con le integrazioni effettuate per gli altri dispositivi;
- le pagine dell'applicazione ed il flusso dati devono essere visibili sia lato paziente che lato medico;
- l'accoppiamento del dispositivo avviene associando il tablet o il telefono cellulare con uno specifico teledermatoscopio, nel caso ve ne sia più di uno;
- una connessione con il teledermatoscopio e streaming video soddisfacente;
- l'invio della misurazione al database online;
- nessuna modifica della qualità dell'immagine;
- le prestazioni computazionali del device mobile e server minime.

Questi vincoli progettuali hanno consentito di elaborare al meglio la struttura di codice capace di interagire perfettamente con tutta l'applicazione. Inoltre, sono serviti come base strutturale per completare al meglio l'integrazione e rispettare tutti i vincoli progettuali imposti da una corretta passi di progettazione del software.

Il presente capitolo sarà strutturato come di seguito:

- nel primo paragrafo si cercherà di analizzare l'integrazione iniziale, necessaria per comprendere la pipeline dei processi svolti dall'applicazione, in maniera da poter pianificare al meglio cosa e come fare per interagire con l'applicazione esistente;
- nel secondo paragrafo verrà esaminata in dettaglio la procedura di collegamento tra teledermatoscopio e device mobile;

- nel terzo paragrafo si illustra la funzionalità dello streaming video e della cattura delle misurazioni effettuate, con un accenno alla galleria immagini; infine
- nel quarto paragrafo verrà spiegata la trasmissione dei dati al database delle misurazioni e le caratteristiche tecniche dei pacchetti inviati;
- nel quinto paragrafo verrà mostrata la Graphic User Interface dei passaggi dell'integrazione del teledermatoscopio con l'applicazione mobile Ticuro.

Per semplicità e comodità di linguaggio, i termini “teledermatoscopio” e “dermatoscopio” fanno riferimento allo stesso strumento, così come la dicitura “applicazione mobile” è sinonimo di “hub software”.

A tal proposito, sarà citato il nome dei fragment e componenti Android con la sintassi standard del linguaggio di programmazione Kotlin, uguale a quella adottata per il linguaggio Java.

4.1 Integrazione iniziale del teledermatoscopio

Per raggiungere lo scopo dell'elaborato bisogna che l'integrazione del teledermatoscopio non vada a modificare le operazioni svolte per gli altri dispositivi. Di fatto, per tutta l'esecuzione del progetto si è cercato di mantenere le diciture e la struttura degli elementi speculare a quella degli altri strumenti.

In questo modo si mantiene il principio di resilienza ai guasti del software, quello dell'affidabilità, nonché quello di modulazione del codice. Tutte queste proprietà sono importanti perché l'applicazione possa mantenere una corretta user experience e una capacità di elaborazione perfetta. Il principio più importante è la resilienza ai guasti; trattandosi di un'applicazione a scopo sanitario deve, infatti, funzionare efficacemente in ogni situazione e concedere un margine di errore minimo.

Prima di entrare nel dettaglio nelle difficoltà riscontrate all'inizio dell'elaborazione è doveroso approfondire alcuni elementi del linguaggio Kotlin, utili per comprendere meglio i processi successivi [KTL].

4.1.a Introduzione agli elementi del linguaggio Kotlin

L'*Activity* è un elemento capace di eseguire un'operazione specifica e può interagire con l'utente. La classe *Activity* [A1] si preoccupa di creare una finestra dove si può posizionare la UI (User Interface), grazie alla funzione *setContentView()*. Solitamente le *Activity* sono presentate come una singola finestra, ma possono essere impiegate anche integrate in altre finestre o in modalità multi-window. Per definizione ogni attività deve avere la propria classe *Activity* ed implementare tutte le funzioni ad essa correlate. Nel caso in esame l'*Activity* impiegata aveva il nome di *DermaActivity*.

Il *Fragment* è un elemento fondamentale per tutte le operazioni in Kotlin e rappresenta una parte riutilizzabile dell'applicazione [A2]. Esso gestisce e definisce il layout, gli eventi di input e presenta un proprio ciclo di vita. Un *Fragment* non può esistere singolarmente, ma deve potersi collegare a qualche altro *Fragment* o ad un *Activity*. Serve per introdurre la modularità e riusabilità del codice, aiutando a dividere la UI in diverse parti. Le *Activity* sono il luogo ideale per inserire elementi globali attorno all'interfaccia utente dell'app, come un navigation bar. Al contrario, i *Fragment* sono più adatti per definire e gestire l'interfaccia utente di una singola schermata o parte di una schermata. L'*Activity* è quindi responsabile della visualizzazione della corretta interfaccia utente di navigazione mentre il *Fragment* visualizza il contenuto con il layout corretto. La suddivisione della UI in diversi *Fragment* semplifica la modifica dell'*Activity* in fase di esecuzione. Nel prosieguo del capitolo vi saranno numerosi riferimenti ai *Fragment*.

Il *ViewModel* è una classe progettata per immagazzinare e gestire tutti i dati relativi ai controller UI, in maniera tale da essere lineari con il ciclo di vita di un *Fragment* o una *Activity* [A3]. Permette ai dati di ‘sopravvivere’ ai cambiamenti di configurazione, come la rotazione dello schermo.

Una *Coroutine* è un thread lightweight che permette di produrre processi asincroni [A4]. Vengono avviate con il comando *launch()* e hanno sempre un contenuto, identificato dal campo *CoroutineScope*. Servono per eseguire task parallelamente al thread principale (*main thread*) in maniera tale da prevenire problemi di sovrapposizione dei processi, che causerebbero malfunzionamenti.

Un Intent è una descrizione astratta di un'operazione che deve essere eseguita [A5]. Il suo utilizzo più significativo è nel lancio di un *Activity*, dove può essere pensato come un

collante tra le diverse Activity. Fondamentalmente è una struttura dati passiva che contiene una descrizione astratta di un'azione da eseguire. L'Intent ACTION_VIEW serve per mostrare all'utente un dato di qualsiasi tipologia. Ad esempio, se utilizzato su una voce dei contatti, visualizzerà il nome; se usato su un URI, farà apparire una finestra di composizione piena delle informazioni fornite dall'URI.

Retrofit è una libreria usata per creare classi client HTTP sicure per Android e per Java [R1]. Essa consente di accedere ai servizi REST semplicemente decorando con opportune annotazioni i metodi delle interfacce che rappresentano i servizi da utilizzare.

Nella prassi, su Android un layout viene progettato in XML, in una modalità che ricorda molto l'uso di HTML per le pagine web. Ogni fragment visualizzabile come pagina nella schermata dell'applicazione mobile presenta un file XML ad esso collegato che definisce il layout, i colori, il font, le immagini e le animazioni presenti e molto altro ancora. Tutto questo definisce come il fragment venga visualizzato lato utente.

Fragment wizard

Il *fragment wizard* è una classe che gestisce le attività legate ad una tipologia di fragment particolare; in questo caso viene realizzato un wizard diverso per ogni tipologia di fragment connesso ad uno strumento.

Le tipologie concesse sono:

- normal wizard (contenuto in *NormalWizardPageFragment*);
- last wizard (contenuto in *LastWizardPageFragment*);
- dermatoscope wizard (contenuto in *DermaWizardPageFragment*).

Visto che tutti gli altri dispositivi si connettono con il device mobile tramite Bluetooth non sono necessari altri fragment wizard oltre al *normal* ed al *last*, tranne che per il caso di collegamento wireless del teledermatoscopio per cui si è resa necessaria la creazione di un terzo tipo, il *dermatoscope wizard*.

Queste tre tipologie possono essere combinate tra loro in differenti sequenze e in differenti combinazioni, anche ripetitive tra loro. Per esempio, la bilancia presenta solamente due tipologie di pagine (normal e last), mentre un altro strumento come lo sfigmomanometro ne

presenta tre (normal, normal e last). Il teledermatoscopio ne presenta tre: normal, dermatoscope e last.

Ognuno di questi fragment wizard esegue delle funzioni comuni per tutti i dispositivi, cambiando solamente il layout e la grafica delle icone e scritte per ogni strumento coinvolto. Le normal wizard si occupano delle normali schermate di layout e utilizzo degli strumenti, mentre il last wizard si occupa della pagina finale dove è possibile inviare le misurazioni al server remoto. Discorso differente si deve fare per la dermatoscope wizard, che ospita tutte le funzioni necessarie all'utilizzo del teledermatoscopio, che saranno approfondite in questo capitolo.

La scelta del wizard viene effettuata grazie ad una classe chiamata *PagerAdapter* che si occupa di mappare per ogni strumento il numero e la tipologia di wizard da utilizzare. Questa classe fa riferimento ad un file XML contenente tutte le strutture delle pagine per ogni strumento sanitario.

4.1.b Approccio iniziale

Nella fase iniziale, il codice elaborato per poter integrare correttamente l'applicazione, è stato sviluppato in una sola Activity Kotlin, chiamata *DermaActivity*. Questo procedimento si è reso necessario per facilitare il primo utilizzo e la comprensione delle funzionalità da introdurre, senza andare ad integrare direttamente tutto il progetto con l'applicazione originaria. Lo scopo principale era quello di acquisire familiarità e dimestichezza con il linguaggio Kotlin e con la pipeline di elaborazione. Pertanto, è stato inserito un bypass per i processi di controllo dello strumento da considerare per un paziente e uno per l'invio dei dati al database.

In questo modo si è preferito eseguire le operazioni principali in un unico grande task e successivamente dividerle nei differenti servizi allo scopo di integrare perfettamente tutti nuovi componenti con quelli già presenti. Questo metodo è risultato utile per comprendere al meglio lo svolgimento di ogni singolo processo e sperimentare ogni singola possibilità durante l'esecuzione di ogni singolo task. Inoltre, la visione totale del processo sotto una sola Activity è utile per capire il posizionamento del processo stesso al pari degli altri nell'applicazione e comprendere al meglio il funzionamento generale.

Successivamente, quando le operazioni sono risultate più chiare e stabili, dal punto di vista funzionale, è stato prontamente integrato il codice del progetto con quello originale, eliminando tutti i bypass creati. Le differenti funzioni presenti in *DermaActivity* sono state divise in più fragment e servizi, in modo tale da poter interagire perfettamente con gli altri servizi simili già esistenti.

La divisione di tutti i tasks presenti nel monolite appena enunciato è stata oggetto di progettazione e studio preliminare al fine di permettere una perfetta integrazione con il codice già esistente. Questo procedimento ha permesso di testare la validità e la correttezza in fase di esecuzione nel contesto generale dell'applicazione.

4.1.c Pipeline dei processi

In questo paragrafo si vedrà lo schema dei vari processi utilizzati per l'esecuzione delle operazioni richieste dal teledermatoscopio digitale tramite l'applicazione mobile Android.

Come spiegato nel paragrafo precedente, ognuno di questi processi è stato studiato singolarmente prima di procedere con la fusione totale di tutte le entità coinvolte. Pertanto, ognuna di queste funzioni è stata oggetto di studio approfondito per comprendere al meglio la tecnologia e metodologie da utilizzare.

Le fasi principali che costituiscono questa pipeline sono:

- fase iniziale, o di inizializzazione;
- fase di collegamento;
- fase di streaming video;
- fase di invio delle misurazioni.

Risulta importante precisare che ognuno di questi passaggi è fondamentale per la procedura di aggiunta di una nuova misurazione, mentre per la procedura di visualizzazione di una singola immagine e quella di invio delle misure non inviate è presente solamente la fase iniziale.

Nella *Fig.4.1* si può vedere chiaramente il grafico riassuntivo di tutti gli elementi necessari perché le operazioni vengano svolte correttamente.

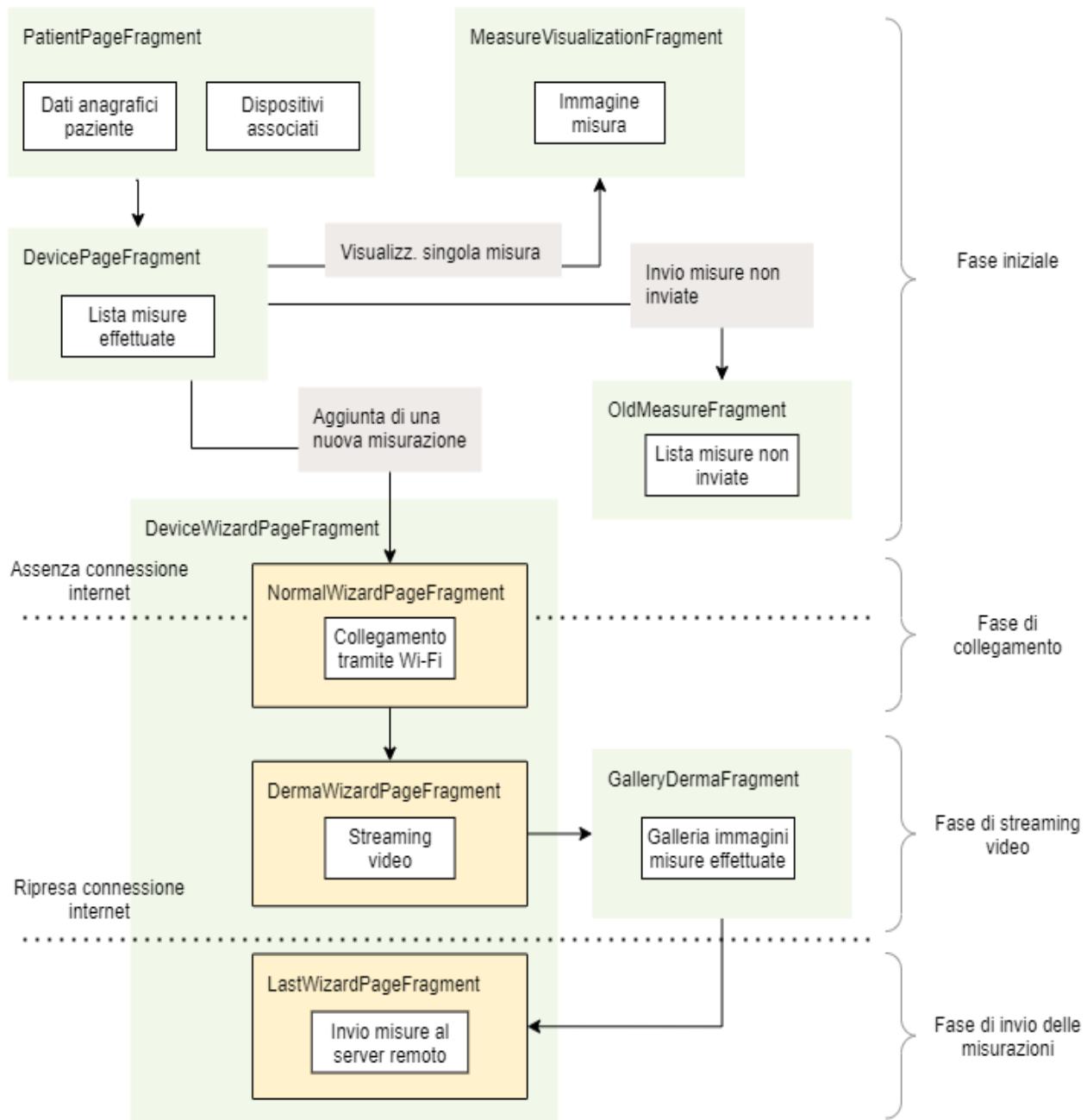


Figura 4.1. Struttura generale dei processi dell'integrazione. Sono indicate tutte le fasi inerenti l'utilizzo del teledermatoscopio digitale e i fragment coinvolti.

Sono esposti diversi elementi, che saranno spiegati in dettaglio nelle successive sezioni del capitolo. Con il colore grigio sono indicate le azioni che un utente può effettuare una volta posizionato nella pagina del dispositivo sanitario associato al paziente. In verde sono indicati

i fragment principali e in giallo i fragment wizard (tutti tranne *DermaWizardPageFragment*, che risulta essere la classe padre degli altri fragment wizard).

Per semplicità di esposizione il fragment di partenza dell'applicazione mobile è quello che identifica un singolo paziente, ovvero il *PatientPageFragment*. In tale fragment sono presenti i dati anagrafici del paziente e la lista dei suoi dispositivi sanitari ad esso associati. In tale posizione l'utente dovrà selezionare la voce 'Dermatoscopio Mic-Fi Italeco'.

Dopo la selezione del dermatoscopio sarà possibile visualizzare una lista delle misurazioni effettuate precedentemente per quel paziente nel seguente formato:

Dettaglio misura < Data >

Selezionando una singola misura si avvia la procedura di visualizzazione dell'immagine della misurazione tramite galleria Android, spiegata nel paragrafo 4.1.b *Visualizzazione singola misura*. Vi è la possibilità di filtrare per data di inizio e di fine delle misure, in maniera tale da rendere agevole la scelta delle misurazioni effettuate durante un determinato periodo di tempo.

Nella parte iniziale del fragment *DevicePageFragment* è presente il nome del paziente, l'opzione 'Aggiunta di una nuova misurazione' (identificata con un button Android +) e l'opzione di visualizzazione delle misurazioni non ancora inviate.

Selezionando il pulsante di aggiunta di nuove misurazioni si procederà con il collegamento tramite Wi-Fi con il teledermatoscopio, spiegato dettagliatamente nella sezione 4.2 *Collegamento device mobile e teledermatoscopio*. In seguito si procederà con tutte le operazioni esaminate nel presente capitolo.

Selezionando invece il button delle misure non ancora inviate si procederà ad un nuovo fragment chiamato *OldMeasureFragment*, spiegato nel paragrafo 4.4.c *Misure non inviate*.

4.1.d Visualizzazione singola misura

Questa funzione offre la possibilità di visualizzare le immagini delle misurazioni precedentemente effettuate, in maniera tale da poter verificare immediatamente la qualità di una misura. Nella Fig.4.2 si possono osservare i passaggi dettagliati di questo procedimento.

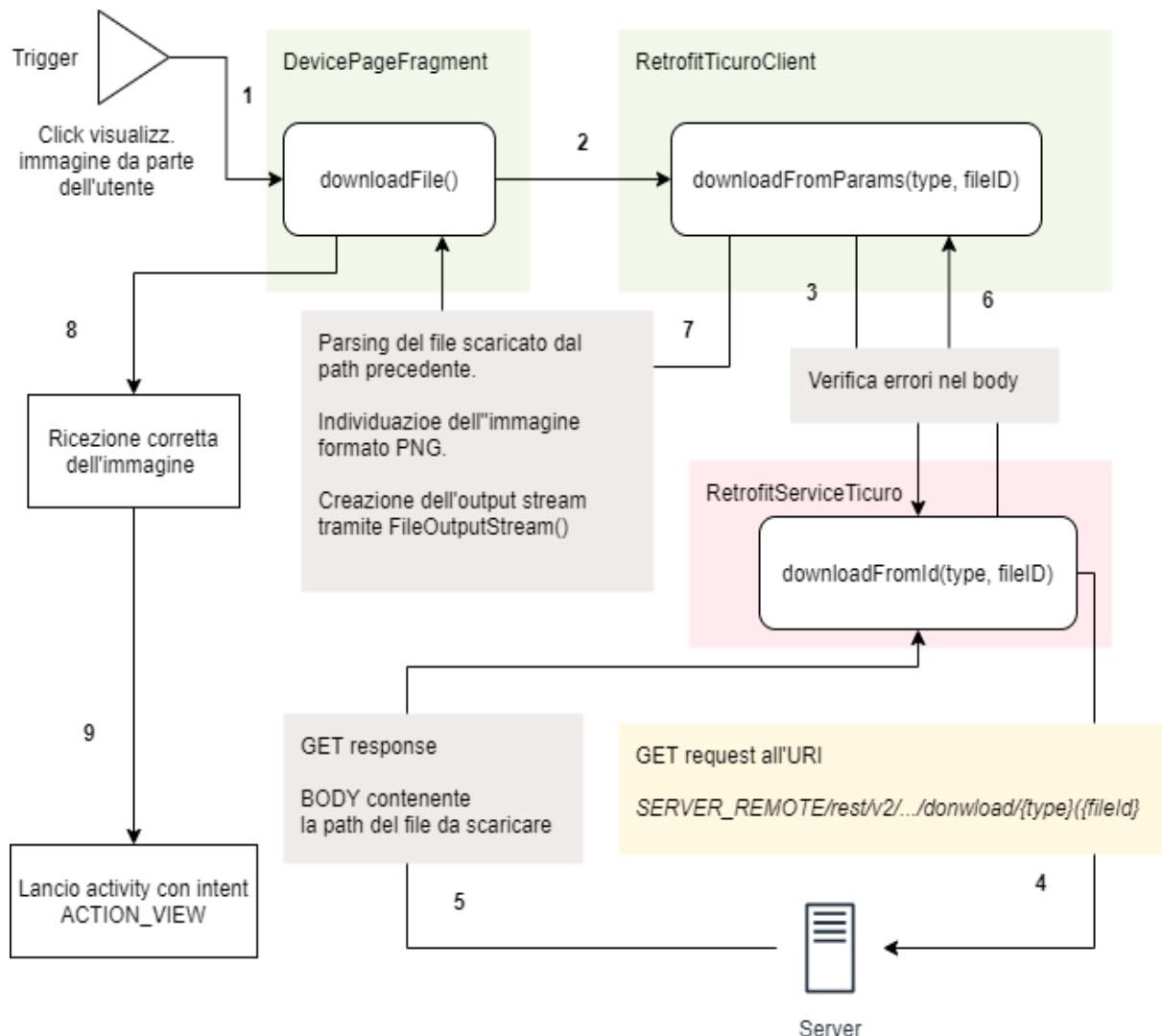


Figura 4.2. Richiesta e invio della misura presente nel database remoto, con passaggi numerati in ordine cronologico di esecuzione. I fragmenti presenti risultano colorati di verde (anche se il servizio `RetrofitServiceTicuro` è anch'esso un fragment, ma viene colorato diversamente perché è un servizio Retrofit).

Per questa operazione è necessario disporre di una connessione ad Internet, in quanto la misurazione viene richiesta al server remoto tramite una chiamata GET. La chiamata in questione viene lanciata dalla funzione `downloadFile()` (1) presente nel fragment `DevicePageFragment`.

Quest'ultima invoca una serie di funzioni che specificano il tipo del dispositivo usato (in questo caso il dermatoscopio) e l'identificatore del file da scaricare (2, 3). Viene fatta una chiamata GET all'URI specificato (4) per il server online che contiene il database con le

misure precedentemente effettuate. Per semplificazione, specifichiamo l'URI di questo server come *SERVER_REMOTE*.

L'URI della chiamata GET è:

SERVER_REMOTE/rest/v2/.... /download/{type}/{idFile}

(dove *type* indica il tipo del dispositivo e *idFile* l'identificativo univoco della misura).

Questa operazione ci permette di prelevare con una richiesta Retrofit la misura desiderata dal database online (5, 6, 7), che successivamente viene sottoposta a parsing per identificare ogni voce dell'elemento ritornato come risposta.

Con la procedura di parsing (7) si può facilmente identificare il path del file dell'immagine e successivamente scaricarlo come file in byte tramite il costrutto Kotlin *FileOutputStream()*, che permette la scrittura dei bytes del file selezionato al seguente path in uno stream di output. Questi insiemi di bytes andranno poi a costituire l'immagine della misura.

In seguito, se non vi sono stati errori, verrà richiesta l'apertura tramite la galleria immagini di Android grazie alla esecuzione di un'activity con un intent specifico (*ACTION_VIEW*) (9), per la visualizzazione immagini in formato PNG.

Nella prossima sezione di capitolo si andrà a spiegare dettagliatamente come viene eseguito il collegamento wireless tra i due dispositivi finora coinvolti. Tale attività è resa necessaria per la procedura di aggiunta di una nuova operazione e non per le altre situazioni esaminate nella *Fig.3.5.*

4.2 Collegamento device mobile e teledermatoscopio

La seguente fase è la prima nel processo di aggiunta di una nuova misurazione ed è necessaria per permettere la comunicazione tra il teledermatoscopio ed il device mobile. Grazie a questa connessione è poi possibile eseguire le successive fasi di streaming video e cattura delle immagini, nonché quella finale dell'invio delle misurazioni al database online.

La procedura di collegamento inizia con la selezione del button di ‘aggiunta di una nuova misurazione’ e forma il passaggio tra il fragment *DevicePageFragment* e il fragment

DeviceWizardFragment, che attraverso la selezione offerta dal *PagerAdapter*, seleziona come primo fragment un *NormalWizardPageFragment*.

Lo scopo di questo passaggio è quello di attivare la connessione Wi-Fi, nel caso non sia ancora attiva, e collegare il device mobile con la rete del teledermatoscopio.

Il nome della rete alla quale collegarsi è:

WiFi2SCOPE-xxxx

dove per *xxxx* si indica il codice numerico del dermatoscopio.

Questo collegamento è privo di connessione ad Internet e quindi non è possibile interagire con il server remoto.

Per evitare che l'utente si possa disconnettere dalla rete durante le normali operazioni, è sempre presente una funzione di controllo della connessione ad Internet tramite un servizio asincrono lanciato dal main thread. Questa operazione non prende parte al processo di collegamento al Wi-Fi del dermatoscopio e viene implementata in un altro fragment gestito dal main thread. Inoltre, si deve ricordare che gli altri strumenti integrati non necessitano di collegamenti ad una rete Wi-Fi (non correndo così il rischio di perdite improvvise di connessione), in quanto usano una connessione Bluetooth. Di fatto, il servizio appena citato viene disabilitato qualora venga instaurata la connessione con la rete del dermatoscopio onde evitare che vada a limitare l'esecuzione dei processi successivi.

Nella *Fig.4.3* si può osservare il flusso di operazioni necessarie per il collegamento wireless. Tutte queste operazioni sono fondamentali per il corretto funzionamento del dispositivo sanitario e per permettere lo svolgimento delle operazioni discusse nell'elaborato. Una volta che questo processo viene ultimato correttamente sarà possibile procedere con le attività consentite dall'integrazione del teledermatoscopio digitale.

Durante lo svolgimento di tutte le successive operazioni il fragment di riferimento è il normal wizard del dermatoscopio, ovvero *NormalWizardPageFragment*.

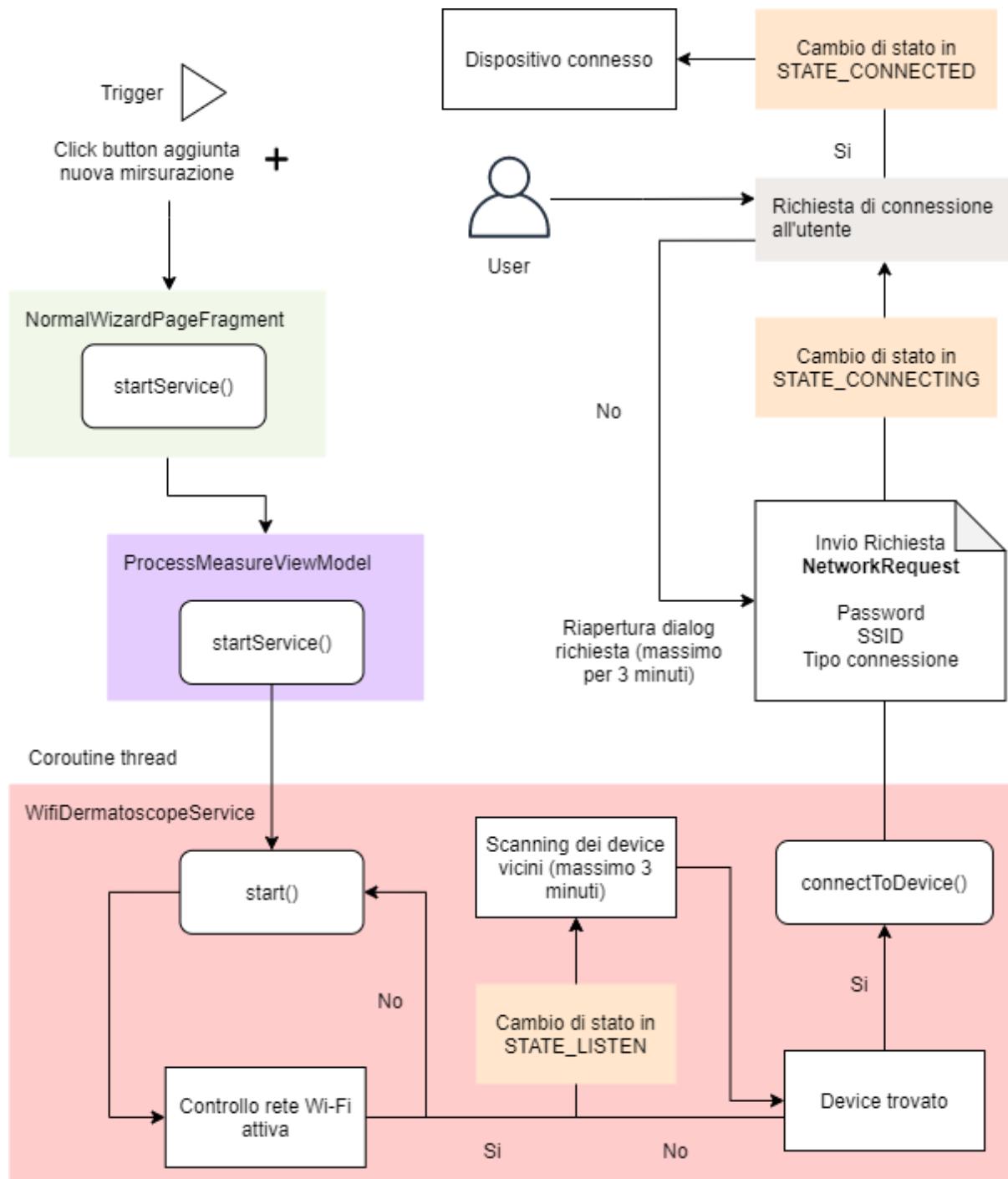


Figura 4.3. Pipeline dei processi e funzioni utilizzate per effettuare il collegamento wireless tra teledermatoscopio e device mobile. In ordine cronologico di esecuzione. Il fragment è colorato in verde; il ViewModel in viola; e il servizio nella coroutine in rosso, mentre la richiesta inviata sotto forma di dialog all'utente è colorata in grigio.

Il primo passo avviene con il click del button per aggiungere una nuova misurazione. Dopo la selezione del *NormalWizardPageFragment* corretto per il dermatoscopio, si esegue la funzione di avvio del servizio predisposto per la connessione Wi-Fi, il servizio contenuto nella classe *WifiDermatoscopeService*.

Questa operazione è gestita in maniera asincrona con una coroutine e si attiva non appena viene chiamata la funzione *startService()* del ViewModel incaricato di elaborare le misure, *ProcessMeasureViewModel*, che fa partire il servizio ogni qualvolta il fragment *NormalWizardPageFragment* sia nello stato *onResume* (quindi quando il fragment viene avviato per la prima volta o riavviato dopo un cambiamento di stato, per esempio, dopo un cambio di orientamento dello schermo).

Per gestire il servizio asincrono appena citato vengono usati degli stati che contestualizzano la fase nella quale la connessione si trova e aiutano nella gestione della coroutine appena creata. Gli stati possibili sono i seguenti:

- stato nullo (*STATE_NONE*), indica un errore in fase di lettura dello stato;
- stato di ascolto (*STATE_LISTEN*), indica la fase di scanning;
- stato di connessione (*STATE_CONNECTING*), indica la fase di connessione;
- stato di avvenuta connessione (*STATE_CONNECTED*).

La prima operazione che viene eseguita è un controllo delle impostazioni per verificare che il Wi-Fi del device mobile sia acceso e, nel caso non lo sia, viene chiesto all'utente di attivarlo. Viene quindi effettuata una richiesta esplicita tramite dialog di attivare il Wi-Fi ed è quindi impostato lo stato in *STATE_LISTEN*. Questo cambiamento di stato provoca l'attivazione del servizio e tutti i passaggi consequenziali.

Se la connessione Wi-Fi è possibile, viene avviata la procedura di scanning dei device vicini, alla ricerca del segnale del teledermatoscopio. Il segnale dipende dalla potenza e dalla vicinanza del dispositivo al device mobile. Per quanto riguarda la presenza di più dispositivi verrà scelto quello con il segnale più potente, che presumibilmente sarà anche il più vicino al device mobile. Nel caso in cui non venga trovato il dispositivo dopo circa 3 minuti si verrà reindirizzati verso il fragment precedente, al fine di ripetere l'operazione. Ovviamente il teledermatoscopio in questa fase del processo deve essere acceso e funzionante.

Una volta reperito il segnale del dispositivo, la funzione *connectToDevice()* elaborerà una richiesta *NetworkRequest* contenente la password, l'SSID e il tipo di connessione che si vuole

instaurare con la rete specificata nel SSID. In questa richiesta di connessione vengono specificate tutte le caratteristiche di connessione ed anche la password per connettersi (che è la stessa per tutti i device ed è indicata nel libretto delle istruzioni). Se la procedura va a buon fine lo stato del device cambierà in *STATE_CONNECTING*.

A questo punto apparirà un dialog di sistema all'utente per l'accettazione della connessione al dispositivo appena trovato. Se il dialog non riceve alcuna risposta verrà riproposta una nuova richiesta, per un massimo di tempo totale di attesa di circa 3 minuti. Questa procedura è necessaria per tutte le versioni successive alla Android Q (APK 29) (compresa), in quanto tutto il collegamento wireless per i nuovi dispositivi è stato aggiornato per aumentare la sicurezza delle connessioni. Le modalità di connessione precedenti non sono state prese in considerazione, in quanto un'applicazione mobile per poter essere inserita nel Google Play Store deve essere uguale o superiore alla Android Q.

Una volta completata la connessione, lo stato muterà in *STATE_CONNECTED* e si verrà redirezionati verso il fragment wizard successivo (quello del *dermatoscope wizard*), per iniziare la procedura di streaming video.

4.3 Streaming video e cattura del fotogramma

Questa fase è la più importante e decisiva nello sviluppo dell'intera integrazione del dispositivo sanitario. Le tecnologie impiegate per sviluppare la stessa sono il risultato di molteplici tentativi alla ricerca della soluzione ottimali in termini di prestazioni ed efficienza.

La procedura viene attivata appena l'utente seleziona il button ‘Avanti’ - presentato nella *NormalWizardPageFragment*, illustrato nella sezione precedente - che risulta visualizzabile soltanto dopo aver collegato correttamente il device mobile con il teledermatoscopio. Durante questa fase sarà possibile visualizzare il contenuto dello streaming video puntato dalla lente digitale del teledermatoscopio e la galleria delle immagini finora catturate.

In questa circostanza viene interrotto il servizio di ricerca della connessione internet per le normali funzioni dell'applicazione, che altrimenti andrebbe a limitare l'uso della rete Wi-Fi del teledermatoscopio, in quanto priva di connessione alla rete internet. Questo servizio verrà

poi riattivato non appena sarà conclusa la suddetta fase e si passerà all'invio delle misurazioni al database online.

Inizialmente sono state prese in considerazione diverse soluzioni per sviluppare lo streaming video (vedi 4.3.a *Approccio iniziale e sviluppo*) che sono sfociate nelle scelte successive illustrate nel paragrafo 4.3.b *Streaming video e libreria MJPEGView*.

I fragment presenti in questo passaggio sono di due tipologie: il fragment wizard del dermatoscopio, *DermaWizardPageFragment*, e il fragment dialog della galleria immagini, *GalleryDermaFragment*.

Il primo si occupa dell'instaurazione dello streaming video al fine di visualizzare ciò che la lente del dermatoscopio sta puntando in quel preciso momento. In questo fragment sarà presente un riquadro centrale che visualizzerà real-time lo streaming video, un pulsante di cattura del fotogramma (vedi paragrafo 4.3.c *Cattura del fotogramma*) e un pulsante per visualizzare la galleria immagini (vedi paragrafo 4.3.d *Galleria immagini*).

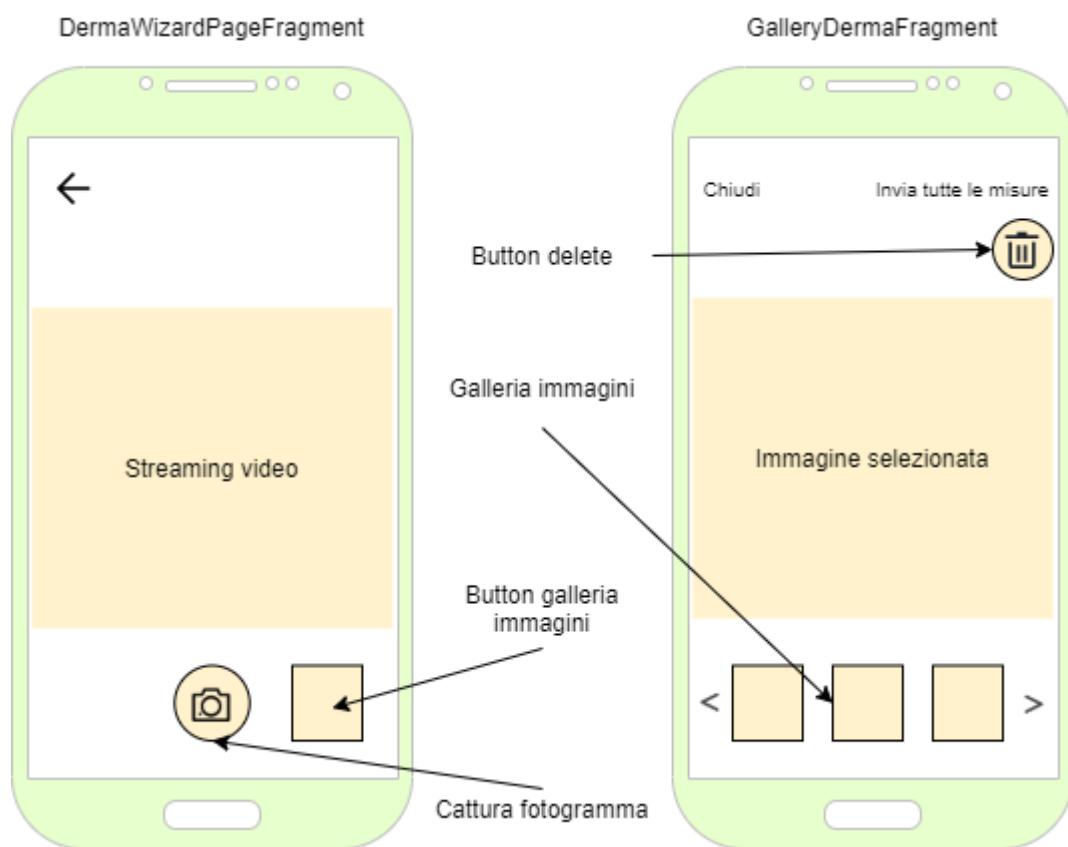


Figura 4.4. Immagini delle schermate di streaming video e di quella della galleria immagini.

Il secondo si occuperà di gestire la galleria delle immagini raccolte finora nel processo di cattura del fotogramma, in maniera tale da renderle subito fruibili all’utente che può decidere se conservarle o eliminarle. In questo fragment sarà possibile scegliere che misura visualizzare ed eventualmente cancellarla tramite apposito pulsante. Inoltre, se si vuole procedere con l’invio delle misurazioni al server remoto, sarà necessario cliccare su ‘Invia tutte le misure’ di cui si parlerà nel prossimo paragrafo *4.4 Trasmissione dati al database online*.

4.3.a Approccio iniziale e sviluppo

In questo paragrafo si vuole accennare brevemente ad alcune delle soluzioni intraprese per l’implementazione dello streaming video, fino ad arrivare alla soluzione ottimale che è stata individuata nell’uso della libreria MJPEGView, illustrata nel paragrafo successivo.

Di seguito, nella *Tabella 4.1*, una visualizzazione riassuntiva di tutte le soluzioni intraprese per risolvere il problema dello streaming video.

<i>Soluzione</i>	<i>Svantaggi</i>
Considerare video come sequenza di molte immagini	Oneroso computazionalmente, struttura errata, problematiche di integrazione codice
Libreria GitHub VideoView	Lacune nel codice, mancanza manutenzione da parte dei creatori, scarsa community
WebView	Problemi di layout e dimensioni della visualizzazione dello streaming video
Libreria MJPEGView	Nessuno

Tabella 4.1. Tabella riassuntiva delle soluzioni intraprese per lo streaming video, con svantaggi annessi.

Il primo approccio al problema è stato nel considerare il flusso video come una sequenza di molti frame singolarmente visualizzabili come una singola immagine nel layout

dell'applicazione. Pertanto, la visualizzazione di ogni immagine nel file XML del layout del fragment sarebbe stata una pessima implementazione. Inoltre, il carico di lavoro per caricare le immagini in sequenza con un frame rate alto non sarebbe stato possibile e l'opzione è stata subito scartata.

Un altro approccio è stato quello di utilizzare una libreria Android VideoView per visualizzare i video dato un collegamento ad un URL specifico. Queste funzioni potevano funzionare per video online solamente in un certo formato, inoltre tale libreria presentava delle lacune in termini di manutenzione e assistenza del codice e si è deciso così di valutare altre opzioni, spingendo lo sguardo verso una soluzione simile.

Il penultimo tentativo è stato l'utilizzo della WebView, ovvero un costrutto Android capace di visualizzare una parte o l'intera pagina HTML solamente collegandosi all'URL desiderato. Questo approccio funzionava correttamente collegandosi all'indirizzo HTTP della pagina web del dermatoscopio (come si vedrà in seguito), ma sono stati riscontrati problemi di layout e di ridimensionamento dell'immagine. Tuttavia, il ragionamento di base ha portato allo sviluppo della soluzione ottimale utilizzata per completare il procedimento, ovvero l'uso della libreria MJPEGView.

4.3.b Streaming video e libreria MJPEGView

La soluzione ottimale è stata riscontrata con l'uso della libreria MJPEGView, che offre una soluzione pratica ed intuitiva alla visualizzazione di video in formato MJPEG.

La libreria MJPEGView (dalla piattaforma GitHub) [MJP] permette di visualizzare il contenuto di una pagina HTML o una parte di essa conoscendo solamente l'URL associato. I metodi di ridimensionamento dell'immagine supportati sono l'adattamento della larghezza e dell'altezza, il ridimensionamento video originale ed infine l'allungamento e l'adattamento migliorato. Tali funzioni di libreria vengono anche utilizzate per separare ogni frame in formato JPEG dal flusso video MJPEG. La particolarità rilevante è che la lunghezza del contenuto viene ignorata, aiutando nelle performance globali. È necessario specificare che si necessita di un marker nell'intestazione HTTP per valutare il contenuto del flusso. In caso contrario, verrà utilizzato un modello di limitazione del contenuto predefinito.

Di seguito viene mostrata una figura riassuntiva delle procedure necessarie per comprendere al meglio questa importante fase operativa.

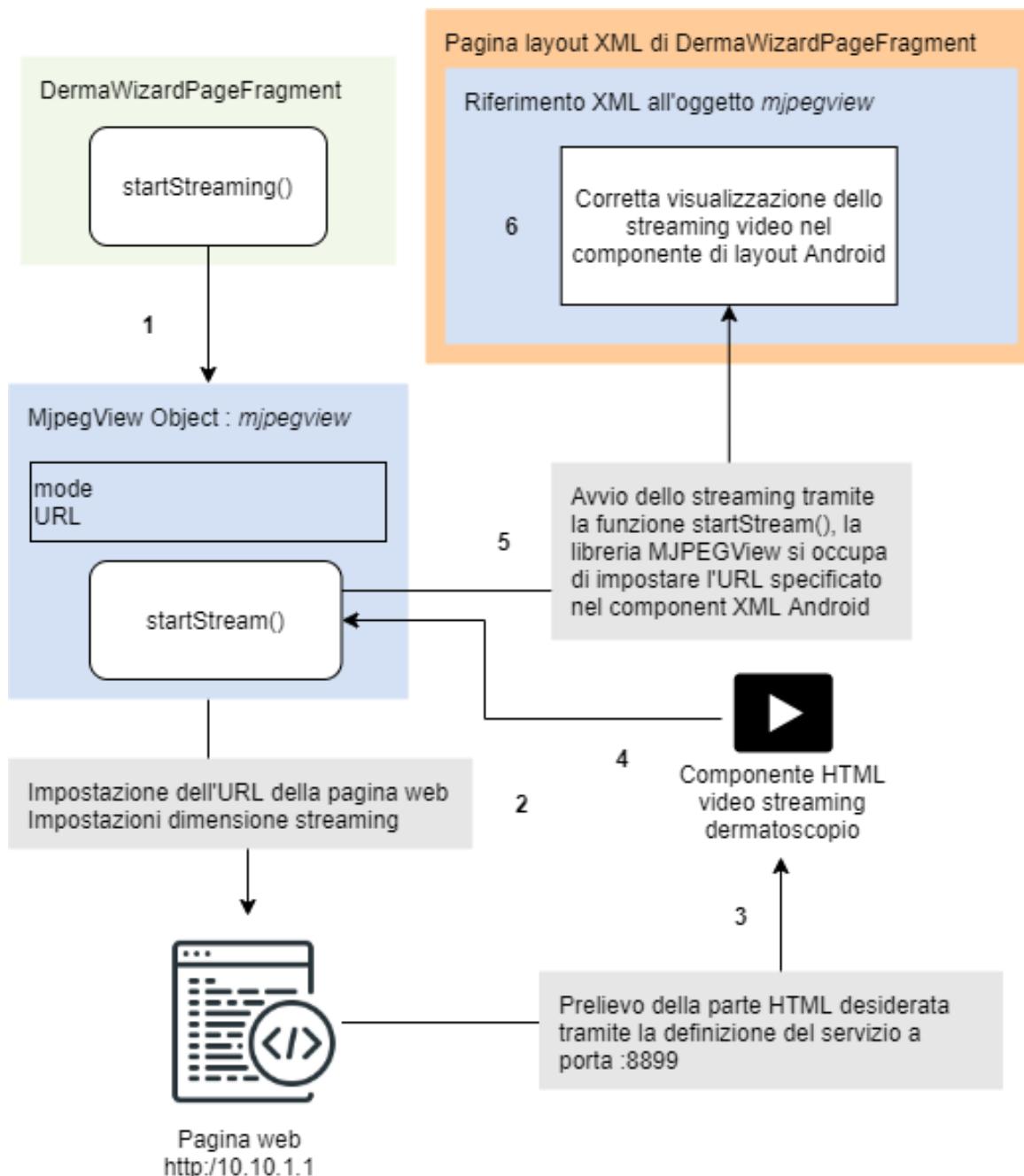


Figura 4.5. Schema dei processi presenti nello streaming video, ordinati numericamente in ordine cronologico di esecuzione. Sono presenti i fragment utilizzati e le funzioni impiegate. In colore verde è rappresentato il fragment `DermaWizardPageFragment`, in azzurro l'oggetto di tipo `MjpegView` di riferimento, in arancione il layout XML del fragment e in grigio le azioni svolte dai passaggi.

Tutto il processo di streaming video inizia con la funzione `startStreaming()` (1) del fragment `DermaWizardPageFragment`. In questa funzione viene attivato lo streaming video tramite la funzione `startStream()` (2) dell'oggetto `mjpegview`. Questo oggetto di tipo `MjpegView` contiene numerose caratteristiche, ma le più rilevanti per questa fase sono la modalità (`mode`) e l'URL assegnato. Di seguito viene mostrato la parte di codice predisposta a queste funzioni.

```
private fun startStreaming() {  
  
    mjpegview.mode = MjpegView.MODE_FIT_WIDTH;  
  
    mjpegview.isAdjustHeight = true;  
  
    mjpegview.setUrl(MIC_URL);  
  
    mjpegview.startStream();  
  
}
```

Figura 4.6. Codice contenuto nella funzione `startStreaming()` del fragment `DermaWizardPageFragment`.

L'oggetto `mjpegview` è un attributo del layout XML presente nel file di layout della pagina del dermatoscopio.

La stringa `MIC_URL` corrisponde all'indirizzo HTTP della pagina web.

La prima viene impostata come modalità *fitting width* (tramite la variabile `mode` assegnata a `MjpegView.MODE_FIT_WIDTH`) in quanto permette di dimensionare la larghezza dello streaming video in base alla larghezza della schermata del device mobile. Per quanto riguarda l'URL, viene impostato tramite il setter `setUrl()`, al quale, come parametro, viene assegnata la stringa '`http://10.10.1.1:8899`' (2).

L'indirizzo HTTP `10.10.1.1` è quello specifico per poter visualizzare la pagina HTML del teledermatoscopio. Tale opzione è offerta originariamente dalla casa produttrice Italeco e permette di visionare lo streaming video ed effettuare tutte le operazioni possibili tramite una semplice pagina web HTML.

Pertanto è stata sfruttata questa funzionalità per estrapolare solamente il componente HTML predisposto allo streaming video del dermatoscopio. Dopo un'attenta analisi della sintassi HTML della pagina è stato agevole individuare tutti i componenti e comprendere che, grazie al collegamento alla porta 8899 dell'indirizzo HTTP *10.10.1.1*, è stato possibile visualizzare solamente il singolo componente predisposto allo streaming video (3).

Una volta impostato l'URL, l'oggetto *MjperView* si può considerare come ‘inizializzato’ verso un componente HTML della pagina web di riferimento - in questo caso la parte di streaming video MJPEG (4) -.

A questo punto, si può usare la funzione *startStream()* dell'oggetto *mjpegview* che consente di avviare lo streaming della risorsa specificata come URL e collegare l'oggetto Android *MjpegView* all'URL designato (5). In tale particolare passaggio è la libreria *MJPEGView* che si occupa di impostare l'URL specificato nell'oggetto *MjpegView*, che viene visualizzato con la logica di grafica di Android nel layout dell'oggetto XML *mjpegview* (6).

Grazie a tutte queste procedure e alla libreria *MJPEGView* è stato possibile avviare lo streaming video nel fragment attuale e poter impostare il layout della pagina in modo facile e flessibile.

4.3.c Cattura del fotogramma

Concorrentemente al processo di streaming video è possibile prelevare l'istanza del fotogramma visualizzato in modo tale da salvarlo come immagine in formato PNG. Tale procedura viene attivata tramite la selezione del pulsante di ‘cattura immagine’, presente sotto al riquadro predisposto per lo streaming video. Tale funzione viene chiamata ad un preciso timestamp di sistema, che si presume sia univoco e che - insieme al nome e cognome del paziente - viene utilizzato per identificare univocamente l'immagine catturata.

Ugualmente alle procedure precedenti anche queste funzionalità vengono svolte nel fragment *DermaWizardPageFragment* grazie alla funzione *takePhoto()*. Nella Fig.4.7 mostrato una parte del codice della suddetta funzione.

Il procedimento che si va a descrivere è essenziale per l'utilizzo delle altre operazioni dell'applicativo, in quanto risulta essere l'effettiva fase di raccolta dei dati.

```

private fun takePhoto() {
    val pathDir = context?.getExternalFilesDir(null)?.path
    val bmp = Bitmap.createBitmap(mjpegview.width,
        mjpegview.height, Bitmap.Config.ARGB_8888)
    val canvas = Canvas(bmp)
    mjpegview.draw(canvas)
    val nameImg =
        "img_${PATIENT.firstName}_${PATIENT.firstName}_${System.currentTimeMillis()}.png"
    File(pathDir, nameImg).writeBitmap(bmp,
        Bitmap.CompressFormat.PNG, 85)
    galleryButton.setImageBitmap(bmp)
}

```

Figura 4.7. Codice contenuto nella funzione `takePhoto()` del fragment `DermaWizardPageFragment`. Le variabili `galleryButton` e `mjpegview` sono attributi del layout XML presente nel file di layout della pagina del dermatoscopio. La funzione `writeBitmap()` si occupa della scrittura del bitmap nella directory `pathDir` del file specificato con il nome in `nameImg`.

Questa funzione si occupa di costruire il `Bitmap`⁸ del fotogramma attuale dello streaming video e di salvarlo nella directory corrente, identificata nella variabile `pathDir`. Tale posizione è una cartella in memoria locale del device mobile (di fatto le immagini vengono prima salvate in locale, elaborate e successivamente inviate tutte in blocco al server remoto). Dopo averle inviate la cartella in locale viene svuotata.

⁸ Il **Bitmap** è una tecnica usata per descrivere un'immagine in formato digitale che si contrappone alla grafica vettoriale. Le immagini bitmap, sono costituite da pixel inseriti all'interno di aree specifiche e per tale ragione, quando si ingrandisce un'immagine bitmap, si nota una ‘sgranatura’ - cioè una perdita di qualità - dovuta in quanto i pixel che formano le immagini bitmap sono fissati su una griglia di dimensioni predefinite [Wiki2].

Il Bitmap dell’immagine viene costruito tramite la funzione *createBitmap()*, con le dimensioni del fotogramma e successivamente salvato come file di nome *nameImg* nella cartella in *pathDir*.

Il nome delle immagini segue il formato:

img_NOME_COGNOME_TEMPO.png

dove per *NOME* e *COGNOME* si indicano i dati del paziente e per *TEMPO* si precisa il tempo in millisecondi del sistema.

Come si può vedere dalla *Fig.4.7* viene aggiornata l’immagine della galleria immagini con l’ultimo fotogramma catturato, come accade nella fotocamera Android.

4.3.d Galleria immagini

Questa funzione entra in gioco non appena l’utente decide di visionare le immagini tramite la selezione dell’apposito button posizionato in basso a destra, vicino al button per la cattura del fotogramma. In questa galleria è possibile prendere visione di tutte le misurazioni effettuate e di decidere se eliminarle o conservarle.

Il fragment di riferimento è il *GalleryDermaFragment* - un particolare fragment dialog già presente nell’applicazione per altri strumenti -. Tale fragment presenta un layout con l’opzione di chiusura del dialog e l’opzione di ‘Invia tutte le misure’ per procedere alla fase successiva di invio delle misure al database online. La scelta progettuale di permettere all’utente di passare alla fase finale, contenuta nel *LastWizardPageFragment*, tramite questo fragment dialog è voluta in quanto l’utente deve prendere visione delle immagini catturate prima di poterle inviare, per non ricorrere in duplicati inutili o in immagini errate.

In tutte le fasi che si vedranno di seguito si cercano i file nel folder locale, in maniera tale da essere eseguite senza l’utilizzo di una connessione con il database online (che non sarebbe possibile vista l’assenza di collegamento ad internet). Inoltre, l’accesso diretto nella cartella locale delle immagini aumenta la velocità di estrazione e quindi anche le performance delle operazioni.

Nella *Fig.4.8* sono illustrate le parti di codice collegate a queste operazioni.

```

private fun deleteImage(nameImage: String) {
    val pathDir = context?.getExternalFilesDir(null)!!.path
    val img = File("$pathDir/$nameImage")
    if (img.isFile) {
        img.delete()
    }
    showMiniImages()
}

private fun addMiniImages(bmp: Bitmap, nameImg: String) {
    val imageView = ImageView(context)
    imageView.setImageBitmap(bmp)
    imageView.setLayoutParams( RelativeLayout.LayoutParams(400, 300))
    imageView.setOnClickListener {
        image_freeze.setImageBitmap(bmp)
        image_freeze.tag = nameImg
        image_freeze.visibility = View.VISIBLE
        delete_image.visibility = View.VISIBLE
    }
    image_layout.addView(imageView)
}

```

Figura 4.8. Codice contenuto nella funzione `deleteImage()` e `addMiniImages()` del fragment `GalleryDermaFragment`. La variabile `image_layout`, `image_freeze` e il button `delete_image` provengono dal layout XML del fragment.

```

private fun showMiniImages() {
    image_layout.removeAllViews()

    val pathDir = context?.getExternalFilesDir(null) !! .path
    val f = File(pathDir)

    val listFiles = f.listFiles()

    for (image in listFiles!!) {
        val img = File(image.path)

        if (img.isFile) {
            val bmp = BitmapFactory.decodeFile(img.getAbsolutePath)
            addMiniImages(bmp, img.name)
        }
    }
}

```

Figura 4.9. Codice contenuto nella funzione *showMiniImages()* del fragment *GalleryDermaFragment*.

Questo particolare fragment presenta un componente orizzontale (*horizontalScrollView*) capace di mostrare la galleria delle immagini finora catturate, opportunamente dimensionate. Grazie a tale componente è possibile scorrere le immagini e selezionare quella desiderata.

Ogni qualvolta venga catturato un nuovo fotogramma la lista delle immagini verrà aggiornata, tramite la funzione *showMiniImages()*, e ogni volta che si decida di eliminarne una verrà rimosso un elemento da questa lista. Le funzioni *addMiniImages()* e *deleteImage()* cercano il percorso del file dell'immagine nel folder locale ed effettuano le operazioni appena citate.

4.4 Trasmissione dati al database online

Nella Seguente sezione si spiegherà la procedura finale dell’operazione di aggiunta di una nuova misurazione. Per questa fase è necessaria la connessione ad internet, in quanto l’applicazione deve poter comunicare con il database online per inviare correttamente la misura.

Per fare ciò, durante il passaggio tra il fragment *GalleryDermaFragment* e il fragment *LastWizardPageFragment*, viene riattivato il servizio di controllo della connessione ad internet fornito dal main thread (citato nella sezione 4.2 *Collegamento device mobile e teledermatoscopio*); servizio che, in assenza di collegamento ad internet, richiede all’utente di collegarsi ad una rete con internet, in modalità wireless o tramite rete mobile.

Una volta che la connessione internet viene ristabilita, si procederà con la seguente fase di collegamento al server remoto e invio delle misurazioni. La conclusione di questo processo viene notificata tramite un dialog che mostra la corretta esecuzione dell’intera fase. Nel caso vi siano stati problemi di qualsiasi tipologia, le misurazioni verranno salvate nella voce ‘Misure non inviate’, visibili da apposita opzione nel *DevicePageFragment* (si v. paragrafo 4.1.c *Pipeline dei processi*). Grazie a tale opzione è possibile inviare le misurazioni in un momento successivo.

La sezione è composta da una iniziale spiegazione del formato della misura necessario per poter comunicare correttamente con il server online (si v. il paragrafo 4.4.a *Composizione formato misura*). Successivamente si andrà a spiegare come avviene effettuato il collegamento con il database online e come avviene l’invio di tutte le misurazioni raccolte (si v. il paragrafo 4.4.b *Invio delle misure*).

Al termine della sezione verrà esposto il problema dell’invio delle misure non ancora inviate (si v. il paragrafo 4.4.c *Misure non inviate*), che è stato inserito in questa sezione solamente per la similitudine con gli altri processi presenti.

4.4.a Composizione formato misura

Per comprendere al meglio l'invio della misura è indispensabile spiegare nel dettaglio il formato nel quale l'immagine e i relativi dati vengono impacchettati per essere poi inviati tramite una richiesta POST al server remoto.

La misura viene trasformata grazie all'intervento della classe *ItalecoMicFiMeasure*. Al pari delle classi misure degli altri dispositivi questa classe ci permette di trasmutare l'immagine, la data, il numero seriale del dispositivo in un formato accettabile per la trasmissione al server remoto.

Di seguito, nella *Fig.4.10*, viene mostrato uno schema del formato dei dati inseriti nella classe *ItalecoMicFiMeasure*.

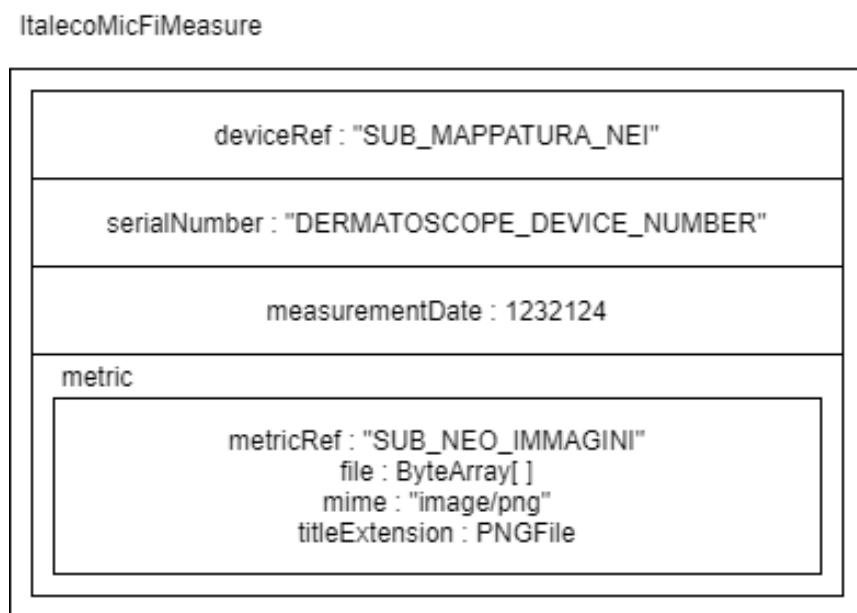


Figura 4.10. Formato della misura da inviare al database online. Per ogni voce sono presenti esempi del formato della misura.

La classe di base *Measure* presenta diverse voci, non tutte utilizzate, che indicano le informazioni generali della misura. Le variabili *deviceRef* e *serialNumber* servono per individuare rispettivamente il codice per tipo di device e il numero seriale del dispositivo.

Un'altra voce molto importante è la metrica *metric* occorrente per indicare nel dettaglio la misura.

All'interno dell'oggetto *Metric* sono presenti diversi attributi:

- *metricRef*, identifica univocamente la tipologia di metrica, diversa per ogni strumento. Quella del dermatoscopio è *SUB_NEO_IMMAGINI*;
- *file*, bytes del file (in questo caso un'immagine in bytes);
- *mime*, tipo di file MIME⁹;
- *titleExtension*, titolo del file.

Tutte queste voci vengono aggiunte all'oggetto *metric* di ogni misura, inserito nella misura *ItalecoMicFiMeasure* e successivamente inviata con le procedure illustrate di seguito.

4.4.b Invio delle misure

Il collegamento e l'invio delle misure al server online vengono effettuati non appena l'utente decide di trasmettere tutte le misure tramite l'apposito button ‘Invia tutte le misure’ posizionato in alto a destra nel fragment *GalleryDermaFragment*. Una volta che viene cliccato tale pulsante il fragment in questione si chiude e si torna, almeno a livello di processo d'esecuzione, al *DermaWizardPageFragment*. Visivamente i processi appena descritti sono talmente veloci che l'utente visualizzerà solamente il dialog per instaurare la connessione ad internet, qualora non ci sia già.

Il fragment *DermaWizardPageFragment* rimane costantemente in attesa del segnale da parte di *GalleryDermaFragment* per poter eseguire la funzione *sendMeasures()*.

Nella *Fig.4.11* si possono osservare le azioni di questa importante funzione tramite uno schema riassuntivo.

⁹ **Multipurpose Internet Mail Extensions** è uno standard di Internet che estende la definizione del formato dei messaggi di posta elettronica, originariamente definito dal SMTP, il protocollo di trasmissione delle email. I tipi di contenuto predefiniti sono sette, di cui cinque sono elementari: testo, audio, immagine, video e applicazione, dove l'ultimo rappresenta il tipo di dati generato o utilizzato da un particolare software applicativo. Ogni tipo ha dei sottotipi, per cui abbiamo, per esempio, *image/gif* e *application/zip*.

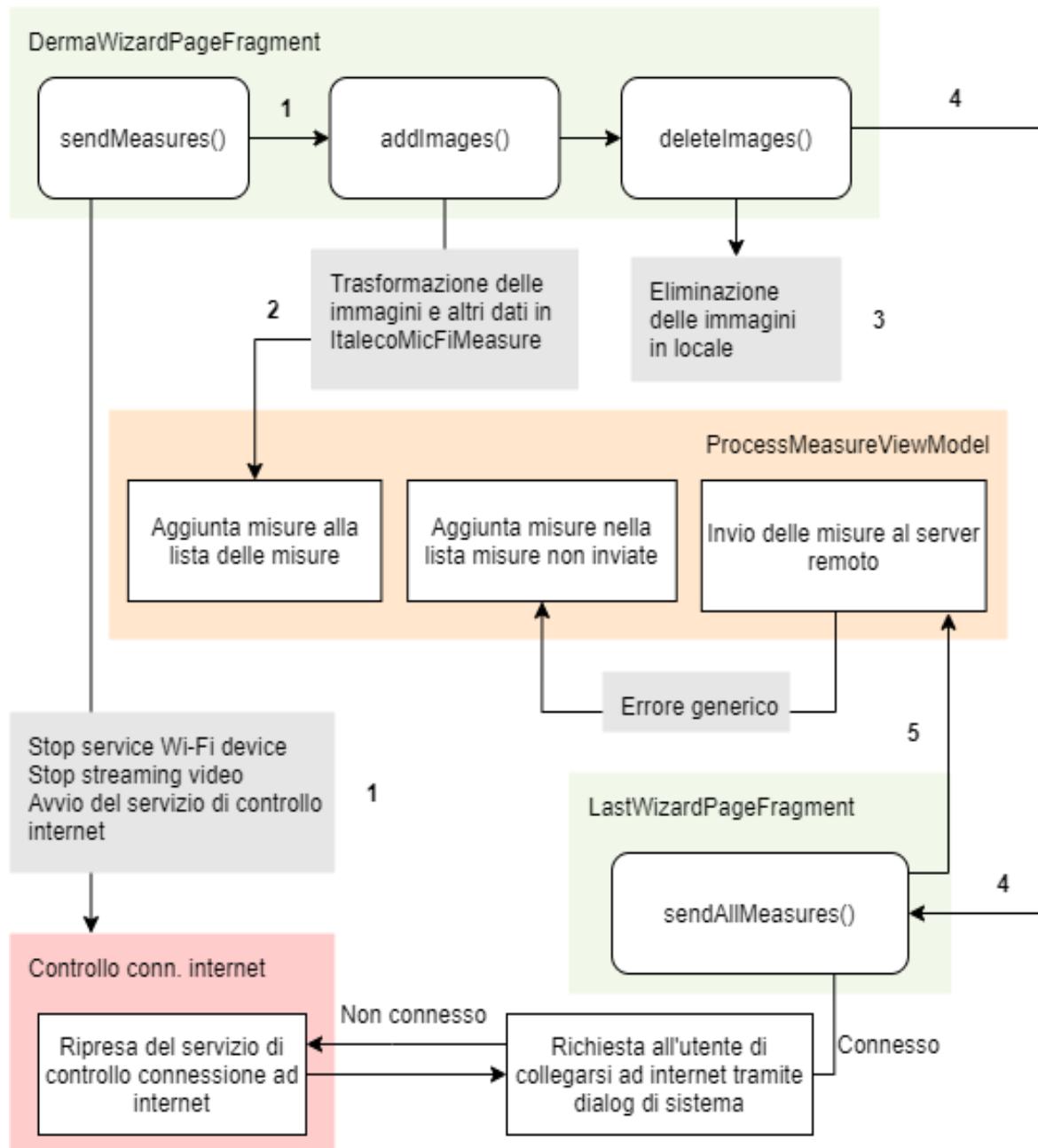


Figura 4.11. Schema riassuntivo dei vari processi per il collegamento e l'invio della misura al server online. I processi sono in ordine numerico.

Nella Fig.4.11 i fragment coinvolti sono il *DermaWizardPageFragment* e il *LastWizardPageFragment*, entrambi colorati in verde. Il processo che viene coinvolto è

quello del controllo di connessione alla rete internet lanciato dal main thread, già citato nelle sezioni precedenti, ed è colorato in rosso. Per la gestione dei dati viene invece impiegato il ViewModel *ProcessMeasureViewModel*, che si occupa della gestione delle misure coinvolte e dell'invio di tutte le misurazioni.

La prima funzione presente è quella di *sendMeasures()* e si prende cura di fermare lo streaming video, tramite la chiamata *stopStream()* della variabile *mjpegview*, e interrompere il processo di *WifiDermatoscopeService*, tramite la chiamata di stop del processo del ViewModel. Appena viene interrotto il processo di controllo della connessione wireless con il teledermatoscopio, viene anche cancellato il collegamento con la rete dello strumento. In questo modo viene riattivato il servizio di controllo della connessione ad internet (colorato in rosso nella Fig.4.11), che con un dialog di sistema Android notifica all'utente il bisogno di collegarsi alla rete internet, in qualsiasi modalità egli preferisca. Una volta completata la connessione il dialog scomparirà, consentendo il proseguimento delle operazioni.

Nella Fig.4.12 viene mostrato il codice della funzione appena citata.

```
private fun sendMeasures() {  
  
    processMeasureViewModel.deviceService?.stop()  
  
    mjpegview.stopStream()  
  
    addImages()  
  
    pagerViewModel.updatePage() // Prossima pagina  
  
    PagerAdapter.mViewPager?.setCurrentItem(pagerViewModel.getPage(), true)  
  
    processMeasureViewModel._loading.postValue(false)  
  
    deleteImages()  
  
}
```

Figura 4.12. Parte di codice che mostra la funzione *sendMeasure()* del fragment *DermaWizardPageFragment*.

Le prime due funzioni presenti sono rispettivamente la funzione di aggiunta delle immagini al processo che si occupa di inviare le misurazioni al server e la funzione che elimina tutte le immagini presenti nel folder locale del device mobile, ovvero *deleteImages()*.

La funzione di aggiunta è *addImages()* e si occupa di cercare nel folder locale tutte le immagini e di creare la misura nell'apposito formato *ItalecoMicFiMeasure*. Una volta ultimata la ‘trasformazione’ del dato, viene aggiunta la misura al processo *ProcessMeasureViewModel* che successivamente la andrà a processare.

La classe ViewModel *ProcessMeasureViewModel* è predisposta per la lavorazione di tutte le misure, anche di altri strumenti. Pertanto anche questa integrazione deve rispettare il corretto funzionamento di questa classe, senza andarla a modificare in alcun caso. In questo ViewModel la misura viene aggiunta alla lista delle misurazioni da inviare con la funzione *addMeasure()* e verrà usata la funzione *sendAllMeasures()* per inviare tutte le misure al database online. Se viene riscontrato un errore la misura viene memorizzata tra la lista delle misure non inviate, processata poi in *OldMeasureFragment*.

Proseguendo con la funzione *sendMeasures()* l’utente viene reindirizzato presso l’ultimo fragment disponibile, il *LastWizardPageFragmant*. In questo fragment viene mostrato il conteggio totale delle misure da effettuare e l’opzione ‘Invia tutte le misure’. Una volta cliccato questo button si procederà all’invio di tutte le misure tramite la funzione *sendAllMeasures()* del *ProcessMeasureViewModel*.

Alla fine di tale processo verrà notificato all’utente tramite dialog di sistema il corretto invio delle misure e, nel caso invece il processo non fosse andato a buon fine, verrà informato dell’errore e della possibilità di inviare le misure tramite il fragment *OldMeasureFragment*.

In entrambe le situazioni il fragment si chiuderà e si verrà reindirizzati indietro verso la pagina iniziale di tutto il processo, ovvero la schermata del device del paziente.

4.4.c Misure non inviate

Per quanto riguarda le misure non inviate si fa riferimento al fragment *OldMeasureFragment*, visualizzabile tramite apposito button nel fragment del device del paziente, ovvero *DevicePageFragment*.

In questo fragment è possibile visualizzare una lista di misurazioni nel seguente formato:

Dettaglio misura *< Data >*

dove per *Data* si indica la data in formato europeo.

Ogni misurazione può essere selezionata grazie ad un checkbox posizionato sulla destra della lista. Una volta selezionate le misurazioni che interessano l'utente può effettuare due operazioni: la prima è l'eliminazione delle misure selezionate; mentre la seconda è l'invio delle stesse.

Parleremo dunque dell'invio delle misure non ancora inviate, operazione fondamentale del fragment in questione. Questo processo serve per assicurare l'invio delle misure effettuate che non sono ancora state inviate a seguito di un errore di rete, dell'applicazione o di qualsiasi altra causa. La funzione usata per questa operazione è la stessa del paragrafo precedente, ovvero *sendAllMeasure()* della classe ViewModel *ProcessMeasureViewModel*.

In questa casistica particolare le misure sono state immagazzinate in una lista di misurazioni non ancora inviate e il ViewModel in questione si occupa di mantenere questa lista inalterata, ovviamente finché non venga chiamato l'invio delle misurazioni ancora una volta.

Il nuovo procedimento di invio è dettato dalla funzione *sendAllMeasure()* e si ripete esattamente come in precedenza; nel caso l'operazione abbia esito positivo la lista viene eliminata. Invece, nel caso ci siano nuovamente errori, la lista delle misure non inviate non viene modificata.

4.5 GUI dell'applicazione mobile

Nella presente sezione si analizza brevemente la Graphic User Interface (GUI) dei passaggi spiegati precedentemente. Tale analisi è importante per offrire una visione completa dell'applicazione e dei layout impiegati.

E' così possibile visionare il lavoro svolto dal punto di vista grafico tramite la manipolazione dei file di layout XML di ogni fragment citato nelle sezioni precedenti. Questa funzionalità grafica è automatica ed è gestita interamente dal software Android Studio, che offre un

immediato sviluppo e progettazione delle pagine dell'applicazione. Si deve ricordare che il layout XML è fortemente collegato con la parte funzionale del codice dell'integrazione ed è quindi doveroso inserirlo nella spiegazione.

Ogni pagina che si andrà a visionare dettagliatamente tramite le figure successive è stata studiata per offrire una migliore user experience all'utente finale e consentire un'elaborazione semplice ed intuitiva dei passaggi di utilizzo del teledermatoscopio. A tale scopo la semplicità di utilizzo dell'applicativo è ricercata non esclusivamente per il paziente - il quale spesso non dispone delle competenze adatte - ma anche per il personale sanitario, in maniera tale da velocizzare le visite con questa strumentazione.

Tutte le schermate che si andranno a spiegare rispecchiano la struttura operativa descritta nelle sezioni precedenti e il coinvolgimento dell'utente con tale interfaccia è fondamentale per la corretta esecuzione di tutte le operazioni sinora descritte.

I colori, gli stili e le caratteristiche delle diciture sono conformi al resto dell'applicazione ed in linea con le decisioni dell'azienda. Pertanto, non vi è stata alcuna modifica nel colore e nel format delle scritte impiegate.

4.5.a Passaggi principali

Per prima cosa è doveroso spiegare le principali grafiche delle schermate dell'applicazione visualizzate durante la fase di utilizzo del teledermatoscopio digitale. Questa considerazione è presente in questa sezione in quanto anche la fase di progettazione ed elaborazione della GUI fa parte dell'integrazione ed è stata realizzata durante l'esecuzione di tutte le funzionalità sinora descritte.

Verranno mostrati tutti i diversi passaggi principali con il supporto di diverse figure effettuate durante l'utilizzo dell'applicazione e verrà anche disposta una breve descrizione dell'interfaccia di ciascuna schermata e di ogni layout utilizzato.

Tutti i passaggi verranno disposti in ordine cronologico di esecuzione da parte dell'utente e del software, da sinistra verso destra. Le figure delle schermate di layout iniziano dalla pagina del paziente in quanto non sarebbe utile andare a spiegare tutte le precedenti visto che non fanno parte dell'integrazione del teledermatoscopio digitale.

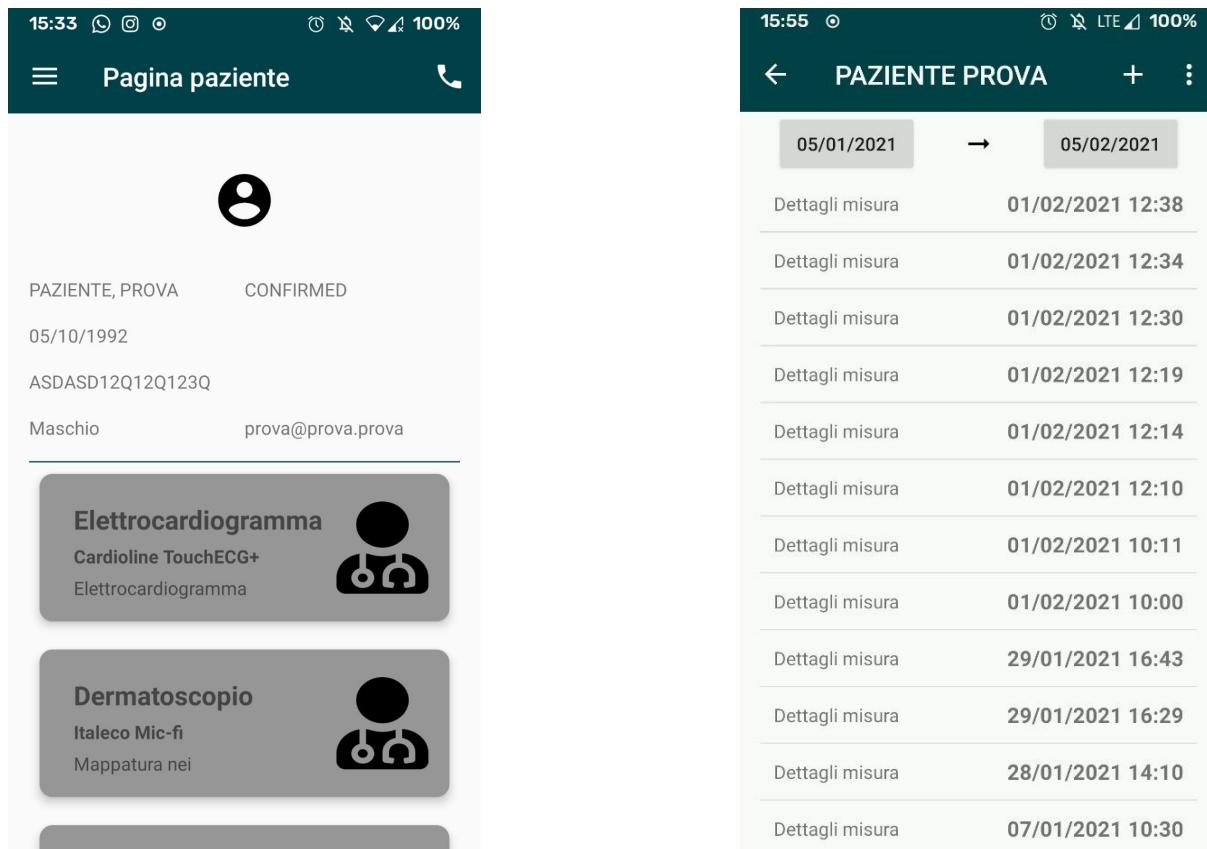


Figura 4.13. Schermata di visualizzazione dei dati relativi al paziente con la lista dei dispositivi associati (sinistra) e schermata della lista delle misurazioni del paziente (destra).

La prima schermata visibile a sinistra della Fig. 4.13 è quella della pagina del paziente, dove è possibile visualizzare i dati anagrafici dello stesso e i dispositivi ad esso associati.

Nella parte destra della Fig.4.13 è possibile vedere la lista delle misurazioni effettuate ordinate cronologicamente. In tale schermata è possibile anche filtrare le misure per data tramite gli appositi pulsanti. Come si può constatare dall'immagine è presente il pulsante di aggiunta di una nuova misurazione (pulsante +) e quello di invio delle misure non ancora inviate (indicato con tre pallini).

Selezionando una misura tra quelle nella lista verrà visualizzata l'immagine relativa alla misurazione stessa tramite la galleria immagini di Android. Questo passaggio non viene illustrato in questo elaborato.

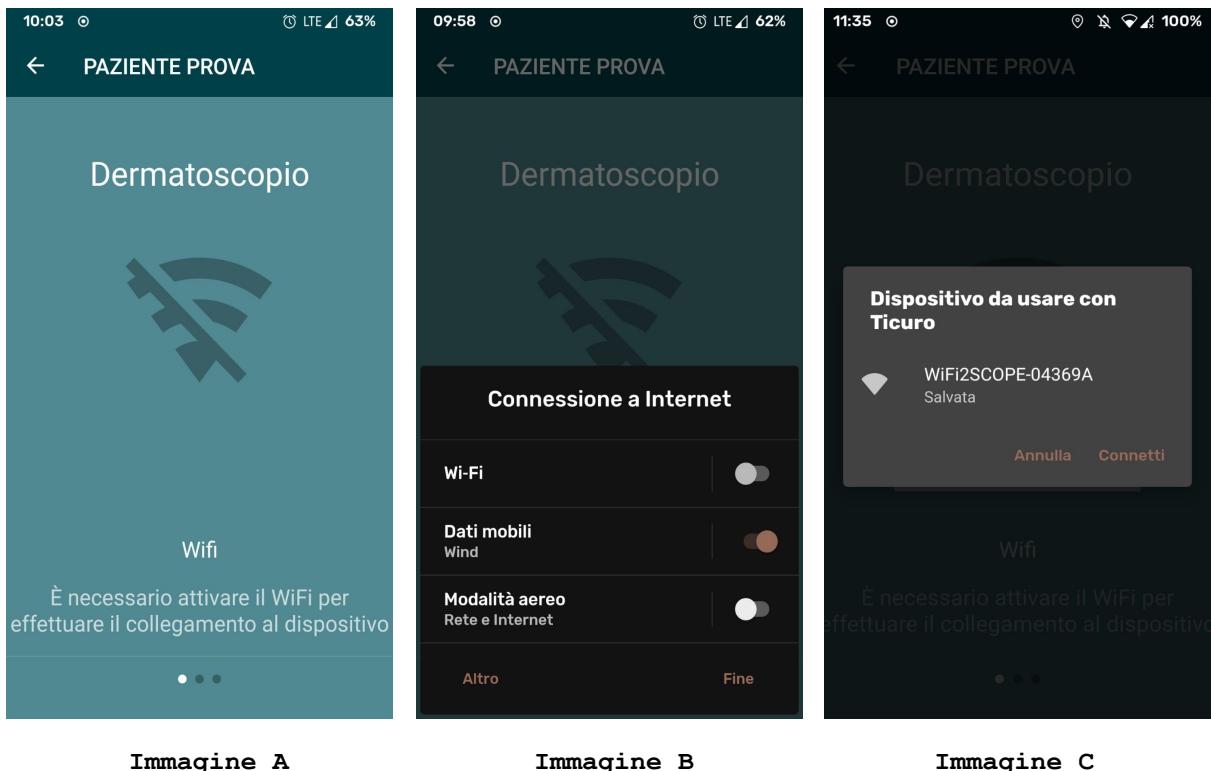


Figura 4.14. Schermata di visualizzazione della mancata accensione della rete Wi-Fi (immagine A), viene chiesto all’utente di attivarlo tramite il dialog nella schermata successiva (immagine B). Schermata contenente il dialog di richiesta di connessione alla rete del teledermatoscopio all’utente (immagine C).

Nella Fig.4.14 si può osservare come inizia il processo di aggiunta di una nuova misurazione. Inizialmente viene mostrata una schermata dove si attesta che la rete Wi-Fi del device mobile non è attiva, qualora non lo sia. Viene quindi richiesto all’utente di attivarla tramite un dialog di sistema, mostrato nell’immagine B. Una volta attivata la rete Wi-Fi, viene avviata la procedura di scanning dei device vicini al device mobile.

Quando viene trovata la rete specifica dello strumento dermatoscopico viene richiesto all’utente il permesso di connettersi alla rete dello strumento sanitario (nell’esempio *WiFi2SCOPE-04369A*), come mostrato nell’immagine C nella in Fig. 4.14.

Durante l’esecuzione di queste schermate la connessione ad internet tramite rete Wi-Fi viene interrotta e si passa al collegamento con la rete Wi-Fi dello strumento sanitario.

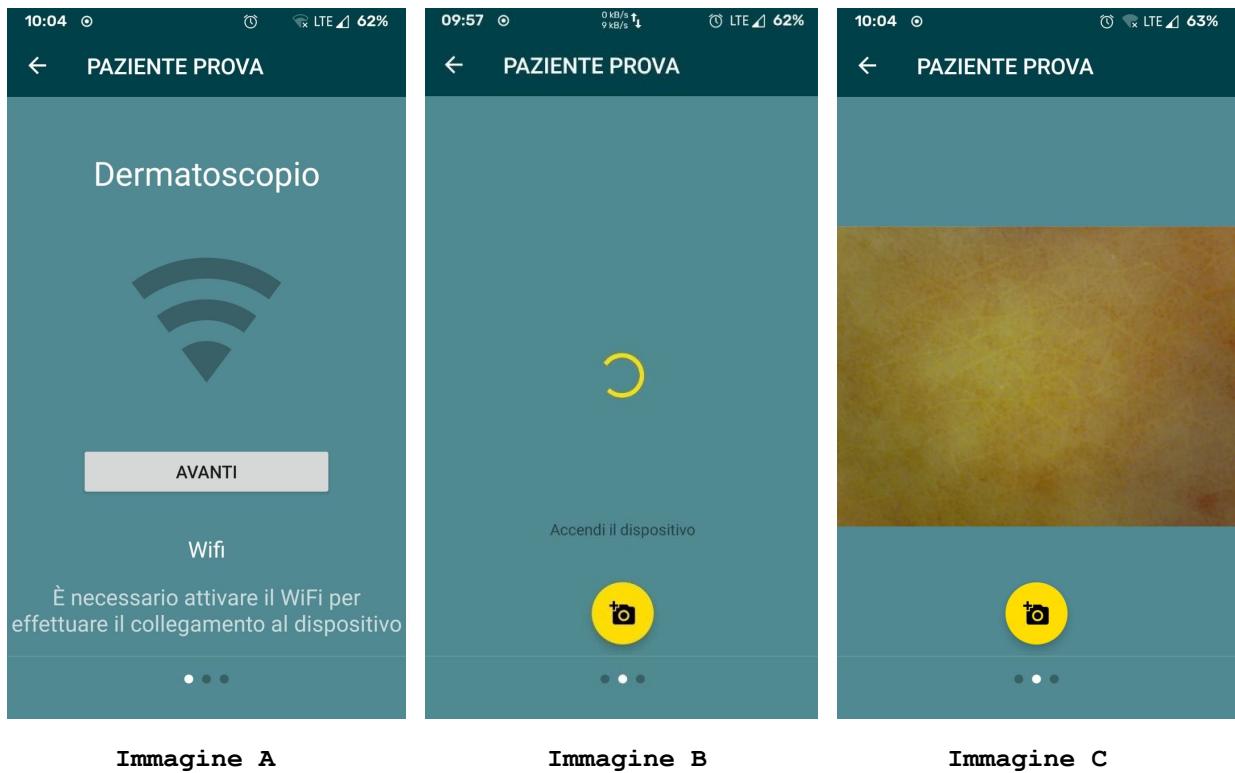


Figura 4.15. Schermata di visualizzazione della corretta connessione alla rete Wi-Fi (immagine A), viene mostrato una loading nel caso di ritardo della connessione allo streaming video (immagine B). Schermata contenente lo streaming video del teledermatoscopio (immagine C).

Una volta che il collegamento con la rete wireless del dermatoscopio è assicurato viene mostrato il pulsante ‘Avanti’ per poter andare a visualizzare correttamente lo streaming video.

Durante il caricamento è presente un componente di loading nel caso di ritardo della connessione con la pagina web predisposta allo streaming video (immagine B). Tale funzionalità è presente per permettere all’utente di comprendere il caricamento dello streaming video senza che possa essere considerato un problema dell’applicazione.

Successivamente, viene visualizzato correttamente lo streaming video (immagine C) con la possibilità di catturare il fotogramma attualmente visualizzato. Lo streaming video risponde correttamente al cambiamento di posizione del teledermatoscopio sulla cute del paziente e non presenta ritardi significativi nello streaming e difetti grafici nei pixels dell’immagine.

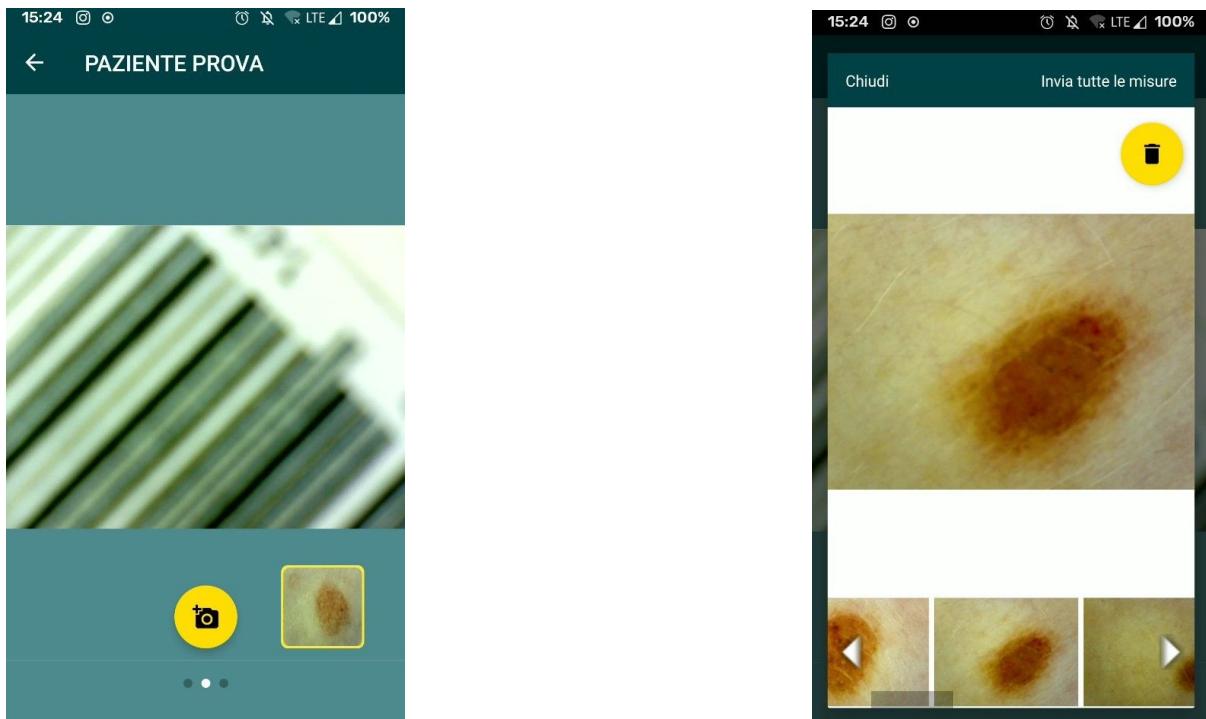


Figura 4.16. Schermata di visualizzazione dello streaming video e cattura del fotogramma, con conseguente visualizzazione della galleria immagini (sinistra). Schermata contenente la galleria immagini scrollabile in basso e l'immagine selezionata ingrandita nella parte in alto (destra).

Catturando l'immagine con l'apposito pulsante si aggiungerà l'immagine alla galleria, subito disponibile in basso a destra. Quando tale elemento viene selezionato verrà mostrata la galleria delle immagini, come si può vedere nell'immagine destra della Fig.4.16. La galleria delle immagini risulta scrollabile orizzontalmente e vi è inoltre la possibilità di selezionare un'immagine per visualizzarla ingrandita nella schermata in alto ed eventualmente decidere se si vuole eliminarla cliccando l'apposito pulsante in alto a destra.

La pagina relativa alla galleria può essere visualizzata, chiusa e ripresa ogni qualvolta l'utente lo desideri. Una volta visionate le immagini, si può passare alla fase finale di invio delle misure nella piattaforma Ticuro semplicemente cliccando il pulsante in alto a destra 'Invia tutte le misure' e le stesse saranno memorizzate nella schermata della galleria immagini.

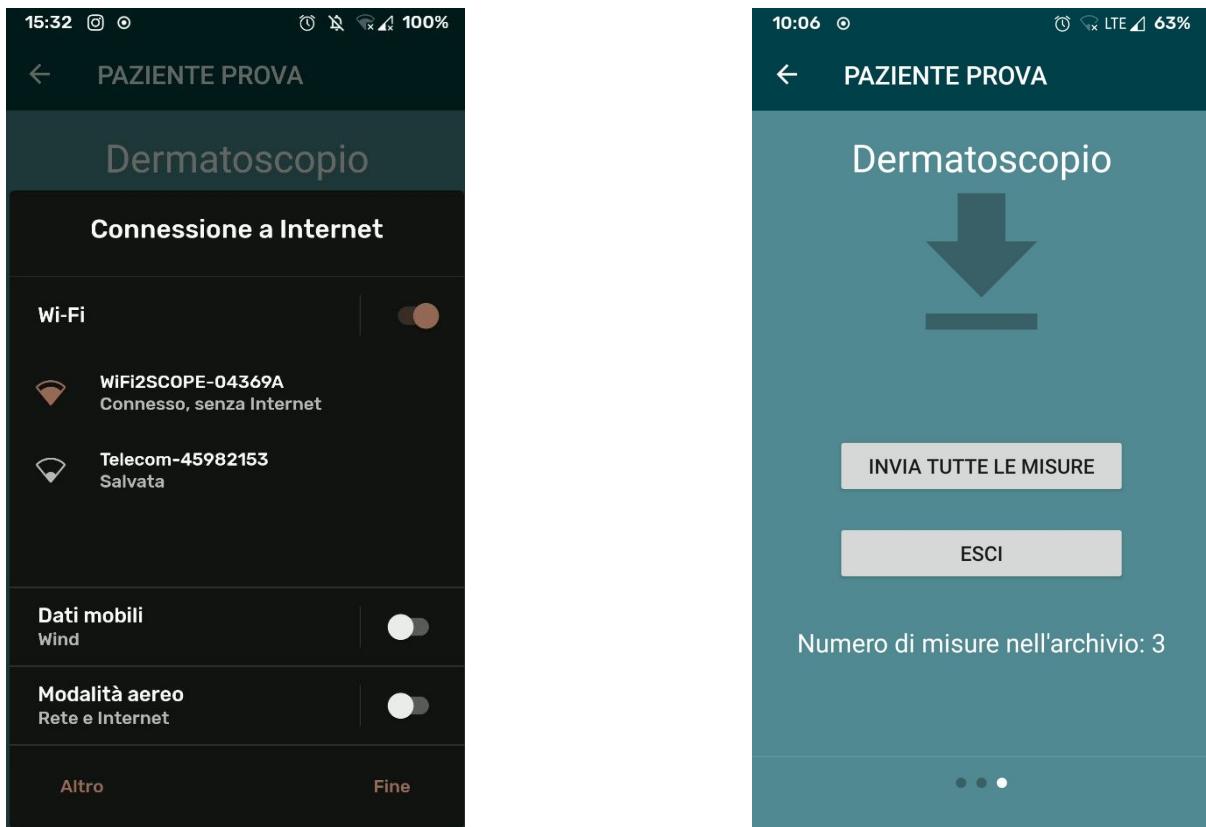


Figura 4.17. Schermata di visualizzazione della richiesta di riconnessione alla rete internet (sinistra). Schermata finale contenente l’invio delle misure appena catturate e il numero di misure nell’archivio da inviare al server remoto (destra).

Selezionando l’opzione di invio di tutte le misure, se non è presente una connessione internet, verrà richiesto all’utente di collegarsi ad internet via Wi-Fi o rete mobile tramite un dialog di sistema come visto in precedenza. Successivamente, l’utente verrà indirizzato verso l’ultima pagina di invio delle misure alla piattaforma Ticuro mostrata a sinistra della Fig. 4.17.

Una volta completato il trasferimento, verrà notificato all’utente con un dialog il corretto invio delle misure e si ritornerà alla schermata iniziale con la lista delle misure effettuate per ogni paziente. Nel caso ci sia stato qualche errore nell’invio delle misure o nella connessione con il server, verrà notificato il mancato invio delle misure e la possibilità di inviare, in un secondo momento, tramite l’opzione di invio delle misure non inviate, presente nella schermata di visualizzazione delle misure (Fig. 4.13 destra).

4.5.b Web application Ticuro

Oltre all'applicazione mobile Ticuro è presente anche una web application personalizzabile per ogni ente coinvolto nel progetto. Questa applicazione presenta funzionalità aggiuntive oltre a quelle già esistenti nell'applicazione mobile.

L'implementazione della web application non è motivo di questo elaborato, ma è stato riportato per completezza dell'insieme di funzionalità connesse con l'integrazione del dispositivo.

In tale applicazione web è possibile visionare le misure raccolte con il dermatoscopio, aggiungerne di nuove, cancellarle e persino compararle tra loro - aspetto non presente nell'applicazione mobile -. Tramite questa web application è dunque possibile vedere come l'integrazione e l'invio delle misure effettuate con il dermatoscopio riescano ad avere un fondamento pratico per l'utilizzo da parte dell'utente finale (medico o paziente che sia), anche al di fuori del dominio mobile.

La presenza di tale applicativo mostra come l'integrazione del teledermatoscopio digitale con l'applicazione mobile Ticuro sia utile e spendibile anche con servizi differenti da quelli presentati nell'elaborato di tesi.

CAPITOLO 5

Conclusioni

In questo capitolo si andranno a riportare le considerazioni finali riscontrate durante questa esperienza di tesi. Verranno inoltre discussi i vantaggi - già ampiamente spiegati nei capitoli precedenti - e gli svantaggi annessi a questa attività. A quest'ultimo proposito viene espressa l'opinione personale sull'impiego di queste tecnologie, più che per l'integrazione a se stante, che di per sua natura non offre grandi possibilità per opinioni soggettive.

Nella prima sezione del capitolo verranno introdotte le considerazioni finali dell'elaborato, mentre nella sezione successiva si andrà a valutare l'attività di tesi. In fine, ci sarà spazio per i possibili futuri sviluppi dell'applicativo.

L'intero caso studio è stato offerto dall'azienda ospitante il tirocinio curriculare, che personalmente ringrazio.

5.1 Considerazioni finali

L'integrazione è stata completata in linea con gli obiettivi iniziali ed è da ora possibile utilizzare correttamente il teledermatoscopio con l'applicazione mobile Android Ticuro. Sono state risolte tutte le problematiche iniziali legate alla robustezza del codice tramite una successiva revisione dei costrutti e delle funzioni utilizzate. Questo processo è servito per rendere l'integrazione più stabile e meno propensa a guasti.

Allo stato attuale il dispositivo permette la visualizzazione e la cattura delle immagini tramite l'applicazione Android Ticuro. I due strumenti sono facilmente utilizzabili da qualsiasi utente finale, medico o paziente che sia. Appare necessario sottolineare l'importanza che l'utente finale sia correttamente informato sull'utilizzo corretto dello strumento sanitario e

dell'applicazione mobile. Aspetto non da sottovalutare, in quanto il paziente potrebbe non essere a suo agio con la tecnologia o non avere la capacità di utilizzo degli strumenti. Proprio per questo si è cercato di sviluppare la user experience nella maniera più intuitiva possibile.. V'è però da notare come il personale sanitario sia altamente preparato tecnologicamente e spesso disponibile per corsi di aggiornamento sull'utilizzo dei macchinari digitali.

Un aspetto da non tralasciare nell'uso di queste tecniche di telemedicina è dunque la preparazione dell'utente finale all'utilizzo dei dispositivi e delle relative applicazioni, essenziale per un corretto servizio e per evitare di incorrere in problematiche legate all'attendibilità e correttezza dei dati sanitari.

Un'importante considerazione è d'obbligo anche in merito alla reperibilità degli strumenti. Mentre il device mobile è altamente presente sul mercato, lo stesso non vale per il teledermatoscopio digitale, che potrebbe risultare complesso da acquistare come privato. Esistono alcuni rivenditori privati per questi strumenti, ma hanno un costo che si potrebbe considerare elevato per un uso non frequente, ma solo sporadico dello strumento (circa 300-400 Euro). Pertanto, questa soluzione applicativa è spesso affidata a centri specializzati, farmacie ed ospedali, ovvero tutti gli enti che riescono facilmente a reperire questo genere di strumentazione sanitaria.

Per quanto riguarda la reperibilità dell'applicazione Ticuro, non risultano esserci problemi di rilievo, visto che è facilmente scaricabile dal sito dell'azienda e tra breve reperibile anche via Google Play Store.

Mi pare si possa rilevare un problema relativo all'aspetto sociale dell'attività, anche se in forma assai poco rilevante, per la mancanza di contatto fisico-interpersonale tra medico e paziente.

Mentre una problematica decisamente più rilevante per alcune tipologie di visite dermatologiche è la totale assenza di contatto con la pelle del paziente e, quindi, l'impossibilità da parte del personale sanitario di valutare le caratteristiche fisiche della zona cutanea sotto esame (che sia per la mappatura dei nevi o altri controlli cutanei). Tuttavia, questa problematica potrebbe essere lievemente arginata con l'inserimento di una nota sulla misurazione durante la cattura del fotogramma (come descritto nella sezione *5.3 Estensioni e sviluppi futuri*), in questo modo si potrebbe annotare anche le caratteristiche fisiche altrimenti non verificabili.

Nonostante queste limitate problematiche, i benefici forniti da questa integrazione sono evidenti e facilmente integrabili con il servizio sanitario attuale, in quanto il processo di digitalizzazione che si va a proporre non risulta essere complesso, ma anzi risulta essere semplificato il più possibile.

I benefici riscontrabili sono dunque quelli di facilitare la visita dermatologica e/o mappatura dei nevi del paziente nelle seguenti situazioni:

- pazienti residenti in zone remote o di difficile collegamento con il sistema sanitario;
- situazioni emergenziali (come quella attuale di pandemia da Covid-19, calamità naturali, etc.);
- impossibilità allo spostamento del paziente e/o medico curante;
- indisponibilità a fornire la visita in tempi ragionevoli;
- malattie croniche e/o cure costanti della pelle.

Inoltre, si può verificare come la procedura sia veloce e richieda minor tempo e risorse sia per il paziente che per il medico curante, che può valutare la condizione del paziente da remoto e/o in un secondo momento. Pertanto, il vantaggio di risparmio totale di risorse, sia per la comunità che per gli enti pubblici, risulta essere notevole.

5.2 Valutazione dell'attività di tesi

In questa sezione viene espresso un parere personale sull'attività di tesi curriculare svolta presso l'azienda proprietaria dell'applicazione mobile. Di seguito sarà quindi presente un'elaborazione soggettiva dell'esperienza di tesi, con delucidazioni su quanto appreso e sulle nuove conoscenze acquisite.

L'attività di integrazione del dispositivo è stata valutata personalmente positiva in quanto assai utile per comprendere le dinamiche di sviluppo di un software mobile, oltre ad aumentare la conoscenza personale nello sviluppo e progettazione di applicativi con nuove tecnologie.

Questa mia esperienza mi ha fatto comprendere a fondo il concetto di IoMT, sperimentando fin da subito con un'applicazione pratica i concetti assimilati durante lo studio della materia.

La lezione più importante intrapresa è stata quella di arricchire la conoscenza tecnologica personale nello studio delle tecnologie IoT e la possibilità di poter sperimentare in maniera pratica un caso studio innovativo. Inoltre, risulta essere particolarmente stimolante contribuire allo sviluppo di un servizio utile per migliorare la vita delle persone.

Un altro degli aspetti formativi di questa esperienza è sicuramente quello relativo alla praticità del software nel contesto di sanità pubblica e nella sua indubbia utilità nella vita delle persone.

La fase di integrazione del dispositivo è risultata complessa nella prima fase di progettazione in maniera tale da riuscire nell'arduo compito di utilizzare tutte le metodologie e tecniche migliori per il caso studio specifico, senza perdere troppe risorse su aspetti di poco rilievo. Tuttavia, una volta intraprese le decisioni strutturali e progettuali per lo svolgimento dell'elaborazione di un singolo processo, la fase di implementazione dello stesso non è risultata particolarmente complessa. Infine, bisogna far presente come la fase di testing delle funzionalità dell'applicativo sia stata eseguita a pari passo con lo sviluppo, per non incorrere in errori potenzialmente dannosi per il software in questione.

L'attività ha anche contribuito ad aumentare le mie capacità nella ricerca di soluzioni a problematiche pratiche in linguaggi di programmazione non ancora esercitati sinora, quindi stimolando anche la voglia di conoscere nuove tecnologie e nuovi strumenti utili per il futuro.

5.3 Estensioni e sviluppi futuri

Nella seguente sezione si andrà ad esplorare le possibili soluzioni per il futuro della telemedicina con l'aiuto della tecnologia IoMT e sulle possibili scelte future del caso studio presente nell'elaborato. Questa riflessione prevede quindi un primo spazio sulle diverse applicazioni possibili nel futuro della telemedicina e un secondo spazio dove si esercita un pensiero sul possibile avanzamento del caso studio.

Il futuro del mondo IoMT porta gli ospedali verso la digitalizzazione e innovazione tecnologica grazie allo sviluppo di sensori e strumenti sanitari digitali capaci di connettersi tra loro. I nuovi dispositivi saranno capaci di inviare segnali real-time sulla pressione del

sangue, livello di zuccheri nel corpo, ECG, valori del colesterolo, pressione arteriosa, immagini della cute del paziente, specifiche di peso, etc. aumentando la velocità delle diagnosi e, quindi, anche delle cure [AKA16]. Si potrà monitorare la presenza, stato e posizione di materiali sanitari costosi solamente impiantando degli RFID in tali strumenti [YLZ12] e l'utilizzo dell'IoT negli ospedali aiuterà nello stoccaggio dei medicinali, per evitare lo spreco di risorse. Si potrebbe anche optare per inserire tablet e/o device touchscreen per ogni paziente all'interno dell'ospedale, in maniera tale da connettere lo stesso con parenti e amici e permettere una degenza migliore. Un'altra soluzione, già in parte implementata, è quella di inserire dei punti di accesso alla rete ospedaliera (detti anche 'totem'), in maniera tale da consentire al personale sanitario di consultare i dati relativi al paziente in qualsiasi posizione dell'ospedale, diminuendo il consumo di carta e aumentando la velocità di erogazione del servizio. Anche le diverse soluzioni riguardanti la sicurezza negli ospedali condividono in parte la tecnologia IoMT per permettere l'accesso tramite appositi badge e/o tessere digitali solo al personale qualificato.

Le possibili evoluzioni del caso studio sono inerenti alle funzionalità aggiuntive che possono essere presenti nelle nuove versioni dell'applicazione. Verranno descritte solamente le funzionalità possibili per il teledermatoscopio digitale, senza considerare le eventuali integrazioni di molti altri strumenti sanitari digitali con l'applicazione.

Come possibile sviluppo l'applicazione Ticuro potrebbe contenere le stesse funzionalità aggiuntive che possiede la web application, quindi quelle di comparazione di più immagini. Questa opzione sarebbe utile per poter confrontare più immagini dello stesso nevo in date differenti: comparazione utile per valutarne eventuali crescite, peggioramenti e/o l'andamento clinico del paziente. Tale funzione è possibile inserirla nella pagina del dispositivo del paziente.

Un'altra possibile soluzione è quella relativa alla mappatura 2D della posizione della misura. Questa funzione sarebbe una fonte di informazione aggiuntiva sulla posizione del nevo indicata da un'immagine bidimensionale della sagoma del corpo umano, in tale circostanza il medico riuscirebbe a valutare la posizione della misura rispetto al corpo del paziente. Questa utile funzionalità si potrebbe aggiungere al tocco della visualizzazione della misura nella lista delle misure disponibili per ogni paziente.

Per quanto riguarda l'operazione ampiamente descritta nel caso studio, ovvero quella di aggiunta di una nuova misurazione, si potrebbe arricchire l'inserimento di dati con la

precedente opzione di posizionamento del nevo su una sagoma 2D del corpo umano e/o l'inserimento di nuovi dati durante la cattura del fotogramma, come per esempio, una nota scritta da parte del medico o informazioni indicatrici della forma e/o delle caratteristiche fisiche della cute sotto esame.

Bibliografia e sitografia

- [A1] Sito web di riferimento per la definizione di Activity:
<https://developer.android.com/reference/android/app/Activity>
- [A2] Sito web di riferimento per la definizione di Fragment:
<https://developer.android.com/guide/fragments>;
<https://developer.android.com/guide/fragments/lifecycle>
- [A3] Sito web di riferimento per la definizione di ViewModel:
<https://developer.android.com/reference/android/content/Intent>;
<https://developer.android.com/reference/android/arch/lifecycle/ViewModel>
- [A4] Sito web di riferimento per la definizione di Coroutine:
<https://developer.android.com/kotlin/coroutines>
- [A5] Sito web di riferimento per la definizione di Intent:
<https://developer.android.com/reference/android/content/Intent>
- [AGB14] I.F.Akyildiz, D.M.Gutierrez Estevez, R.Balakrishnan, E.Chavarria Reyes, “LTE-Advanced and the evolution to beyond 4G (B4G) systems”, Phys. Commun. 2014.
- [AHS21] A.Hafizah Mohd Aman, W.Haslina Hassan, S.Sameen, Z.Senan Attarbashi, Mojtaba Alizadeh, L.Abdul Latiff, “IoMT amid COVID-19 pandemic: Application, architecture, technology, and security”, 2021
- [AKA16] S.H.Almotiri, M.A.Khan, M.A.Alghamdi, “Mobile health (m- health) system in the context of iot,” in 2016 IEEE 4th International

Conference on Future Internet of Things and Cloud Workshops (Fi-CloudW), IEEE, 2016.

- [AIM10] L.Atzori, A.Iera, G.Morabito, “The internet of Things: A survey”, June 2010.
- [AV10] I.Akyildiz, M.C.Vuran, “Wireless Sensor Networks”, John Wiley & Sons Inc., New York, NY, USA. 2010.
- [B14] E.Borgia, “The Internet of Things vision: Key features, applications and open issues”. Oct. 2014.
- [CCFJK] M.Conti, S.Chong, S.Fdida, W.Jia, H.Karl, Y.D.Lin, P.Mähönen, M.Maier, R.Molva, S.Uhlig, M.Zukerman, “Research challenges towards the future internet”, Comp. Commun. 2011.
- [CLH12] M.Chen, V.C.M.Leung, R.Hjelsvold, X.Huang, “Smart and interactive ubiquitous multimedia services”, Comp. Commun. 2012.
- [EJ16] E.J.Project, “Cloud of Things for empowering the citizen clout in smart cities”, 2013 - 2016 <<http://clout-project.eu/>>.
- [F18] F.Firouzi et al., “Internet-of-Things and big data for smarter healthcare: From device to architecture, applications and analytics”, Futur. Gener. Comput. Syst., vol. 78, Part 2, pp. 583–586, 2018.
- [FDA11] M.Di Francesco, S.K.Das, G.Anastasi, “Data collection in wireless sensor networks with mobile elements: a survey”, ACM Trans. Sensor Network. 2011.
- [GKG13] O.Garcia-Morchon, D.Kuptsov, A.Gurtov, K.Wehrle, “Cooperative security in distributed networks”, Comp. Commun. 2013.

- [GR17] Gartner & Co. - "Gartner Says the Internet of Things Installed Base Will Grow to 26 Billion Units". Online by 2020, released 2015. [Online].
- [GTD12] K.Gama, L.Touseau, D.Donsez, "Combining heterogeneous service technologies for building an internet of things middleware". Comp. Commun. 2012.
- [KTL] Sito web di riferimento per documentazione del linguaggio di programmazione Kotlin: <https://developer.android.com/docs>
- [M14] M.Mandel, "Can the internet of everything bring back the high-growth economy? in: Internet of Everything Summit", Rome, July 2014.
- [MJP] Sito GitHub per la repository della libreria MJPEGView: <https://github.com/perthcpe23/android-mjpeg-view>
- [P13] A.Passarella, "A survey on content-centric technologies for the current internet: CDN and P2P solutions", Comp. Commun. 2012.
- [R1] Sito web di riferimento per Retrofit: <https://square.github.io/retrofit/>
- [R16] A.M.Rahmani et al., "Exploiting smart e-Health gateways at the edge of healthcare Internet-of-Things: A fog computing approach", Futur. Gener. Comput. Syst., vol. 78, pp. 641–658, 2016.
- [SRJ10] V.Suresh, J.Ramson, R.Jegan, "Internet of Medical Things (IOMT): An overview", March 2020.
- [Wiki1] Sito web di riferimento per la tipizzazione statica: https://it.wikipedia.org/wiki/Tipizzazione_statica

- [Wiki2] Sito web di riferimento per la definizione di Bitmap:
https://it.wikipedia.org/wiki/Windows_bitmap#:~:text=Windows
bitmap è un formato,%2C hanno generalmente l'estensione .
- [YLZ12] L.Yu, Y.Lu, X.-L.Zhu, L.Feng, “Research advances on technology of internet of things in medical domain,” Jisuanji Yingyong Yanjiu, 2012.
- M.Ifran, N.Ahmad, “Internet of Medical Things: Architectural Model, Motivational Factors and Impediments”, 2021
- S.H.Al Motiri, M.A.Khan, M.A.Al Ghamdi, “Mobile Health System in the context of IoT”, 2016
- G.I.Joyla, S.Rehman, A.Farooq, “ Internet of Medical Things (IOMT): Applications, Benefits and Future Challenges in Healthcare domain”, 2017
- R.Singh, “A proposal for Mobile E-Care Health Service System Using IOT for Indian Scenario”, 2016
- Documentazione tecnica libretto istruzioni d'uso dermatoscopio Mic-Fi Italeco.

Ringraziamenti

Ringrazio innanzitutto il Prof. Franco Zambonelli per avermi seguito durante la stesura dell'elaborato ed essere stato un punto di riferimento per tutta la durata del progetto, sia dal punto di vista formativo, ma anche dal punto di vista personale.

Ringrazio tutti i miei compagni di corso, che mi hanno permesso di affrontare questo percorso nel migliore dei modi.

Ringrazio anche il mio team e l'azienda sede del mio tirocinio curriculare, che mi hanno aiutato e seguito durante tutto il tirocinio e l'elaborazione della tesi.

Ringrazio infine la mia famiglia e la mia fidanzata, che mi hanno seguito in tutto questo percorso, consigliandomi al meglio e non facendomi mai mancare la fiducia e l'appoggio di cui avevo bisogno.