



**Politecnico
di Torino**

Politecnico di Torino

Ingegneria Informatica

A.a. 2023/2024

Sessione di laurea Luglio 2024

**Migliorare la sicurezza dei
lavoratori: un approccio basato su
smartphone e rete di sensori**

Relatori:

Luigi De Russis

Mirko Landolfo

Candidata:

Laura Zurru

Indice

| | |
|---|----|
| Elenco delle figure | v |
| 1 Introduzione | 1 |
| 1.1 Contesto | 1 |
| 1.2 Descrizione idea progettuale | 4 |
| 1.3 Obiettivi | 5 |
| 1.4 Struttura della tesi | 6 |
| 2 Studio del dominio | 8 |
| 2.1 Sicurezza dei lavoratori | 8 |
| 2.2 Stato dell'arte scientifico-tecnologico | 12 |
| 2.2.1 Smart DPI | 12 |
| 2.3 Vincoli normativi | 14 |
| 3 Progettazione del prototipo | 16 |
| 3.1 Caratteristiche | 16 |
| 3.1.1 Livello edge | 17 |
| 3.1.2 Livello fog | 17 |
| 3.1.3 Livello cloud | 18 |
| 3.2 Formalizzazione requisiti di progetto | 18 |
| 3.3 Scelte tecnologiche | 19 |
| 3.3.1 Prototipo | 19 |
| 3.3.2 Applicazione mobile | 19 |
| 3.3.3 Applicazione web | 22 |
| 3.4 Funzionalità offerte | 23 |
| 3.4.1 Applicazione web | 23 |
| 3.4.2 Applicazione mobile | 24 |
| 3.5 Architettura del sistema | 25 |
| 3.5.1 Architettura della piattaforma web | 27 |
| 3.5.2 Architettura dell'applicazione mobile | 33 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 4 | Implementazione | 42 |
| 4.1 | Implementazione dashboard | 42 |
| 4.2 | Implementazione applicazione mobile | 55 |
| 4.2.1 | Comunicazione con le solette smart | 65 |
| 4.2.2 | Comunicazione con il Garmin | 67 |
| 4.3 | Difficoltà riscontrate nel progetto | 70 |
| 5 | Valutazione del sistema | 73 |
| 5.1 | Pianificazione | 73 |
| 5.2 | Valutazione dashboard | 74 |
| 5.3 | Valutazione applicazione mobile | 78 |
| 5.4 | Possibili modifiche all'interfaccia | 81 |
| 6 | Conclusioni | 83 |
| 6.1 | Sviluppi futuri | 84 |
| A | Script per la valutazione del prototipo (Applicazione web) | 85 |
| A.1 | Presentazione | 85 |
| A.2 | Istruzioni | 85 |
| A.3 | Attività | 86 |
| A.3.1 | Attività 1: Comprensione della pagina principale | 86 |
| A.3.2 | Attività 2: Navigazione e interazione con pagina dell'operatore | 86 |
| A.3.3 | Attività 3: Interazione con il popup di allarme | 86 |
| A.3.4 | Attività 4: navigazione e comprensione della pagina dei grafici | 87 |
| A.3.5 | Attività 5: visualizzazione e aggiunta delle sedi | 87 |
| A.3.6 | Attività 6: visualizzazione e aggiunta dei dispositivi | 87 |
| A.3.7 | Attività 7: aggiunta e modifica di un operatore | 87 |
| A.4 | Debriefing | 87 |
| B | Script per la valutazione del prototipo (Applicazione mobile per operatori) | 89 |
| B.1 | Presentazione | 89 |
| B.2 | Istruzioni | 89 |
| B.3 | Attività | 90 |
| B.3.1 | Attività 1: login e connessione dispositivi | 90 |
| B.3.2 | Attività 2: modifica informazioni | 90 |
| B.3.3 | Attività 3: pagina dispositivi e segnalazione errore | 90 |
| B.3.4 | Attività 4: segnalazione allarme | 90 |
| B.4 | Debriefing | 90 |
| C | Questionari SUS applicazione web | 92 |

| | |
|---------------------------------------|-----|
| D Questionari SUS applicazione mobile | 98 |
| Bibliografia | 104 |

Elenco delle figure

| | | |
|------|--|----|
| 1.1 | Denunce d'infortunio per modalità di accadimento [5] | 1 |
| 1.2 | Grafico relativo alle denunce d'infortunio per modalità di accadimento | 2 |
| 1.3 | Denunce d'infortunio con esito mortale per modalità di accadimento [5] | 2 |
| 1.4 | Grafico relativo alle denunce d'infortunio con esito mortale per modalità di accadimento | 3 |
| 3.1 | Quadro d'insieme del sistema SLIM | 17 |
| 3.2 | Architettura del sistema | 26 |
| 3.3 | Pagina di login dell'amministratore (Figma) | 27 |
| 3.4 | Pagina principale applicazione web (Figma) | 28 |
| 3.5 | Pagina di informativa sull'operatore (Figma) | 29 |
| 3.6 | Popup allarme operatore (Figma) | 30 |
| 3.7 | Grafici riepilogativi sullo stato di salute degli operatori nel mese di Aprile (Figma) | 30 |
| 3.8 | Pagina delle sedi (Figma) | 31 |
| 3.9 | Pagina dei dispositivi (Figma) | 32 |
| 3.10 | Pagina di registrazione di un nuovo operatore nel sistema (Figma) | 33 |
| 3.11 | Pagina di modifica delle informazioni di un operatore (Figma) | 33 |
| 3.12 | Pagina di login dell'operatore (Figma) | 34 |
| 3.13 | Ricerca e associazione automatica delle solette (Figma) | 35 |
| 3.14 | Ricerca e associazione automatica del Garmin (Figma) | 35 |
| 3.15 | Procedura di associazione completata (Figma) | 35 |
| 3.16 | Pagina principale: dispositivi connessi, operatore in sede (Figma) | 36 |
| 3.17 | Pagina principale: dispositivi connessi, operatore in trasferta (Figma) | 36 |
| 3.18 | Pagina dei dispositivi dell'operatore (Figma) | 36 |
| 3.19 | Pagina di allarme (Figma) | 36 |
| 3.20 | Profilo personale operatore (Figma) | 37 |
| 3.21 | Modifica del profilo personale dell'operatore (Figma) | 37 |
| 3.22 | Pagina principale dell'applicazione per ricercatori (Figma) | 38 |
| 3.23 | Procedura di associazione del Garmin: ricerca del Garmin in corso (Figma) | 39 |

| | | |
|------|---|----|
| 3.24 | Procedura di associazione del Garmin: dispositivo trovato (Figma) | 39 |
| 3.25 | Procedura di associazione del Garmin: scelta di un altro dispositivo (Figma) | 39 |
| 3.26 | Procedura di associazione del Garmin: pairing del dispositivo in corso (Figma) | 39 |
| 3.27 | Procedura di associazione del Garmin: pairing completato con successo (Figma) | 39 |
| 3.28 | Pagina del dispositivo Garmin (Figma) | 40 |
| 3.29 | Pagina delle solette: ricerca in corso dei dispositivi (Figma) | 41 |
| 3.30 | Pagina delle solette: dispositivi trovati e connettabili (Figma) | 41 |
| 3.31 | Pagina delle solette: dispositivi connessi e funzionanti (Figma) | 41 |
| 3.32 | Pagina principale: dispositivi connessi e possibilità di iniziare una nuova registrazione (Figma) | 41 |
| 3.33 | Pagina principale: dispositivi connessi e registrazione in corso (Figma) | 41 |
| 4.1 | Pagina di login dell'amministratore | 42 |
| 4.2 | Pagina principale | 43 |
| 4.3 | Riga della tabella relativa ad un operatore assente | 44 |
| 4.4 | Pagina di un operatore assente | 44 |
| 4.5 | Riga della tabella relativa ad un operatore presente e con stato di salute normale | 44 |
| 4.6 | Pagina di un operatore presente a lavoro con tutti i dispositivi connessi e stato di salute normale | 45 |
| 4.7 | Riga della tabella relativa ad un operatore presente con dispositivo disconnesso | 45 |
| 4.8 | Pagina dell'operatore: operatore con dispositivo non connesso | 45 |
| 4.9 | Popup di identificazione di errore su un dispositivo | 46 |
| 4.10 | Riga della tabella relativa ad un operatore presente in stato di stress cardiaco | 46 |
| 4.11 | Pagina dell'operatore in stato di stress cardiaco | 46 |
| 4.12 | Popup di allarme operatore in stato di stress cardiaco | 47 |
| 4.13 | Riga della tabella relativa ad un operatore presente in stato di stress arti | 47 |
| 4.14 | Popup di allarme operatore in stato di stress arti | 47 |
| 4.15 | Popup conferma disattivazione allarme | 48 |
| 4.16 | Popup scatenato cliccando sulla chip di allarme associata all'operatore nella tabella | 49 |
| 4.17 | Riga della tabella relativa ad un operatore in trasferta, in stato di emergenza | 49 |
| 4.18 | Popup di allarme operatore in trasferta | 49 |
| 4.19 | Pagina dei grafici | 50 |

| | | |
|------|---|----|
| 4.20 | Pagina delle sedi | 50 |
| 4.21 | Visualizzazione sulla mappa della posizione della sede | 51 |
| 4.22 | Popup form per il caricamento manuale della sede | 51 |
| 4.23 | Popup caricamento sedi tramite csv | 52 |
| 4.24 | Pagina dei dispositivi | 52 |
| 4.25 | Aggiunta di un dispositivo manualmente | 53 |
| 4.26 | Aggiunta dei dispositivi tramite file csv | 53 |
| 4.27 | Popup di notifica di non possibilità a cancellare perché già assegnato | 54 |
| 4.28 | Pagina di registrazione di un nuovo operatore nel sistema | 54 |
| 4.29 | Pagina di modifica dell'operatore | 55 |
| 4.30 | Pagina di login operatori | 55 |
| 4.31 | Popup per il reindirizzamento al completamento profilo | 56 |
| 4.32 | Possibilità di modifica della foto tramite fotocamera o scegliendo da galleria | 56 |
| 4.33 | Pagina per modificare le informazioni del profilo | 56 |
| 4.34 | Profilo operatore | 57 |
| 4.35 | Popup di conferma dell'uscita dall'applicazione | 57 |
| 4.36 | Pagina principale con posizione di default | 58 |
| 4.37 | Pagina principale operatore in trasferta | 58 |
| 4.38 | Schermata di SOS: allarme inviato | 59 |
| 4.39 | Schermata di SOS: allarme ricevuto e preso in carico da un ammini- stratore | 59 |
| 4.40 | Popup di conferma annullamento dell'allarme | 59 |
| 4.41 | Pagina dispositivi: dispositivi connessi | 60 |
| 4.42 | Pagina dispositivi: soletta disconnessa e ricerca della soletta in corso | 60 |
| 4.43 | Gestione errori: segnala errore | 60 |
| 4.44 | Gestione errori: conferma segnalazione errore | 60 |
| 4.45 | Gestione errori: "Connessione non riuscita" segnalato | 60 |
| 4.46 | Gestione errori: cancella errore | 60 |
| 4.47 | Pagina principale: dispositivi disconnessi | 61 |
| 4.48 | Pagina principale: solette parzialmente connesse | 61 |
| 4.49 | Pagina principale: Garmin non associato | 61 |
| 4.50 | Pagina principale: dispositivi connessi | 61 |
| 4.51 | Pagina principale: registrazione in corso | 62 |
| 4.52 | Pagina principale: popup di conferma di interruzione della registrazione | 62 |
| 4.53 | Pagina principale: popup di conferma di registrazione finita | 62 |
| 4.54 | Procedura di associazione: ricerca solette in corso | 65 |
| 4.55 | Procedura di associazione: associazione solette avvenuta con successo | 65 |
| 4.56 | Ricerca solette in corso | 66 |
| 4.57 | Soletta destra trovata | 66 |
| 4.58 | Solette connesse | 66 |

| | | |
|------|--|----|
| 4.59 | Solette connesse, con indicazioni dei relativi valori esercitati sui sensori | 66 |
| 4.60 | Ricerca garmin in corso | 68 |
| 4.61 | Popup: connessione ad internet non attiva | 68 |
| 4.62 | Garmin trovato, associazione in corso | 68 |
| 4.63 | Codice di associazione Garmin | 69 |
| 4.64 | Garmin associato correttamente | 69 |
| 4.65 | Pagina di informazione sull'avvenuta connessione dei dispositivi . . | 69 |
| 4.66 | Pagina del dispositivo Garmin | 70 |

Capitolo 1

Introduzione

1.1 Contesto

La situazione globale della sicurezza sul lavoro presenta dati allarmanti, con circa 340 milioni di incidenti ogni anno a livello mondiale. Secondo l'Organizzazione Internazionale del Lavoro (ILO) [1], si registrano sul pianeta ogni anno circa 2,3 milioni di decessi a causa di incidenti sul lavoro o malattie correlate, equivalenti a più di 6.000 morti al giorno [2], numeri, purtroppo, che sembrerebbero in deciso aumento [3]. Nel contesto nazionale, invece, come si evince dal sito dell' Istituto Nazionale per l'Assicurazione contro gli Infortuni sul Lavoro (INAIL): “Le denunce di infortunio sul lavoro presentate all'Istituto tra gennaio e dicembre” 2023 “sono state 585.356 (-16,1% rispetto al 2022), 1.041 delle quali con esito mortale (-4,5%)” [4].

Tabella B1 - Denunce d'infortunio per modalità di accadimento

| Modalità di accadimento | Dicembre 2022 | Dicembre 2023 | Gennaio-Dicembre 2022 | Gennaio-Dicembre 2023 |
|--------------------------|---------------|---------------|-----------------------|-----------------------|
| In occasione di lavoro | 34.135 | 31.351 | 607.806 | 491.165 |
| Senza mezzo di trasporto | 33.863 | 31.036 | 593.710 | 477.197 |
| Con mezzo di trasporto | 272 | 315 | 14.096 | 13.968 |
| In itinere | 5.087 | 5.041 | 89.967 | 94.191 |
| Senza mezzo di trasporto | 4.166 | 4.152 | 35.190 | 37.895 |
| Con mezzo di trasporto | 921 | 889 | 54.777 | 56.296 |
| Totale | 39.222 | 36.392 | 697.773 | 585.356 |

Figura 1.1: Denunce d'infortunio per modalità di accadimento [5]

Di conseguenza, diventa imperativo rafforzare gli obblighi di conformità di strumenti e procedure di sicurezza ed i controlli sulla corretta applicazione. È particolarmente importante, inoltre, incentivare anche la ricerca e lo sviluppo di soluzioni innovative nel campo dei Dispositivi di Protezione Individuale (DPI) per contribuire ulteriormente ad una maggiore sicurezza sui luoghi di lavoro [2].

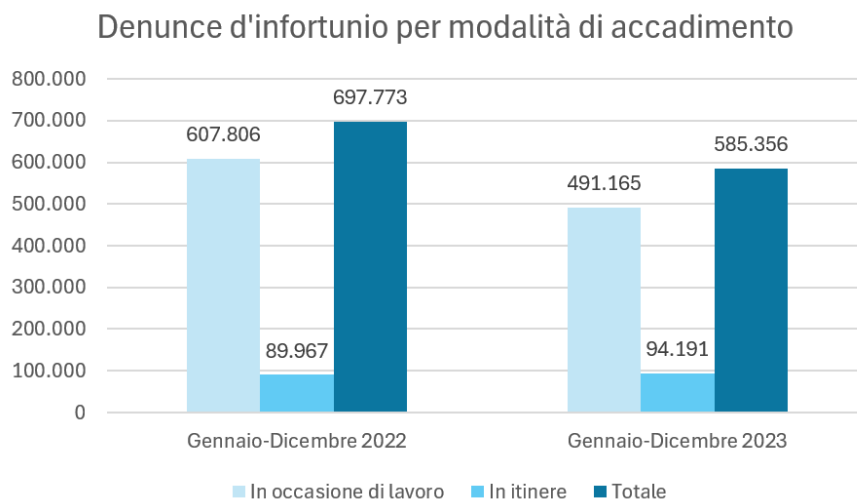


Figura 1.2: Grafico relativo alle denunce d’infortunio per modalità di accadimento

Tabella B2 - Denunce d'infortunio con esito mortale per modalità di accadimento

| Modalità di accadimento | Dicembre 2022 | Dicembre 2023 | Gennaio-Dicembre 2022 | Gennaio-Dicembre 2023 |
|--------------------------|---------------|---------------|-----------------------|-----------------------|
| In occasione di lavoro | 38 | 30 | 790 | 799 |
| Senza mezzo di trasporto | 38 | 29 | 616 | 635 |
| Con mezzo di trasporto | 0 | 1 | 174 | 164 |
| In itinere | 14 | 16 | 300 | 242 |
| Senza mezzo di trasporto | 14 | 16 | 92 | 98 |
| Con mezzo di trasporto | 0 | 0 | 208 | 144 |
| Totale | 52 | 46 | 1.090 | 1.041 |

Figura 1.3: Denunce d’infortunio con esito mortale per modalità di accadimento [5]

Nel contesto dell’Industria 4.0, la digitalizzazione, l’Internet of Things (IoT) e l’Intelligenza Artificiale (IA) stanno trasformando il settore manifatturiero, rendendo sempre più agevole ed efficiente il lavoro e implementando sistemi di sicurezza dei lavoratori sempre più efficaci. Infatti, la sicurezza dei lavoratori, soprattutto in ambienti industriali e isolati, con alti rischi di incidenti e infortuni, è una priorità fondamentale per le aziende. Lo stesso sviluppo normativo e sempre più stringente, soprattutto per l’adozione di misure adeguate per proteggere i lavoratori, in particolare di quelli che operano in condizioni di isolamento e di maggior rischio [6].

In quest’ambito l’incremento dell’uso di tecnologie smart nell’ambiente industriale ha messo a disposizione nuovi strumenti per migliorare la sicurezza sul lavoro. Infatti i DPI tradizionali (guanti, elmetti, visiere...), pur essendo fondamentali per la protezione dei lavoratori, presentano diverse limitazioni, tra cui l’impossibilità di monitoraggio, essendo strumenti di protezione passiva, senza possibilità di reazione

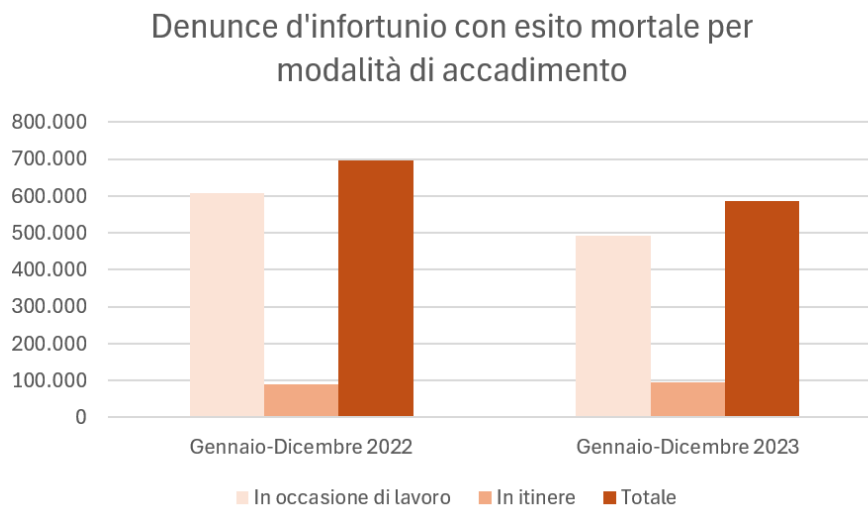


Figura 1.4: Grafico relativo alle denunce d’infortunio con esito mortale per modalità di accadimento

agli stimoli esterni e di segnalazione di situazioni di alto rischio per intervenire attivamente in situazioni di emergenza. Gli attuali Smart DPI, invece, presentano nuove componenti tecnologiche e “sono dunque dispositivi di protezione individuale che ricevono, trasmettono e reagiscono ai dati che processano” [6], permettendo la percezione immediata delle situazioni di pericolo e la conseguente possibilità di immediato intervento teso ad abbassare o eliminare del tutto la situazione di rischio [6].

Le tecnologie per la sicurezza dei lavoratori isolati, pertanto, hanno subito un’evoluzione significativa con l’introduzione degli Smart DPI, che utilizzano sensori avanzati, connettività e algoritmi intelligenti per monitorare in tempo reale lo stato di salute e la posizione dei lavoratori. Gli Smart DPI rappresentano una fusione tra i tradizionali dispositivi di protezione, che proteggono il lavoratore da vari pericoli, e nuove componenti tecnologiche che trasmettono dati e reagiscono a input esterni [6].

I dispositivi smart, come guanti, elmetti e abbigliamento antinfortunistico, dotati di sensori smart, rappresentano quindi attualmente strumenti essenziali per la sicurezza dei lavoratori. Tramite i sensori installati possono monitorare e reagire a varie situazioni emergenziali, inviando allarmi in tempo reale, per es. in situazioni di fughe di gas nocivi. La capacità di questi strumenti di interrompere automaticamente le operazioni di produzione, in caso di non conformità con le norme di sicurezza, rappresenta un ulteriore livello di protezione [6].

1.2 Descrizione idea progettuale

Il presente lavoro si inserisce organicamente all'interno del progetto di ricerca "Sicurezza del **L**avoratore **I**n **M**ovimento" (SLIM), promosso da Wiicom s.r.l., in qualità di capofila, e della società Interlogic Srl e Modelway Srl in qualità di partner. SLIM intende sviluppare un ecosistema, basato su smartphone e Smart DPI, per migliorare la sicurezza e il benessere dei lavoratori in ambiente industriale.

Il progetto propone una soluzione innovativa basata su una piattaforma intelligente, utilizzando uno smartphone come gateway principale. Attraverso l'uso di sensori indossabili, il sistema raccoglie dati vitali e di movimento utili ad evidenziare in tempo reale situazioni di alto rischio di incidenti per l'operatore, consentendo tra l'altro di monitorare nel tempo lo stato di salute e il benessere dei lavoratori. Come sopra accennato la peculiarità di SLIM non risiede semplicemente nell'implementazione di sensori di sicurezza, ma più specificatamente nell'utilizzo di uno smartphone come hub centrale, che permette di creare un sistema molto versatile, che tra l'altro, consentirà anche una più facile integrazione futura di ulteriori sensori, in funzione dell'evoluzione tecnologiche e delle specifiche esigenze delle diverse realtà operative.

Il progetto si focalizzerà principalmente su due DPI IoT: lo smartwatch e la soletta intelligente, integrati in un sistema di sicurezza per i lavoratori dell'industria 4.0.

Il sistema SLIM prevede due casi d'uso principali:

1. Man Down Detection (MDD): monitoraggio tramite smartwatch per rilevare cadute e immobilità prolungata, inviando segnali di allarme automatici;
2. ergonomia sul lavoro: utilizzo di solette intelligenti per monitorare e analizzare i carichi gravanti sugli operatori, contribuendo a prevenire infortuni.

Nel progetto ogni DPI con tecnologia IoT è connesso in rete e, come tale, può colloquiare o con altri dispositivi connessi della stessa rete, o con un gestionale, a cui può inviare dei dati utili ad analisi, trend e allarmi.

Ad esempio, parametri come un aumento improvviso della frequenza cardiaca, movimenti bruschi indicativi di una caduta o assenza di movimento per periodi prolungati possono indicare situazioni di alto rischio per l'incolumità dell'operatore. Tali allarmi vengono trasmessi sia all'operatore coinvolto, sia al sistema di sicurezza aziendale centralizzato, permettendo interventi tempestivi per ridurre o eliminare il rischio di incidenti. Questo approccio sostituisce gli strumenti specializzati e i dispositivi di allarme tradizionali, offrendo una maggiore scalabilità grazie all'applicazione mobile e alla versatilità del sistema.

A livello progettuale si intende accrescere la sostenibilità del lavoro attraverso il miglioramento della sicurezza e dell'ergonomia a medio-lungo termine, non solo

dei lavoratori isolati ma in generale di tutti i lavoratori a rischio, sia fisico che cognitivo. La corretta applicazione di tali tecnologie, infatti, può favorire oltre che la salvaguardia dello stato fisico dell'operatore, anche condizioni di lavoro più serene, con minori situazioni di stress fisico e mentale dello stesso. Il conseguente maggior benessere generale del lavoratore si potrà quindi tradurre, in prospettiva, anche in maggior produttività e continuità lavorativa. Si tratta quindi di una soluzione win-win, visti i vantaggi generali per impresa e lavoratori. La loro importanza è sempre più evidente, soprattutto in un contesto in cui la popolazione operaia sta invecchiando progressivamente e i tradizionali sistemi di lean production sembrano non riuscire a conciliare l'intensificazione del lavoro con la necessità di renderlo sostenibile dal punto di vista fisico e cognitivo. Quanto sopra, tuttavia, richiede evidentemente anche un maggiore coinvolgimento e responsabilizzazione diretta dei lavoratori nelle attività di miglioramento continuo e nei processi decisionali relativi alla gestione delle attività produttive.

Con il presente lavoro ci si propone quindi di contribuire alla riduzione del rischio di incidenti sul lavoro, mediante l'implementazione di un sistema di monitoraggio avanzato, per rilevare parametri indicativi di possibili situazioni di pericolo (es. aumento improvviso della frequenza cardiaca, assenza di movimento per periodi prolungati) e fornire allarmi e avvisi in tempo reale, per l'immediato avvio delle misure d'intervento per la messa in sicurezza del/i lavoratore/i.

1.3 Obiettivi

All'interno del progetto SLIM, questa tesi si focalizza sulla creazione di un sistema hardware-software integrato, per la connessione di dispositivi indossabili e per la contestuale raccolta dei dati. In particolare il sistema si avvale di dispositivi indossabili, come smartwatch e solette sensorizzate, che raccolgono dati dai sensori ivi installati e li inviano tramite Bluetooth (BLE) allo smartphone.

Nel progetto saranno costruite ad hoc app mobile e webapp per la gestione degli smart DPI, utilizzando dei dispositivi di mercato, già provvisti della sensoristica necessaria.

Più nel dettaglio questo lavoro di tesi si propone l'obiettivo di sviluppare:

- un'applicazione mobile che abbia due versioni, configurabili mediante un flag interno, che si distinguono per alcune delle funzionalità offerte a seconda dell'utilizzatore:
 - versione per i lavoratori: questa versione permette agli operatori di connettere tutti i dispositivi indossabili, solette smart e smartwatch, che gli sono stati assegnati dall'amministratore in fase di registrazione, rilevando dati vitali (es. battito cardiaco) e di movimento (es. accelerometro) in

tempo reale. Inoltre, consente di mandare allarmi in caso di emergenza e di monitorare, in caso di allarme, la posizione sul posto di lavoro.

- versione per i ricercatori: questa versione è in grado di collegare i dispositivi e registrare i dati dai vari sensori indossabili. Questi dati, ottenuti anche tramite simulazioni di situazioni di pericolo effettuate dai ricercatori dell'azienda partner del progetto, verranno studiati per lo sviluppo di algoritmi di intelligenza artificiale in grado di monitorare eventuali incidenti e lo stato di salute (es. identificazione dell'uomo a terra, stress cardiaco, ecc.).
- una piattaforma web che consenta all'azienda la visione centralizzata del sistema di sicurezza attivo, per la gestione dei dispositivi di tutti i lavoratori, per la gestione degli allarmi segnalati dai lavoratori, con relative posizioni del lavoratore nelle varie sedi pre-registrate nel sistema o rilevate all'occorrenza.

Il lavoro della tesi ha, quindi, l'obiettivo generale di contribuire allo sviluppo di un ecosistema di sensori smart funzionale al monitoraggio e alla gestione di alcuni parametri utili al miglioramento della sicurezza e del benessere dei lavoratori.

1.4 Struttura della tesi

Questo capitolo introduttivo illustra l'importanza della sicurezza dei lavoratori e motiva l'interesse per lo sviluppo di questo innovativo progetto di ricerca. Nel secondo capitolo si effettuerà lo “Studio del dominio”, che fornisce una panoramica generale del problema della sicurezza dei lavoratori e del contesto normativo attuale. Successivamente analizza le tecnologie attuali, con particolare attenzione agli Smart DPI (Dispositivi di Protezione Individuale). Vengono quindi identificati i vincoli normativi e le sfide tecniche e organizzative da affrontare nello sviluppo della soluzione.

Nel capitolo 3, “Progettazione del prototipo”, vengono definiti i requisiti funzionali e non funzionali necessari, vengono inoltre descritte le varie tecnologie scelte per il progetto e viene fornita una descrizione delle funzionalità e dell'architettura del sistema.

Il capitolo 4, “Implementazione del Sistema”, descrive lo sviluppo della dashboard e dell'applicazione mobile, con un focus particolare sulla comunicazione di quest'ultima con i vari sensori. Il capitolo si conclude illustrando le principali difficoltà incontrate durante lo sviluppo del sistema e le soluzioni adottate.

Nel capitolo 5, “Valutazione del sistema”, viene descritto il processo seguito per valutare l'usabilità del prototipo ideato. Tramite i dati raccolti si evidenziano i punti di forza e di debolezza del sistema.

La tesi si conclude specificando gli obiettivi raggiunti e presentando le prospettive di sviluppo futuro del progetto.

Capitolo 2

Studio del dominio

La sicurezza dei lavoratori è regolata da normative specifiche, che impongono al datore di lavoro l'adozione di misure idonee per proteggere i dipendenti, inclusi soprattutto quelli che operano in situazioni di lavoro isolato.

2.1 Sicurezza dei lavoratori

La sicurezza sul lavoro consiste in un insieme di misure preventive e protettive volte a salvaguardare la vita e la salute dei lavoratori, determinate attraverso una valutazione dei rischi presenti negli ambienti di lavoro. Parlare di salute e sicurezza sul lavoro significa, infatti, operare preliminarmente per la prevenzione dei rischi di incidenti, per poi provvedere adeguatamente alla protezione dai pericoli per la salute dei lavoratori coinvolti nelle attività produttive. In ogni ambiente di lavoro, infatti, esistono condizioni di pericolo con rischio di incidenti e relativi infortuni, spesso con esiti letali o gravemente invalidanti, o che possono causare danni anche permanenti alla salute [7].

In Italia, due riferimenti legislativi fondamentali per la sicurezza dei lavoratori sono la L. 81/08 (Sicurezza sul lavoro “Testo unico di Salute e Sicurezza sul Lavoro (TUSL)”) e il D.M. 388/03 (Pronto soccorso), tramite i quali il legislatore definisce le responsabilità del Datore di lavoro, in primo luogo, ma anche degli stessi lavoratori. Esse prevedono la specifica responsabilità del datore di lavoro di fare l'attenta valutazione dei rischi per i lavoratori nei diversi contesti lavorativi, incluso il lavoro in solitaria, e di adottare tutte le misure tecniche e organizzative utili all'eliminazione, o sostanziale riduzione, degli stessi. Fra le misure di protezione previste si evidenziano l'adozione di idonei dispositivi di protezione individuale (DPI), la costante formazione e informazioni dei lavoratori in tema di sicurezza, e di tutte le altre misure ritenute necessarie per ridurre le situazioni di pericolo [7].

Nello specifico l'art. 2 comma 5 del D.M. precisa che "...nelle aziende o unità produttive che hanno lavoratori che prestano la propria attività in luoghi isolati, diversi dalla sede aziendale o unità produttiva, il Datore di lavoro è tenuto a fornire loro un mezzo di comunicazione idoneo per raccordarsi con l'azienda al fine di attivare rapidamente il sistema di emergenza del Servizio Sanitario Nazionale" [8]. Tradizionalmente, questa prescrizione è stata soddisfatta con l'uso di cicalini e, successivamente, di telefoni cellulari. Tuttavia, questi strumenti possono risultare inaffidabili in caso di malori, cadute o altri incidenti che causino la perdita di conoscenza da parte del lavoratore interessato. Perciò, non è sufficiente affidarsi solo a un comune telefono, o a un pulsante di emergenza collocato in qualche punto dell'azienda, in quanto, per l'appunto, in caso di malore improvviso o incapacità di muoversi, il lavoratore non potrebbe lanciare l'allarme utile ad attivare le misure di emergenza, attraverso la catena di gestione della sicurezza aziendale (RSPP, ASP, eventuale consulente sulla sicurezza).

Appare tuttavia importante evidenziare che le misure adottate dal datore di lavoro per garantire la sicurezza nei luoghi di lavoro devono rispettare i vincoli previsti dalle disposizioni dell'articolo 4 dello Statuto dei Lavoratori [9], che limitano severamente l'utilizzo di sistemi di controllo a distanza. Infatti, tale articolo permette l'installazione di sistemi di sorveglianza solo per particolari esigenze organizzative e produttive, per la sicurezza del lavoratore non diversamente garantibile o per la tutela del patrimonio aziendale, creando così una complessa relazione tra il dovere di proteggere i lavoratori e il rispetto della loro privacy. I datori di lavoro si trovano quindi a percorrere una linea sottile con equilibrio talvolta incerto nell'adempimento delle proprie responsabilità, in modo efficace ed efficiente, ed il contestuale rispetto delle disposizioni normative.

Per quanto nel settore industriale, in particolare, vi sia una forte digitalizzazione, sia in termini di tecnologie impiegate e ambiti di utilizzo, estesa spesso anche all'implementazione di sistemi di sicurezza aziendali centralizzati, vi è tuttavia l'esigenza di maggiori investimenti in soluzioni innovative tese a garantire una maggiore sicurezza soprattutto dei lavoratori isolati. I dispositivi per la sicurezza dei lavoratori isolati ("Lone Worker Safety Devices") sono progettati per proteggere le persone che lavorano da sole, senza supervisione diretta e senza la presenza di colleghi che possano fornire assistenza immediata in caso di emergenza o incidente; cioè quei lavoratori che operano senza un contatto visivo o vocale diretto con altri dipendenti, come spesso capita, per es., a quanti lavorano oltre l'orario standard e/o durante i giorni festivi, la sera o la notte [10].

I lavori in condizioni di isolamento sono riscontrabili in una vasta gamma di settore fra cui:

- settore industriale: operai in fabbriche, magazzini, cantieri e impianti industriali dove il rischio di incidenti, esposizioni a sostanze potenzialmente dannose o altre situazioni pericolose, è elevato;

- settore dei trasporti e logistica: autisti di camion, tassisti, corrieri e altri lavoratori che trascorrono lunghi periodi di tempo in strada da soli spesso in luoghi isolati durante la consegna delle merci;
- settore sanitario: medici, infermieri e operatori sanitari che lavorano in servizi domiciliari spesso in luoghi isolati, dove potrebbero essere esposti a situazioni potenzialmente pericolose;
- settore agricolo e forestale: agricoltori, forestali e altri lavoratori che operano in ambienti rurali, spesso lontani da aiuti o soccorsi in caso di emergenza;
- settore dei servizi: addetti alla pulizia, guardie di sicurezza, personale di stazioni di servizio o negozi, che lavorano spesso in turni solitari e possono essere esposti a rischi imprevisti.

Nel caso dei lavoratori isolati, i principali fattori da valutare riguardano sia la tempestiva rilevazione degli incidenti, che l'organizzazione dei soccorsi in caso di malore o infortunio. Si dovrà tener conto in quest'ambito dell'impossibilità o della limitata capacità del lavoratore di allertare i soccorsi, nonché delle difficoltà di accesso per i soccorritori al luogo di intervento, oltre che della possibile difficoltà nell'individuare esattamente il punto di intervento. Tutti fattori, evidentemente, che possono ritardare l'intervento di soccorso, con conseguenze potenzialmente fatali [10].

In relazione a tali rischi, pertanto, il principale obiettivo dei dispositivi per la sicurezza dei lavoratori isolati è fornire ai lavoratori gli strumenti necessari per richiedere assistenza in caso di emergenza, sia segnalando tempestivamente situazioni pericolose, che attivando in maniera attiva o passiva un sistema di allarme. Questi dispositivi possono variare dalle semplici applicazioni mobili, con funzionalità di allarme, alle tecnologie più avanzate, come dispositivi indossabili che permettono anche la localizzazione GPS e la comunicazione bidirezionale, oltre che la misurazione ed analisi dei parametri utili a valutare nel breve, medio o lungo periodo una situazione di pericolo o stress del lavoratore. Inoltre, i dispositivi per la sicurezza dei lavoratori isolati possono essere integrati con i sistemi di monitoraggio della sicurezza aziendale e utilizzati per raccogliere dati sugli incidenti, utili a migliorare le pratiche di sicurezza sul lavoro e prevenire futuri rischi.

Il settore della sicurezza dei lavoratori isolati ha beneficiato dei recenti avanzamenti tecnologici, che hanno migliorato significativamente i dispositivi e le soluzioni disponibili. Tecnologie come GPS, reti di comunicazione mobile avanzate e sensori hanno reso i dispositivi sempre più sofisticati, fornendo strumenti via via più efficaci ed efficienti per la tutela della salute dei lavoratori. L'uso crescente di applicazioni mobili e piattaforme cloud ha permesso alle aziende di gestire in modo sempre più vantaggioso i dati generati dai dispositivi di sicurezza, raccogliendo

informazioni utili per valutare i rischi e prendere decisioni basate su dati concreti per il miglioramento della sicurezza sul lavoro.

È importante sottolineare che i requisiti specifici dei dispositivi per la sicurezza dei lavoratori isolati possono variare a seconda del settore, dei contesti ambientali e delle politiche aziendali. Pertanto, la selezione e l'implementazione di questi dispositivi devono basarsi su un'analisi attenta delle esigenze specifiche del contesto in cui verranno utilizzati.

La crescente attenzione alla sicurezza sul lavoro soprattutto degli operatori che lavorano in condizioni di isolamento, hanno portato a una più ampia adozione di tali dispositivi, con conseguente incremento della domanda di mercato degli stessi. I volumi d'affari sono aumentati soprattutto per le aziende operanti in settori ad alto rischio, come l'industria, i trasporti e la logistica e il settore sanitario. Il mercato dei dispositivi per la sicurezza dei lavoratori isolati è oggi pertanto molto competitivo e coinvolge vari attori economici, tra cui:

- aziende produttrici di dispositivi: specializzate nella progettazione, nello sviluppo e nella produzione di dispositivi per la sicurezza dei lavoratori isolati. Queste aziende offrono una vasta gamma di soluzioni: dalle semplici app per smartphone, ai dispositivi indossabili più avanzati con funzionalità di localizzazione GPS e comunicazione bidirezionale;
- fornitori di servizi e soluzioni di sicurezza: offrono servizi di monitoraggio e gestione della sicurezza dei lavoratori isolati, fornendo soluzioni integrate che includono dispositivi, software di monitoraggio e supporto operativo;
- aziende specializzate in reti di comunicazione, GPS e sensori. Queste aziende svolgono un ruolo cruciale nello sviluppo delle tecnologie utilizzate nei dispositivi per la sicurezza dei lavoratori isolati.

Gli analisti concordano nel ritenere il mercato degli Smart DPI (Dispositivi di Protezione Individuale intelligenti) e della sicurezza particolarmente promettente. Si stima, infatti, che il mercato globale aumenterà dai 3,13 miliardi di dollari del 2021 fino ai 9,05 miliardi del 2028, con un tasso di crescita annuale composto (CAGR) del 16,4% [2].

Questa crescita è già molto evidente e le prospettive per il medio termine sono molto positive.

Tutto ciò, evidentemente, rende necessaria un'azione congiunta e sinergica da parte dei vari attori coinvolti, sia di parte pubblica che privata:

- enti regolatori e di controllo;
- utilizzatori: aziende, che nel creare ambienti lavorativi più sicuri e più coinvolgenti per i lavoratori, possono anche ottenere incrementi di produttività e conseguenti migliori risultati economici;

- produttori dei sistemi di sicurezza: ricerca e innovazione per l'evoluzione tecnologica, mirata all'implementazione di soluzioni sempre più avanzate per monitorare le condizioni di lavoro e le attività, proteggendo e prevenendo incidenti e infortuni [2].

2.2 Stato dell'arte scientifico-tecnologico

Si ritiene corretto valutare lo stato dell'arte dei sistemi di sicurezza per la valutazione della Man Down Detection e degli altri sistemi esistenti, basati sia su parametri vitali che su geoposizionamenti pericolosi per la salute dell'operatore (geofencing). Le soluzioni presenti sul mercato sono ecosistemi proprietari e non integrabili, basati su dispositivi custom che fungono da gateway e che si avvalgono di system integrator dedicati. La diffusione mondiale degli smartphone e la loro elevata capacità di elaborazione e connettività li rendono dei dispositivi con grande capacità di calcolo, in grado di comunicare ed elaborare dati quasi al pari degli elaboratori fissi (PC desktop, server).

2.2.1 Smart DPI

Il Testo Unico sulla salute e la sicurezza negli ambienti di lavoro, entrato in vigore il 15 maggio 2008, ha introdotto i DPI nella cultura giuridica italiana. Da allora, l'industria ha visto enormi progressi tecnologici, specialmente con l'avvento dell'Industria 4.0. I sensori smart hanno rivoluzionato i processi produttivi, permettendo operazioni di manutenzione predittiva, riduzione delle emissioni e dei costi, e incrementi nella produttività grazie all'automazione [6], oltre che il miglioramento dei sistemi di sicurezza a tutela dei lavoratori.

Gli smart DPI necessitano di dati affidabili per operare correttamente, garantendo una maggiore fluidità nelle operazioni di soccorso. Gli avanzamenti tecnologici, come l'integrazione con l'Internet of Things (IoT), hanno permesso ai DPI di comunicare continuamente con centri operativi, migliorando la gestione delle situazioni ad alto rischio [6].

Le moderne tecnologie di elaborazione e comunicazione, inclusi l'accesso ai server cloud e l'edge computing, si integrano inoltre con l'intelligenza artificiale per sviluppare sistemi di protezione flessibili [6].

Tra i filoni tecnologici in rapida espansione vi sono senza dubbio, infatti, proprio quelli dell'Intelligenza Artificiale (IA) e della Realtà Aumentata (AR), che stanno trasformando rapidamente il settore dei Dispositivi di Protezione Individuale (DPI). L'intelligenza Artificiale, particolarmente nel campo della Data Science, gioca attualmente un ruolo fondamentale anche per una maggiore sicurezza dei lavoratori; in quanto permette analisi descrittive e predittive, essenziali per prevenire incidenti e migliorare le condizioni di lavoro.

Per quanto sopra, il mercato dell'IA, in forte crescita anche in Italia, ha visto un incremento del 32% negli investimenti, raggiungendo i 500 milioni di euro [2].

Un altro mercato interessante nel contesto degli smart DPI è quello dei Connected Boots; che utilizzano sensori IoT e analisi dei dati per il rilevamento automatico di cadute e incidenti. Tra l'altro, integrano tecnologie RTLS (Real Time Location System) per funzionare efficacemente anche in ambienti interni, a differenza del comune GPS, e consentono una comunicazione hands-free in situazioni di pericolo. Questi dispositivi, essendo basati su sensoristica IoT, hanno forti capacità evolutive e rappresentando ormai una componente cruciale nei moderni sistemi di sicurezza.

La computer Vision, un ramo dell'IA, è un altro ambito di sviluppo interessante. Gli AR Glasses (occhiali di realtà aumentata), per es., possono rivoluzionare la sicurezza e la produttività nei settori delle costruzioni e del manufacturing. Dotati di sensoristica avanzata e capacità di visualizzazione di allarmi predittivi, questi occhiali possono monitorare le condizioni di lavoro in tempo reale. Il mercato degli AR Glasses è ancora emergente, ma promettente [2].

Gli smartwatch, ormai ampiamente diffusi, permettono di monitorare parametri vitali, come battiti cardiaci e saturazione dell'ossigeno e grazie ad accelerometri e ai giroscopi, gli smartwatch possono attivare o disattivare allarmi tramite gesture, emettendo suoni e vibrazioni di allerta.

Le soluzioni presenti sul mercato offrono un servizio integrato Edge Fog Cloud, proprietario e vincolato dell'azienda produttrice dei dispositivi. Sono rappresentati principalmente da dispositivi da polso e da cintura, spesso dotati di connettività avanzata (Bluetooth, Wi-Fi, GPS/GLONASS). Questi dispositivi si integrano con funzionalità pre-installate per la rilevazione dell'"uomo a terra", fondamentali per i lavoratori isolati e possono inoltre inviare segnali di allarme sia manualmente (SOS) che automaticamente (in caso di immobilità prolungata). I dati vengono raccolti dai dispositivi edge e connessi a gateway appositamente progettati e venduti dalle stesse aziende. Ciò crea, evidentemente, situazioni di forte dipendenza industriale ed economica, in quanto l'integrazione di altre soluzioni o sensori richiede spesso l'intervento del produttore originale, limitando l'ulteriore sviluppo open-source [2].

Diverse società italiane e non, operano nel settore degli smart wearable per la sicurezza dei lavoratori isolati. Tra queste si annoverano Smart Track [11] e Datix [12], entrambe basate su dispositivi edge e soluzioni cloud. Smart Track supporta il problema con dei gateway indossabili sulla vita dell'operatore, connessi in rete (LTE, 4G) e in bluetooth con i dispositivi; mentre Datix ha perfezionato un dispositivo smartwatch direttamente connesso al cloud, ma limitatamente a sensori da polso.

In conclusione l'integrazione delle tecnologie avanzate nei DPI sta rivoluzionando la sicurezza sul lavoro. Gli sviluppi in AI, AR e IoT offrono nuove opportunità per migliorare la protezione dei lavoratori, ma presentano anche sfide, come il lock-in industriale e la necessità di dati accurati e affidabili. Con un mercato in rapida

crescita, il futuro degli smart DPI promette pertanto innovazioni significative per incrementare la sicurezza e l'efficienza nei luoghi di lavoro [2].

Occorre evidenziare tuttavia che nonostante gli enormi benefici per la sicurezza del lavoro, il mercato degli Smart DPI deve affrontare sfide significative, riguardanti il maggior costo rispetto ai dispositivi tradizionali e soprattutto il rispetto delle normative riguardanti la protezione dei dati personali, come da trattazione più specifica nel prosieguo di questo documento.

2.3 Vincoli normativi

“L'articolo 41 della Costituzione prevede la libertà di iniziativa economica del datore di lavoro, purchè esercitata nel rispetto della libertà e dignità umana” [13]. Ciò implica che, sebbene il datore di lavoro possa dettare regole per l'esecuzione del lavoro, il suo potere di controllo sui dipendenti è limitato dai diritti dei lavoratori alla riservatezza, alla dignità personale, alla libertà di espressione e comunicazione [13].

Nel contesto lavorativo, il datore di lavoro deve quindi rispettare rigorosi principi in materia di tutela dei dati personali [13]:

- principio di necessità: i controlli devono essere necessari o indispensabili per uno scopo specifico e avere carattere eccezionale;
- principio di finalità: devono mirare alla sicurezza o alla continuità aziendale, o alla prevenzione e repressione di illeciti;
- principio di trasparenza: i dipendenti devono essere informati preventivamente sui limiti di utilizzo degli strumenti di controllo e sulle sanzioni previste;
- principio di proporzionalità: i controlli devono essere proporzionati e non eccedenti lo scopo della verifica;
- principio di sicurezza: le informazioni raccolte devono essere opportunamente protette.

L'articolo 88 del GDPR conferisce agli Stati membri la possibilità di emanare regole specifiche per garantire la protezione dei diritti e delle libertà dei dipendenti durante il trattamento dei dati personali. In Italia, il D.Lgs n. 151 del 2015 (Jobs Act) ha aggiornato l'articolo 4 dello Statuto dei Lavoratori, introducendo una disciplina specifica per gli strumenti di controllo, come la videosorveglianza e i dispositivi di lavoro, tenendo conto dell'evoluzione tecnologica e delle esigenze organizzative delle imprese [13].

Considerando quanto detto sopra, per quanto gli Smart DPI rappresentino una soluzione tecnologica avanzata per la sicurezza sul lavoro, il loro utilizzo solleva importanti questioni relative alla protezione dei dati personali. I dispositivi

intelligenti, infatti, raccolgono una vasta quantità di dati sull'operatore, inclusi dati biometrici e cronologia degli accessi, creando potenziali rischi di data breach e minacce informatiche. È essenziale, quindi, che i dati raccolti siano trattati in conformità al GDPR e che vengano adottate misure di protezione end-to-end lungo tutta la pipeline di acquisizione, gestione e memorizzazione delle informazioni sensibili [6] [2] [13].

Un altro limite all'utilizzo di Smart DPI e in generale degli Smart Wearable riguarda il monitoraggio dell'attività del dipendente (come ad esempio l'installazione di impianti audiovisivi che consentono anche il controllo a distanza dell'attività dei lavoratori). Tale modalità è stata la più grande barriera e vincolo normativo che ha limitato lo sviluppo e l'adozione di soluzioni di monitoraggio, sul territorio italiano e non solo. Tuttavia tale disposizione era vietata fino all'approvazione del Jobs Act (2015), che ha abrogato l'espresso divieto di controlli a distanza dell'attività lavorativa se il controllo è effettuato tramite strumenti necessari per l'esecuzione delle mansioni lavorative. Tuttavia, nonostante le riforme sul lavoro, l'opinione dei singoli lavoratori e dei sindacati rimane invariata. Essi continuano a richiedere tutela e rispetto dei dati sensibili, esprimendo preoccupazione sul possibile passaggio degli Smart DPI da dispositivi di protezione a strumenti di monitoraggio dell'efficienza del lavoratore [2].

Le leggi e le tecnologie impiegate nel settore industriale cambiano rapidamente. Di conseguenza, gestire la conformità alle normative richiede un monitoraggio continuo e un processo burocratico che può risultare oneroso per le aziende, soprattutto se dipendono da software di terze parti che non possono gestire autonomamente [6].

Dal punto di vista tecnico, la data fusion implementata dagli algoritmi di virtual sensing AI, necessita di una grande mole di dati per la calibrazione di tali algoritmi, al fine di renderli prestanti ed accurati su un vasto range di operatori e mansioni. Per questa ragione sono necessarie ingenti campagne di acquisizione dati per il tuning dell'IA investendo tuttavia in soluzioni che garantiscano la conformità normativa per la protezione dei dati personali.

Infatti, come già accennato in precedente parte del documento, l'uso di dati personali nel contesto della sicurezza sul lavoro richiede un equilibrio delicato tra il controllo necessario per garantire la sicurezza e la protezione dei diritti dei lavoratori. Le normative attuali, sia a livello europeo che nazionale, forniscono un quadro di riferimento rigoroso, che impongono un impegno continuo alle aziende, per mantenere la conformità alle disposizioni di legge delle misure adottate e per proteggere i dati personali in un ambiente tecnologico in rapida evoluzione.

Capitolo 3

Progettazione del prototipo

Il presente capitolo mostra le scelte progettuali fatte per il progetto.

La progettazione dell'interfaccia grafica è avvenuta seguendo i principi dello User Centered Design: con l'attenzione posta sull'utente finale dell'applicazione che, per l'applicazione web, è rappresentato dall'amministratore dell'azienda, mentre per l'applicazione mobile è rappresentato dall'operatore, o dai ricercatori, nel caso della versione per la raccolta dati.

La fase di progettazione dell'interfaccia grafica delle applicazioni ha previsto la creazione dei mockup utilizzando il tool Figma, i quali servono a scopo illustrativo ed espositivo per definire la struttura grafica delle pagine web e dell'applicazione mobile da implementare. Questi hanno rappresentato il punto di partenza per la successiva fase di implementazione e hanno permesso di esaminare il prodotto completo prima che sia stato effettivamente realizzato.

3.1 Caratteristiche

L'ecosistema SLIM è articolato su tre livelli:

- livello “edge”: comprende l'insieme dei sensori indossabili, che raccolgono dati biometrici e di movimento;
- livello “fog”: contiene un dispositivo centrale, in questo caso lo smartphone, che opera da accentratore e orchestratore dei dati provenienti da sensori. In esso vengono depositati tutti i dati grezzi che verranno dallo stesso successivamente elaborati;
- livello “cloud”: è l'infrastruttura in cui vengono mostrati all'amministratore i dati degli operatori all'amministratore e le varie statistiche.

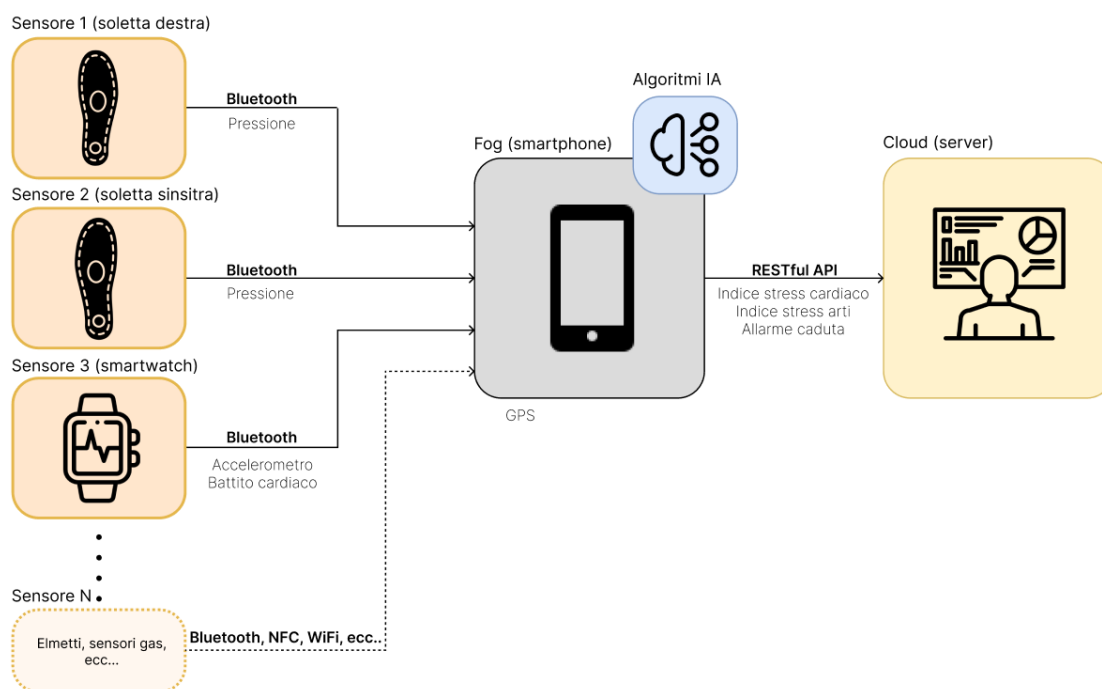


Figura 3.1: Quadro d'insieme del sistema SLIM

3.1.1 Livello edge

La comunicazione tra i sensori e lo smartphone avviene attraverso il protocollo BLE (Bluetooth Low Energy). Nel contesto del progetto vengono esplorate due categorie di dispositivi indossabili: gli smartwatch e le solette intelligenti.

La scelta dei sensori indossabili comporta diverse valutazioni, tra cui la gestione dei dati acquisiti, ovvero chi ne è il proprietario, se i dati sono criptati, quali server e applicazioni sono coinvolti nel loro transito e chi può accedervi. Di solito, i produttori di tali dispositivi offrono un'applicazione proprietaria per garantire l'accesso esclusivo ai dati raccolti dall'utente. Tuttavia, accedere direttamente ai dati tramite Bluetooth permette di aggirare questa problematica, consentendo un accesso senza dover passare per server di terze parti.

3.1.2 Livello fog

Il livello fog è composto da uno smartphone, il quale opera da intermediario per i dati provenienti da sensori, elaborandoli e inoltrando al server, livello Cloud, solamente degli indici che identificano una possibile emergenza o meno. Nel contesto del progetto SLIM, che mira a standardizzare la gestione dei sensori indossabili da parte degli operatori, il livello Fog implementa un'applicazione mobile Android.

Questa app guida l'operatore durante la fase di configurazione all'avvio del turno, consentendogli di connettersi ai dispositivi associati e di generare, in modo manuale, e in futuro grazie agli algoritmi di IA, segnali di allarme in caso di pericolo.

3.1.3 Livello cloud

Il livello Cloud è responsabile della raccolta e della visualizzazione dei dati pre-elaborati inviati dal Fog, tramite un'interfaccia grafica o dashboard, che fornisce una panoramica generale del sistema e i dettagli di ciascun operatore. Fra questi i dati relativi allo stato di connessione dei dispositivi e degli allarmi attivati.

3.2 Formalizzazione requisiti di progetto

La formalizzazione dei requisiti di progetto è un passaggio cruciale per definire chiaramente le specifiche degli “use case”, la raccolta dei dati di campionamento, il sistema di Monitoraggio della Man Down Detection (MDD) e le linee guida da seguire nel framework Edge-Fog-Cloud. La definizione delle specifiche sarà la base su cui si costruirà il progetto per un sistema competitivo, guidato all'eliminazione dei rischi e all'ottimizzazione delle performance.

In base all'attore di riferimento possiamo distinguere i vari requisiti:

Amministratore dell'azienda:

- verificare lo stato di salute/man down dell'operatore;
- controllare costantemente la funzionalità (per es., lo stato di carica delle batterie) dei vari dispositivi indossati;
- registrare un nuovo lavoratore nel sistema;
- modificare le informazioni sul lavoratore;
- ottenere statistiche generali sulla salute dei lavoratori;
- inserimento di nuove sedi dell'azienda;
- inserimento di nuovi dispositivi indossabili nel sistema.

Operatore:

- collegare tutti i dispositivi (smartwatch e solette intelligenti) tramite l'app;
- verificare il livello di batteria dei dispositivi tramite l'app;
- modificare le proprie informazioni personali;

- inviare un allarme tramite app, anche manualmente;
- segnalare eventuali malfunzionamenti dei dispositivi indossabili.

Ricercatori dell'azienda partner (fase di sviluppo):

- collegare tutti i dispositivi tramite l'app;
- iniziare e fermare una nuova registrazione di dati di solette e smartwatch;
- ottenere un file strutturato con tutte le informazioni raccolte durante la registrazione.

Inoltre vi sono anche dei requisiti non funzionali:

- sistema di autenticazione: accesso all'applicazione web riservato solo agli utenti amministratori e accesso alla mobile app degli operatori registrati e accreditati dall'amministratore;
- interfaccia grafica: deve essere chiara e ben organizzata per facilitarne l'uso;
- manutenibilità del software: il software deve essere il più possibile mantenibile, con operazioni suddivise in aree funzionali.

3.3 Scelte tecnologiche

3.3.1 Prototipo

La prototipazione è una fase essenziale durante il processo di design, in quanto consente una rappresentazione visibile e funzionale del design finale. Questa fase aiuta ad individuare già a monte di un processo produttivo potenziali problemi, perfezionare le idee e permette di verificare se il prodotto finale soddisfi o meno le esigenze e le aspettative degli utenti. Per la realizzazione dei prototipi è stata scelta la piattaforma Figma: strumento per la progettazione di interfacce grafiche, che consente di creare prototipi di alta fedeltà in modo semplice e completo. Essa è stata scelta poiché offre diverse funzionalità per il design di interfacce web e mobile [14].

3.3.2 Applicazione mobile

Per la mobile app, è stato deciso di sviluppare una soluzione nativa per Android utilizzando kotlin come linguaggio e il framework Jetpack Compose.

Kotlin è stato scelto come linguaggio di programmazione principale per l'applicazione mobile in quanto moderno e versatile, ampiamente adottato nello sviluppo di

applicazioni Android, anche grazie alla sua semplicità, sicurezza e interoperabilità con Java. Inoltre con le librerie come Coroutines e StateFlow, Kotlin facilita la gestione asincrona e reattiva dei dati, migliorando la reattività dell'interfaccia utente [15].

La struttura generale dell'applicazione è basata sull'architettura Model-View-ViewModel (MVVM) ed è stata realizzata utilizzando Android Studio, l'ambiente di sviluppo integrato ufficiale per le app Android [16].

Il Model-View-ViewModel (MVVM) è un modello architetturale software che facilita la separazione dello sviluppo dell'interfaccia grafica (la vista) dallo sviluppo della logica di business o dalla logica di backend (il modello), in modo che la vista non dipenda da una piattaforma modello specifica. Il ViewModel di MVVM è responsabile dell'esposizione degli oggetti, dati dal modello, in modo che tali oggetti siano facilmente gestiti e presentati. Il ViewModel gestisce in gran parte, se non tutta, la logica di visualizzazione della vista. Il ViewModel può implementare un pattern mediator, organizzando l'accesso alla logica di backend attorno all'insieme di casi d'uso supportati dalla vista [17].

Questa suddivisione permette una netta separazione dei ruoli. La gestione dei dati è compito esclusivo del Model. La View si occupa unicamente della creazione dell'interfaccia utente (UI). La manipolazione dei dati per popolare la UI avviene tramite il ViewModel.

Nel progetto, la persistenza dei dati viene garantita tramite un backend che utilizza postgres e MongoDB. La comunicazione tra l'applicazione mobile e il server, scritto in typescript, è fatta tramite retrofit. Quest'ultima è una popolare libreria di networking per Android che semplifica il processo di richieste http e gestione delle risposte. Sviluppata e mantenuta da Square, ha un design API pulito e intuitivo [15].

Soletta

La soletta intelligente è equipaggiata con una serie di sensori di pressione, distribuiti in punti strategici sulla sua superficie plantare, che forniscono informazioni su quanta forza viene esercitata quando si cammina. Il loro impiego serve ad estrapolare informazioni utili per la salvaguardia della salute dell'operatore; ad esempio contando quanti passi ha fatto durante la giornata, quanto tempo è stato in piedi e se ha sollevato carichi molto pesanti. La soletta utilizzata è il modello "StepLab" dell'azienda Movesole [18], composta da sette sensori di pressione piezoelettrici, che danno informazioni sulla forza massima che viene esercitata su ognuno di essi ad ogni passo compiuto. La scelta è ricaduta su questa particolare tipologia perché consente la comunicazione diretta tramite bluetooth, senza dover quindi utilizzare software proprietari. In questo modo è possibile risolvere il problema

della tracciabilità e della riservatezza dei parametri vitali, che in tal modo non vengono salvati e non transitano attraverso applicazioni di terze parti.

Il protocollo Bluetooth Low Energy (BLE) è stato progettato per consentire lo scambio periodico di una discreta quantità di dati consumando pochissima energia. Questo approccio è fondamentale per preservare la durata della batteria come cardiofrequenzimetri, dispositivi per il fitness o sensori di prossimità, che necessitano di requisiti di alimentazione molto rigidi [19].

Quando un dispositivo interagisce con un dispositivo BLE, possono esserci diversi ruoli e responsabilità: centrale o periferica. Ciò vale per la stessa connessione BLE. Infatti, per stabilire una connessione BLE, è necessario avere almeno un dispositivo centrale e uno periferico, in quanto due dispositivi che supportano solo il ruolo periferico non potrebbero comunicare tra loro, né potrebbero farlo due dispositivi che supportano solo il ruolo centrale. Il dispositivo nel ruolo centrale, solitamente più complesso, esegue la scansione per cercare altri dispositivi che sono in fase di advertising, mentre il dispositivo nel ruolo periferico invia segnali al dispositivo centrale.

Il dispositivo centrale invia un pacchetto di richiesta di connessione al dispositivo periferico. Una volta stabilita la connessione, il dispositivo centrale diventa Master e il periferico diventa Slave e possono iniziare a trasferire metadati GATT tra di loro [19].

Il BLE è un protocollo suddiviso in protocolli più piccoli, ognuno dei quali è responsabile di un ruolo specifico. Questi protocolli sono organizzati all'interno di un'architettura stratificata chiamata protocol stack o protocol suite. Lo stack del protocollo Bluetooth è diviso in tre componenti principali o sottosistemi: Application, Host e Controller. All'interno di ciascuno di questi blocchi ci sono strati distinti: Physical Layer, Link Layer, Host Controller Interface (HCI), Logical Link Control and Adaptation Protocol (L2CAP), Attribute Protocol (ATT), Generic Attribute Profile (GATT) e Generic Access Profile (GAP) [20].

Il GATT definisce il formato dei dati esposti dal dispositivo BLE e le procedure per accedervi. Al suo interno ci sono due ruoli: Server e Client. Il primo contiene le risorse esposte al Client, mentre il secondo si interfaccia con il Server per leggere i dati esposti o controllare il comportamento del Server. Un dispositivo Bluetooth LE può agire sia da Server che da Client allo stesso tempo. Un GATT server contiene uno o più servizi, che raggruppano uno o più attributi (termine generico per qualsiasi tipo di dato esposto dal server). Una caratteristica è sempre parte di un servizio e rappresenta un pezzo di informazione che il server vuole esporre al Client [20].

Smartwatch Garmin

La scelta dello smartwatch ricade sul Garmin Vivoactive 4 [21], un dispositivo robusto e certificato per l'utilizzo in ambienti difficili, caratterizzati da temperature elevate, umidità e polvere. Tra tutti gli smartwatch disponibili sul mercato, quelli della Garmin offrono un'autonomia stimata di diversi giorni (a seconda dell'utilizzo), indispensabile per coprire un turno lavorativo di almeno 8 ore senza la necessità di essere ricaricati. Inoltre è equipaggiato con una serie di sensori, tra cui accelerometro e sensore di battito cardiaco, parametri fondamentali per lo sviluppo di qualsiasi algoritmo che si basi sui movimenti e sullo stato di salute della persona.

In questo progetto, lo smartwatch comunicherà in tempo reale con lo smartphone utilizzando il protocollo Bluetooth BLE. La connessione diretta allo smartwatch è resa possibile grazie a una collaborazione con Garmin. L'utilizzo dell'SDK permette di ottenere i dati senza che questi passino attraverso le applicazioni proprietarie di Garmin, risolvendo così qualsiasi problema legato alla privacy, poiché i dati possono essere elaborati senza lasciare traccia o essere salvati.

Grazie al Companion SDK di Garmin, è possibile accedere allo stream dei sensori in tempo reale. Ci si può quindi registrare allo stream live dei vari parametri, quali frequenza cardiaca, livello di stress, accelerometro e altri [22].

3.3.3 Applicazione web

Il front end dell'applicazione web è stato realizzato utilizzando JavaScript come linguaggio di programmazione, React come framework e Material UI come libreria di componenti.

“JavaScript (JS) è un linguaggio di programmazione multi-paradigma orientato agli eventi” [23], ampiamente utilizzato sia lato client per il web, che lato server per la creazione di API RESTful, applicazioni desktop e embedded, siti web e applicazioni web. Grazie alle sue funzioni di scripting, JavaScript consente di creare effetti dinamici e interattivi tramite eventi scatenati in vari modi dall'utente sulla pagina web in uso. Questo linguaggio di programmazione è alla base della maggior parte dei framework di sviluppo frontend, come React, Vue.js, Svelte e Angular [23].

React è una popolare libreria JavaScript per lo sviluppo front-end. Agevola la costruzione di applicazioni web dinamiche grazie al Virtual DOM, il quale aggiorna solo gli elementi modificati nel Real DOM, evitando di ricaricare tutti i componenti come accade nelle applicazioni web tradizionali. Le applicazioni in React sono composte da vari componenti, ciascuno con la propria logica e controllo, che possono essere riutilizzati per ridurre significativamente i tempi di sviluppo. Inoltre, React utilizza un flusso di dati unidirezionale, semplificando così l'individuazione e la risoluzione degli errori [24].

Material UI (MUI) è una libreria open-source di componenti React che segue le linee guida del Material Design di Google. MUI offre una collezione comprensiva

di componenti predefiniti pronti all'uso e diverse funzionalità di personalizzazione, permettendo di implementare facilmente il design system sui vari componenti [25].

Grazie a queste tecnologie, l'applicazione web garantisce un'interfaccia utente moderna, reattiva e facilmente mantenibile.

3.4 Funzionalità offerte

Le funzionalità offerte dal sistema possono essere divise in due macro-categorie: quelle relative all'applicazione web e quelle relative all'applicazione mobile. Inoltre, per l'applicazione mobile si può eseguire un'ulteriore distinzione tra le funzionalità dell'operatore a lavoro, rispetto alle funzionalità in fase di attività per la raccolta dati, necessarie allo sviluppo successivo degli algoritmi di IA.

3.4.1 Applicazione web

Le funzionalità offerte dall'applicazione web utilizzata dall'amministratore sono le seguenti:

- login dell' amministratore: garantisce che solo gli utenti autorizzati possano accedere all'area di gestione, garantendo la privacy delle informazioni degli operatori;
- registrazione/modifica di un operatore: una volta effettuato l'accesso, l'amministratore può registrare nuovi operatori e i relativi dispositivi, garantendo che ogni lavoratore sia dotato di tutti i dispositivi necessari per il monitoraggio, potendo inoltre modificare le informazioni per tenere sempre aggiornate le informazioni;
- inserimento e visualizzazione dei dispositivi presenti nel sistema: l'amministratore può tramite l'applicazione inserire dei nuovi dispositivi nel sistema e visualizzare poi tutti quelli presenti, fornendo una panoramica completa e aggiornata delle risorse disponibili;
- inserimento e visualizzazione delle sedi presenti nel sistema: l'amministratore può tramite l'applicazione inserire delle nuove sedi nel sistema e visualizzare poi tutte quelle presenti, fornendo una panoramica completa e aggiornata delle sedi;
- visualizzazione stati operatori: l'amministratore può visualizzare in una tabella i vari operatori con lo stato di salute, stato presenza a lavoro e posizione ("in sede" o "in trasferta"), così che gli amministratori possano monitorare in tempo reale lo stato dei loro lavoratori e intervenire prontamente in caso di necessità;

- monitoraggio salute operatori: grazie alla visualizzazione di grafici sullo stato di salute degli operatori, in forma anonima, permettono di monitorare le tendenze nel tempo e identificare problemi ricorrenti;
- ricezione e gestione di allarmi: l'amministratore viene avvisato in caso di problemi rilevati riguardanti gli operatori. Importante evidenziare che, per rispetto della privacy dei lavoratori, l'amministratore non può vedere i dati specifici che hanno generato l'emergenza dell'operatore, ma solo visualizzare un allarme che indica la necessità di un intervento;
- monitoraggio dispositivi: l'amministratore ha la possibilità di visualizzare lo stato dei dispositivi connessi per ciascun operatore, garantendo che tutto il sistema funzioni correttamente e che ogni dispositivo sia operativo.

3.4.2 Applicazione mobile

Le funzionalità offerte dall'applicazione mobile si differenziano, come sopra citato, in funzione dell'utilizzatore:

- per gli operatori:
 - login operatore: accesso riservato agli operatori, garantendo che solo gli utenti autorizzati possano accedere ai dati sensibili e alle funzionalità dell'applicazione;
 - connessione automatica ai dispositivi indossabili: gli operatori tramite una procedura di associazione collegano in automatico le solette e il dispositivo Garmin all'applicazione, permettendogli di iniziare a lavorare rapidamente senza complicazioni tecniche;
 - modifica profilo: funzionalità per aggiornare le informazioni del profilo dell'operatore, assicurando che i dati personali siano sempre corretti;
 - invio allarme: possibilità di inviare segnalazioni di allarme manualmente tramite l'applicazione mobile, garantendo un rapido intervento in caso di emergenza;
 - monitoraggio dispositivi: gli operatori possono visualizzare lo stato dei dispositivi connessi, permettendogli di verificare il loro corretto funzionamento;
 - segnalazione problemi: l'operatore può inviare messaggi d'errore relativi a un dispositivo, facilitando la risoluzione tempestiva dei problemi tecnici.
- per i ricercatori (raccolta dati):

- connessione manuale: i ricercatori possono connettere/disconnettere le solette e il dispositivo Garmin, offrendo un controllo preciso durante le sessioni di raccolta dati;
- registrazione dati: possibilità di iniziare/terminare una registrazione dei dati che vengono salvati in un file di testo per la campagna di raccolta dati, facilitando l'analisi e lo sviluppo di algoritmi di intelligenza artificiale;
- visualizzazione dati: si possono visualizzare dei dati in tempo reale del battito cardiaco, dell'accelerometro e delle solette, per verificare che i dispositivi stiano funzionando correttamente e valutarli prima di registrarli e salvarli nel file;
- monitoraggio dispositivi: viene visualizzato lo stato dei dispositivi connessi, garantendo che la raccolta dati proceda senza intoppi.

3.5 Architettura del sistema

L'architettura del sistema è strutturata per facilitare l'interazione tra i lavoratori e i supervisori, ciascuno con strumenti specificamente adattati alle loro esigenze. Questa architettura bifocale assicura che mentre gli operatori sono dotati degli strumenti, cioè i DPI, per monitorare la propria sicurezza personale, gli amministratori hanno accesso alle risorse necessarie per supervisionare e gestire la sicurezza su scala più ampia.

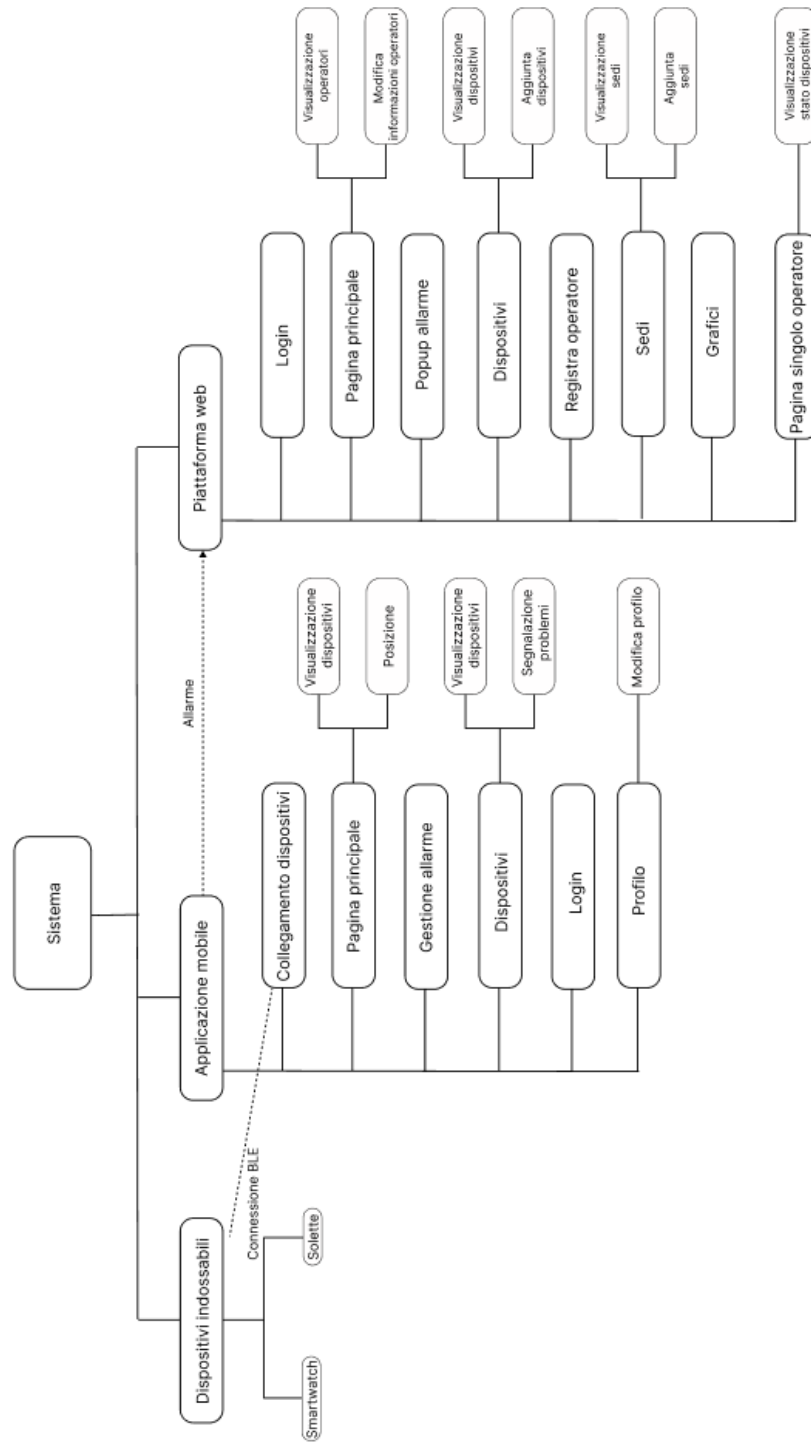


Figura 3.2: Architettura del sistema

3.5.1 Architettura della piattaforma web

La piattaforma web del sistema è stata progettata per fornire all'amministratore un controllo completo e una visione chiara di tutti gli elementi e delle operazioni all'interno del sistema, grazie anche alla NavBar superiore che facilita la navigazione tra le diverse sezioni dell'applicazione.

Prima di accedere alle funzionalità amministrative, l'amministratore deve autenticarsi tramite una pagina di login sicura (Fig. 3.3). In questa pagina, l'amministratore inserisce username e password. Tale sistema di accesso assicura che solo gli utenti autorizzati possano gestire le operazioni critiche e visualizzare informazioni sensibili relative agli operatori.

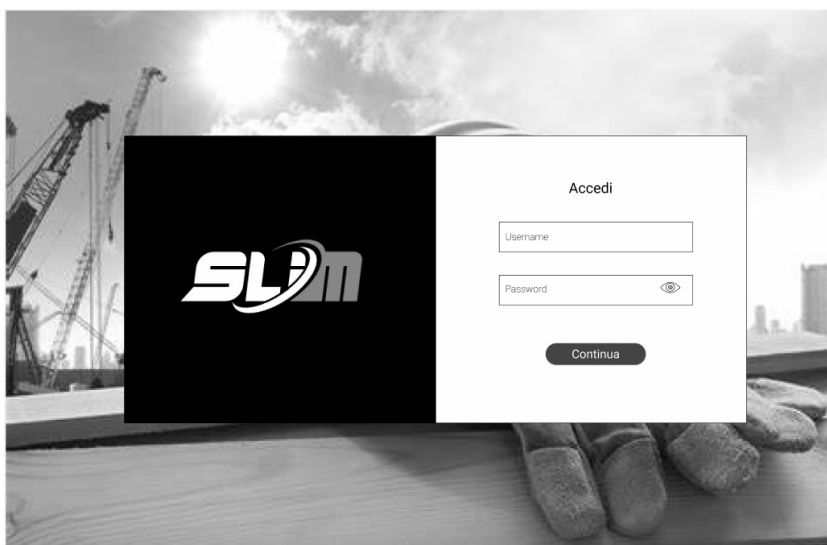


Figura 3.3: Pagina di login dell'amministratore (Figma)

Una volta autenticato, l'amministratore accede alla pagina iniziale (Fig. 3.4) che funge da dashboard centrale. Questa pagina presenta una tabella che elenca tutti gli operatori registrati nel sistema, con informazioni su presenza a lavoro, stato di salute, sede di lavoro e azioni disponibili per modificare o eliminare un operatore. La posizione di default del lavoro (la sede a loro assegnata) viene mostrata per tutti gli operatori, anche se non sono presenti sul posto di lavoro, mentre durante le trasferte viene mostrato solamente l'indicazione di "In trasferta". L'operatore in trasferta attiva il GPS sul suo smartphone ma non viene tracciato; solamente nel caso di un allarme viene inviata la sua posizione.

La homepage offre due azioni principali per la gestione degli operatori:

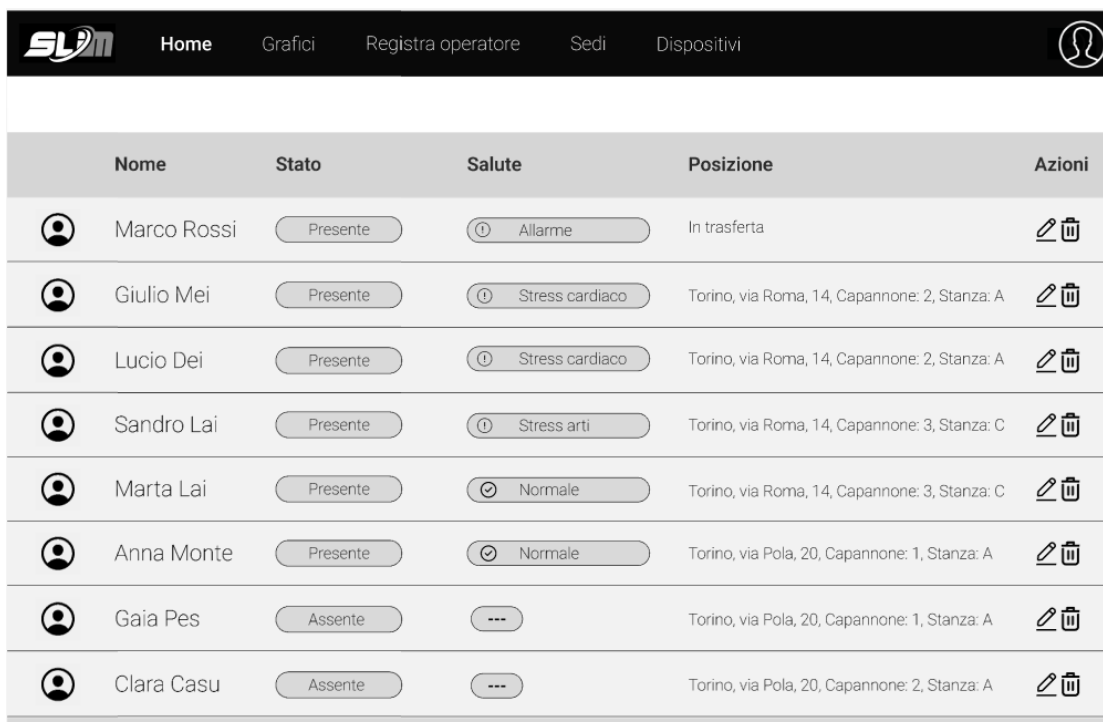
- modifica: cliccando sull'icona a forma di matita, l'amministratore viene reindirizzato alla pagina di "Modifica operatore" (Fig. 3.11) dove può modificare

le informazioni relative;

- elimina: cliccando sull'icona a forma di cestino, l'amministratore può eliminare l'operatore dal sistema.

Lo stato di salute ha diverse casistiche:

- allarme: identifica un allarme mandato manualmente dall'operatore tramite l'applicazione mobile, oppure la rilevazione automatica dell'uomo a terra nel momento in cui verranno implementati gli algoritmi di IA;
- stress cardiaco: informazione data dagli algoritmi di IA a partire da un'analisi del battito cardiaco (fornito dal Garmin);
- stress arti: informazione sempre data dagli algoritmi di IA partendo da i dati forniti dalle solette smart.



| Nome | Stato | Salute | Posizione | Azioni |
|-------------|----------|-----------------|---|-----------------|
| Marco Rossi | Presente | Allarme | In trasferta | [Edit] [Delete] |
| Giulio Mei | Presente | Stress cardiaco | Torino, via Roma, 14, Capannone: 2, Stanza: A | [Edit] [Delete] |
| Lucio Dei | Presente | Stress cardiaco | Torino, via Roma, 14, Capannone: 2, Stanza: A | [Edit] [Delete] |
| Sandro Lai | Presente | Stress arti | Torino, via Roma, 14, Capannone: 3, Stanza: C | [Edit] [Delete] |
| Marta Lai | Presente | Normale | Torino, via Roma, 14, Capannone: 3, Stanza: C | [Edit] [Delete] |
| Anna Monte | Presente | Normale | Torino, via Pola, 20, Capannone: 1, Stanza: A | [Edit] [Delete] |
| Gaia Pes | Assente | --- | Torino, via Pola, 20, Capannone: 1, Stanza: A | [Edit] [Delete] |
| Clara Casu | Assente | --- | Torino, via Pola, 20, Capannone: 2, Stanza: A | [Edit] [Delete] |

Figura 3.4: Pagina principale applicazione web (Figma)

Cliccando su una riga della tabella nella “Home”, si accede a una pagina dettagliata (Fig. 3.5) che mostra ulteriori informazioni sull'operatore scelto, inclusi lo stato di connessione dei dispositivi e se questi siano indossati o meno.

Questa pagina permette inoltre, se i dispositivi non sono connessi, di mandare un avviso sull'applicazione all'operatore per ricordargli di indossare i suoi dispositivi. È inoltre possibile accedere alla sezione di modifica delle informazioni dell'operatore (Fig. 3.11) tramite il bottone: "Modifica informazioni operatore".

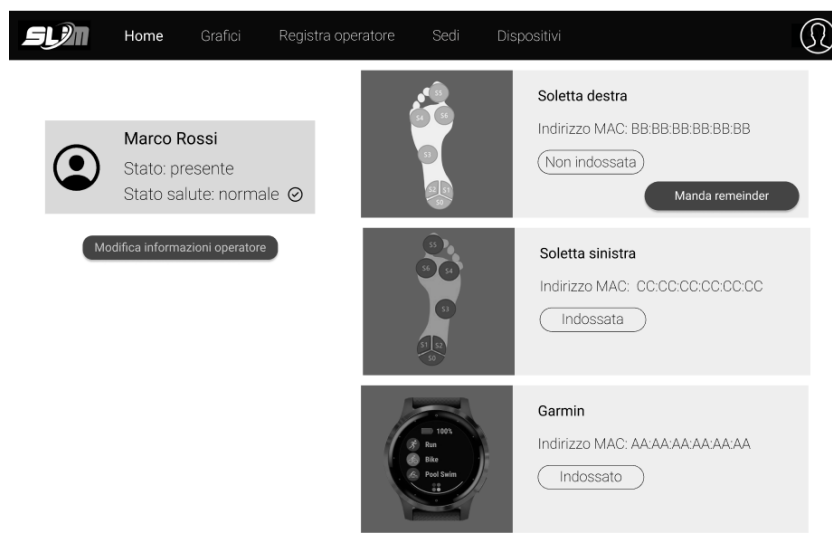


Figura 3.5: Pagina di informativa sull'operatore (Figma)

Quando un operatore scatena un allarme tramite l'applicazione mobile, o, in futuro, in caso di allarme automatico per stress cardiaco, stress arti o uomo a terra, un popup (Fig. 3.6) appare nell'applicazione dell'amministratore. Questo popup contiene:

- immagine dell'operatore con relativo nome e cognome: per un riconoscimento immediato;
- mappa: che mostra la posizione approssimativa dell'operatore, permettendo un intervento rapido e mirato.

Queste informazioni permettono all'amministratore di gestire l'evento con la massima efficienza, coordinando le risposte di emergenza basate sulla posizione e sulle condizioni specifiche dell'operatore.

Nella sezione "Grafici"(Fig. 3.7), accessibile tramite il bottone posto nella navBar, l'amministratore trova grafici che offrono un riassunto delle statistiche rilevanti, come i riassunti mensili o annuali degli allarmi generati da tutti gli operatori, facilitando una visione globale degli eventi inerenti alla sicurezza. La pagina visualizza al momento il numero di allarmi di stress cardiaco, stress agli arti e altri allarmi, permettendo agli utenti di monitorare le tendenze nel tempo.

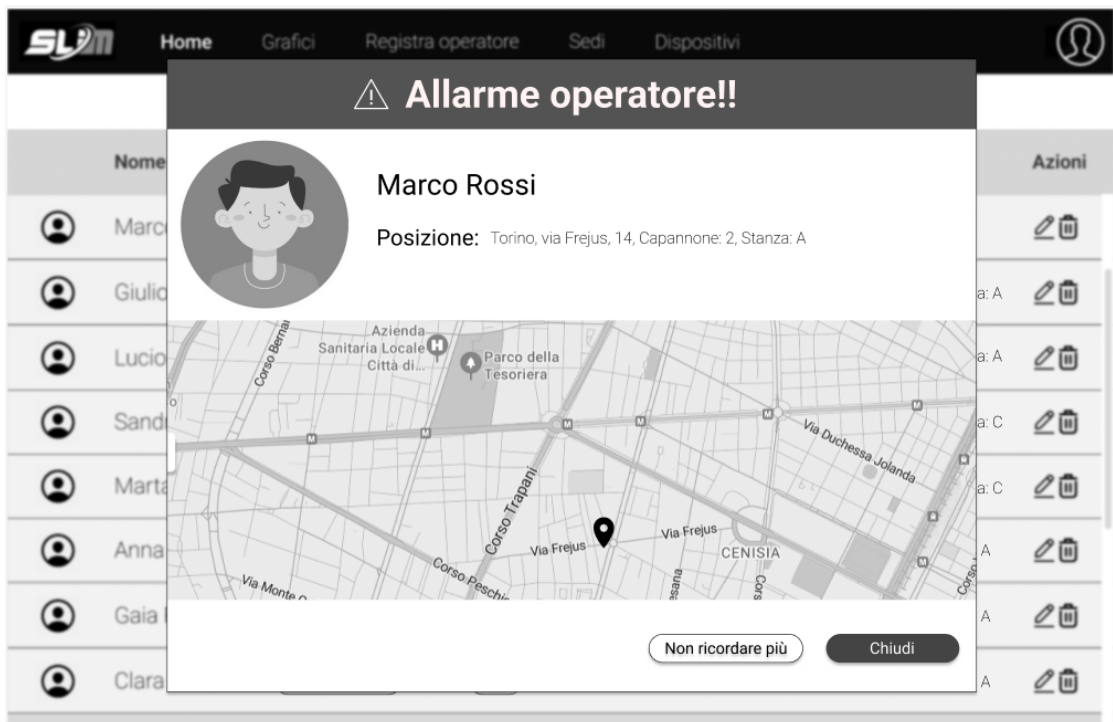


Figura 3.6: Popup allarme operatore (Figma)

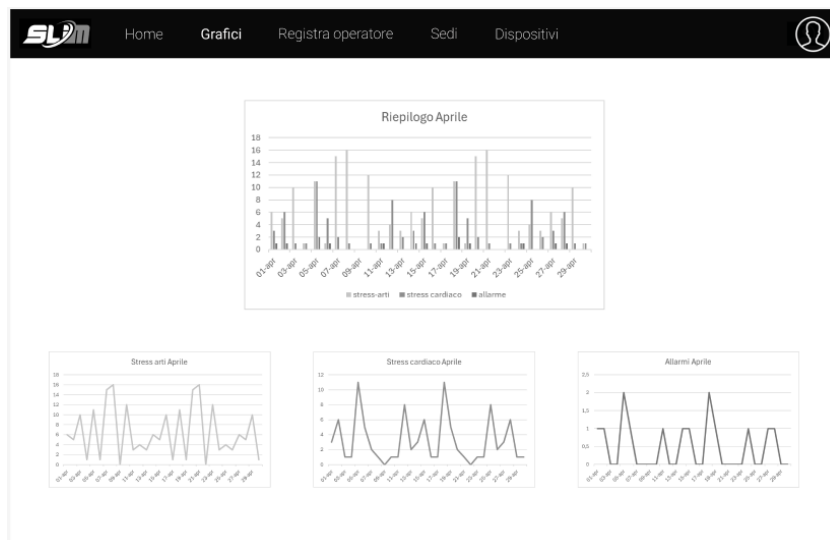


Figura 3.7: Grafici riepilogativi sullo stato di salute degli operatori nel mese di Aprile (Figma)

Nella sezione “Sedi” (Fig. 3.8), accessibile tramite il bottone posto nella navBar, è possibile visualizzare, aggiungere ed eliminare le sedi. La tabella elenca tutte le sedi indicando città, via, numero civico, capannone e numero o identificativo della stanza specifica della sede. Per ciascuna entry è possibile visualizzare la mappa che indica il punto preciso della sede oppure eliminare la sede.

























| Città | Via | Numero | Capannone | Stanza | Azioni |
|--------|------|--------|-----------|--------|---|
| Torino | Roma | 14 | 2 | A |   |
| Torino | Roma | 14 | 2 | B |   |
| Torino | Roma | 14 | 3 | C |   |
| Torino | Roma | 14 | 3 | D |   |
| Torino | Roma | 14 | 3 | E |   |
| Torino | Pola | 20 | 1 | A |   |
| Torino | Pola | 20 | 1 | B |   |
| Torino | Pola | 20 | 2 | A |   |
| Torino | Pola | 20 | 2 | B |   |
| Torino | Pola | 20 | 2 | C |   |
| Torino | Pola | 20 | 2 | D |   |
| Torino | Pola | 20 | 2 | E |   |

Figura 3.8: Pagina delle sedi (Figma)

Nella sezione “Dispositivi” (Fig. 3.9), accessibile tramite il bottone posto nella navBar, sono state implementate diverse funzionalità per la gestione centralizzata dei dispositivi wearable presenti nel sistema, che sono utilizzati o verranno utilizzati dai lavoratori. Le funzionalità principali includono la visualizzazione, l’aggiunta, la modifica e la cancellazione dei dispositivi.

È possibile aggiungere nuovi dispositivi specificando il loro indirizzo MAC e la tipologia. I dispositivi inseribili al momento nel sistema sono:

- 1. Garmin;
- 2. Soletta destra;
- 3. Soletta sinistra.

Vengono poi visualizzati tutti i dispositivi presenti nel sistema con le indicazioni di indirizzo MAC univoco, il tipo di dispositivo e lo stato che indica se il dispositivo è assegnato a un operatore o meno. È possibile cercare specifici dispositivi tramite una barra di ricerca. La visualizzazione chiara dello stato dei dispositivi facilita la gestione e l’assegnazione degli stessi.

| Indirizzo MAC | Tipo | Stato | Azioni |
|---------------|------------------|-------------|--------|
| AAAAAAAAAAAA | Garmin | Registrato | 🗑️ |
| BBBBBBBBBBBB | Soletta destra | Registrato | 🗑️ |
| CCCCCCCCCCCC | Soletta sinistra | Registrato | 🗑️ |
| DDDDDDDDDD | Garmin | Registrato | 🗑️ |
| EEEEEEEEEE | Soletta destra | Registrato | 🗑️ |
| FFFFFFFFFFFF | Soletta sinistra | Registrato | 🗑️ |
| 3333333333 | Soletta destra | Disponibile | 🗑️ |
| 1111111111 | Soletta destra | Disponibile | 🗑️ |
| 4444444444 | Soletta sinistra | Disponibile | 🗑️ |
| 5555555555 | Soletta sinistra | Disponibile | 🗑️ |
| 7777777777 | Soletta sinistra | Disponibile | 🗑️ |
| 2222222222 | Soletta sinistra | Disponibile | 🗑️ |

Figura 3.9: Pagina dei dispositivi (Figma)

La sezione “Registra Operatore” (Fig. 3.10), accessibile tramite il bottone posto nella navBar, consente all’amministratore di inserire nuovi operatori nel sistema attraverso un’interfaccia user-friendly. L’amministratore deve inserire i dettagli personali dell’operatore, tra cui nome, cognome, username e password. Ogni operatore deve inoltre essere associato a una specifica sede/comparto, pertanto l’amministratore può selezionare tramite un menu a discesa la città, la via, il numero civico, il capannone e la stanza della sede tra quelle presenti nel sistema. È inoltre essenziale inserire i vari indirizzi MAC dei dispositivi che saranno associati all’operatore, per le due solette e lo smartwatch. La conferma della password viene richiesta per garantire la correttezza dei dati inseriti.

La sezione “Modifica Operatore” (Fig. 3.11) permette all’amministratore di aggiornare le informazioni di un operatore registrato nel sistema. Questa funzionalità è fondamentale per mantenere aggiornati i dati degli operatori e per gestire i dispositivi wearable associati a ciascuno di essi.

Registra operatore

Nome Cognome Username

Città Via

Numero Capannone Stanza

MAC soletta destra MAC soletta sinistra MAC smartwatch garmin

Password Ripeti password

Registra

Figura 3.10: Pagina di registrazione di un nuovo operatore nel sistema (Figma)

Modifica operatore

Nome: Marco Cognome: Rossi

Città: Torino Via: Roma

Numero: 14 Capannone: 2 Stanza: A

BB BB BB BB BB CC CC CC CC CC CC AA AA AA AA AA AA

MAC soletta destra MAC soletta sinistra MAC smartwatch garmin

Salva modifiche

Figura 3.11: Pagina di modifica delle informazioni di un operatore (Figma)

3.5.2 Architettura dell'applicazione mobile

Il prototipo dell'applicazione mobile sviluppato presenta due distinte versioni, ciascuna progettata per soddisfare le esigenze specifiche dei due diversi tipi di utenti: gli operatori e i ricercatori. Questo design bifocale è stato scelto per

ottimizzare le funzionalità offerte a ciascun gruppo, migliorando l'efficienza e l'efficacia del loro lavoro quotidiano.

La versione dell'applicazione destinata agli operatori è stata progettata con l'obiettivo di massimizzare la semplicità e l'immediatezza delle operazioni. Essa permette agli operatori di eseguire tutte le operazioni necessarie, dalla procedura di associazione dei dispositivi al lancio di un allarme immediato in situazioni di emergenza, attraverso un'interfaccia intuitiva e minimalista, mantenendo così al minimo le interazioni necessarie per ridurre il tempo di risposta.

La versione dell'applicazione per i ricercatori, utilizzata in fase di sviluppo, offre un set più ampio di funzionalità, progettato per fornire un accesso approfondito alle informazioni sui dispositivi e ai dati raccolti. Ciò permette ai ricercatori di monitorare dettagliatamente lo stato e l'efficienza dei dispositivi, come il livello di batteria e i dati in tempo reale provenienti dai sensori, come il battito cardiaco e l'accelerometro, utili per il supporto e lo sviluppo degli algoritmi di intelligenza artificiale.

Architettura applicazione mobile per operatori

Nel prototipo dell'applicazione mobile, ogni operatore effettua l'accesso utilizzando un account personale (Fig. 3.12), il quale viene creato dall'amministratore tramite una dashboard centralizzata. Questo approccio assicura che ogni utente disponga delle autorizzazioni appropriate per accedere solo alle funzionalità necessarie al proprio ruolo.

Per ottimizzare il processo di setup iniziale, è stata implementata una procedura guidata di associazione dei dispositivi. Questa procedura permette di connettere prima le solette smart (Fig. 3.13) e successivamente il dispositivo Garmin (Fig. 3.14). L'interfaccia guidata semplifica il processo, rendendo l'applicazione pronta all'uso in pochi passaggi, confermando, una volta che tutti i dispositivi sono connessi, l'avvenuto completamento dell'associazione (Fig. 3.15).

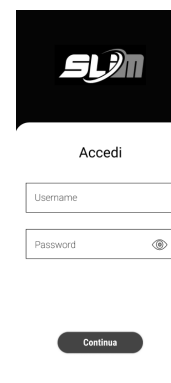


Figura 3.12: Pagina di login dell'operatore (Figma)



Figura 3.13: Ricerca e associazione automatica delle solette (Figma)

Figura 3.14: Ricerca e associazione automatica del Garmin (Figma)

Figura 3.15: Procedura di associazione completata (Figma)

La “Home” (Fig. 3.16) dell’applicazione mostra una panoramica di tutti i dispositivi associati e la posizione attuale, la quale viene definita e può essere aggiornata dall’amministratore attraverso la dashboard, potendo inoltre essere aggiornata dall’operatore tramite dei menu a scelta. Inoltre, se gli operatori si trovano in trasferta, possono attivare il GPS tramite uno switch dedicato (Fig. 3.17), il quale permette di inviare la posizione GPS corrente. A tutela della privacy del lavoratore, quest’ultima informazione verrà inoltrata in automatico soltanto nel caso in cui venga generato un allarme.

Attraverso l’opzione “Vedi di più”, situata nella parte alta della “Home” (Fig. 3.16), o tramite il bottone dedicato nella bottomBar, gli utenti possono accedere alla pagina dei dispositivi (Fig. 3.18). Qui è possibile visualizzare informazioni aggiuntive, come lo stato della batteria del Garmin e, attraverso un menu apposito, cliccando sui tre puntini, segnalare malfunzionamenti di uno o più dispositivi.

La bottom bar offre un accesso immediato alle funzioni principali: il bottone a sinistra permette di andare nella “Home” (Fig. 3.16), quello a destra permette di accedere rapidamente alla pagina dei dispositivi (Fig. 3.18), mentre il pulsante centrale consente agli operatori di inviare manualmente un segnale di allarme. Questo segnale viene visualizzato sull’applicazione dell’amministratore (Fig. 3.6),

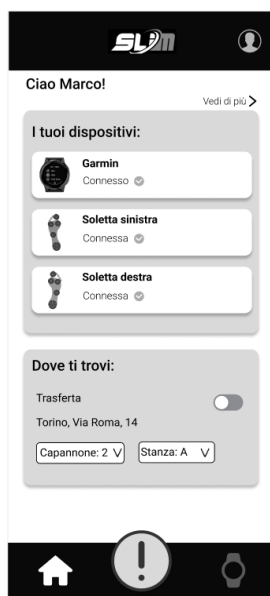


Figura 3.16: Pagina principale: dispositivi connessi, operatore in sede (Figma)



Figura 3.17: Pagina principale: dispositivi connessi, operatore in trasferta (Figma)



Figura 3.18: Pagina dei dispositivi dell'operatore (Figma)

mentre nell'applicazione mobile si apre una pagina che mostra la segnalazione dell'allarme (Fig. 3.19), con la possibilità di annullarlo se necessario.

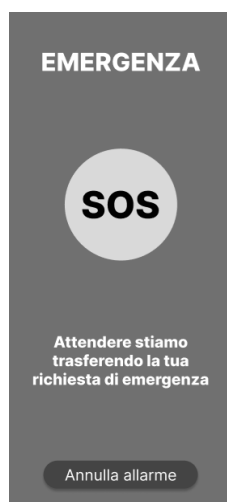


Figura 3.19: Pagina di allarme (Figma)

Nel prototipo dell'applicazione mobile, entrando nel proprio profilo (Fig. 3.20) ogni operatore visualizzerà la foto personale e il nome. Accedendo poi alla sezione di "Modifica" (Fig. 3.21) potrà aggiornare in autonomia le informazioni personali inserite dall'amministratore in fase di registrazione: nome, cognome, username. Potrà inoltre aggiungere informazioni quali peso, età e genere, che serviranno come parametro di input per gli algoritmi di IA e una foto profilo per il pronto riconoscimento nel caso di un allarme. Gli utenti sono invitati, inoltre, a modificare la password assegnata dall'amministratore e modificarla periodicamente per ragioni di sicurezza.



Figura 3.20: Profilo personale operatore (Figma)

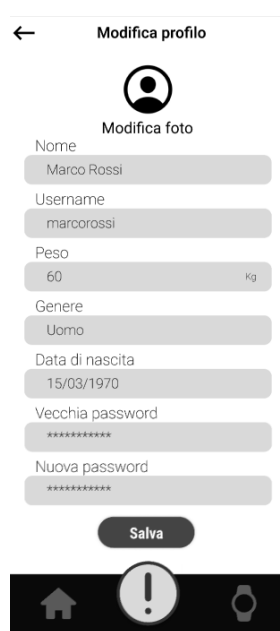


Figura 3.21: Modifica del profilo personale dell'operatore (Figma)

Infine, dal profilo è possibile anche effettuare il sign out, permettendo agli utenti di uscire dall'applicazione garantendo che l'accesso al loro profilo rimanga sicuro e privato quando non è in uso.

Architettura applicazione mobile per i ricercatori dell'azienda partner

La "Home" (Fig. 3.22) visualizza due card principali: una dedicata alle solette intelligenti e l'altra allo smartwatch Garmin, che rappresentano i due tipi principali di dispositivi utilizzati nel progetto. Questa pagina è progettata per fornire

un'interfaccia intuitiva che consenta di monitorare lo stato dei dispositivi connessi e gestire la registrazione dei dati in tempo reale.

All'apertura dell'app, un prompt iniziale informa gli sviluppatori che tutti i dispositivi devono essere collegati prima di iniziare una sessione di registrazione. Questo serve a garantire che tutte le componenti hardware necessarie siano operative e pronte per la raccolta dati, evitando interruzioni durante la fase di testing.

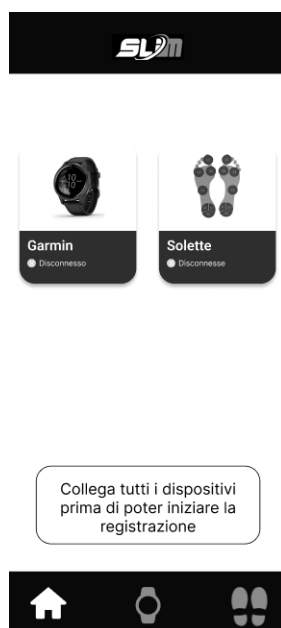


Figura 3.22: Pagina principale dell'applicazione per ricercatori (Figma)

Accedendo alla pagina dedicata allo smartwatch Garmin, tramite la card Garmin nella pagina principale (Fig. 3.22), o tramite la bottom bar, nel caso in cui il Garmin non sia ancora stato connesso in precedenza tramite l'applicazione, si attiva automaticamente la procedura di associazione del dispositivo (Fig. 3.23). Questa procedura è indispensabile per assicurare che il dispositivo sia correttamente configurato e pronto per trasmettere dati in tempo reale.

Nel caso in cui il dispositivo trovato automaticamente (Fig. 3.24) non sia quello corretto viene data la possibilità di visualizzare, tramite il bottone "Ho un dispositivo diverso" tutti i dispositivi Garmin che sono al momento nelle vicinanze (Fig. 3.25) potendo così identificare il Garmin corretto tramite l'indirizzo MAC.

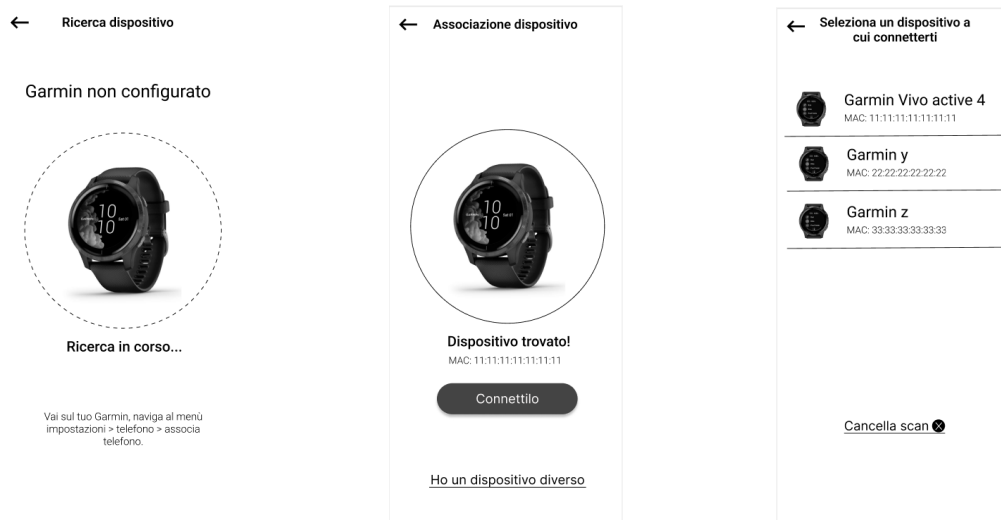


Figura 3.23: Procedura di associazione del Garmin: ricerca del Garmin in corso (Figma)

Figura 3.24: Procedura di associazione del Garmin: dispositivo trovato (Figma)

Figura 3.25: Procedura di associazione del Garmin: scelta di un altro dispositivo (Figma)

Una volta scelto il Garmin a cui ci si vuole collegare si passa alla fase di pairing (Fig. 3.26).

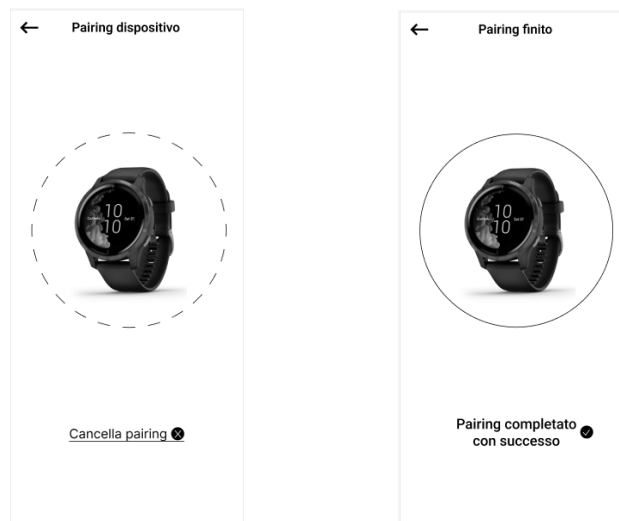


Figura 3.26: Procedura di associazione del Garmin: pairing del dispositivo in corso (Figma)

Figura 3.27: Procedura di associazione del Garmin: pairing completato con successo (Figma)

Una volta completata l'associazione, si possono visualizzare informazioni importanti (Fig. 3.28) come:

- livello di batteria: utile per assicurarsi che il dispositivo possa operare per tutta la durata della sessione di raccolta dati senza interruzioni;
- nome e indirizzo MAC: importante per identificare a quale dispositivo si è associati;
- dati sensoriali in tempo reale: include il battito cardiaco e i dati dell'accelerometro.

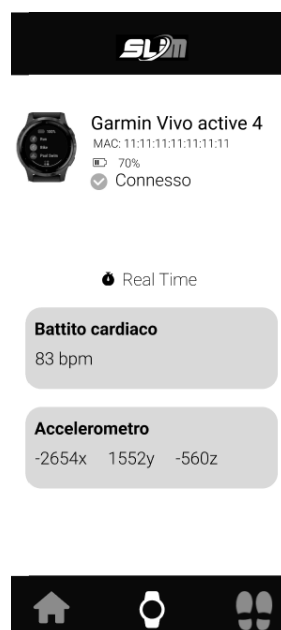


Figura 3.28: Pagina del dispositivo Garmin (Figma)

Accedendo invece alla pagina delle solette (Fig. 3.29) le si può facilmente collegare tramite l'interfaccia. Una volta connesse, l'app conferma lo stato di connessione (Fig. 3.31), permettendo di procedere con la raccolta dei dati. Dopo la connessione, la pagina mostra in tempo reale le informazioni relative alle forze esercitate sulle solette. È possibile inoltre disconnettere le solette tramite l'interfaccia, per evitare di scaricare completamente la batteria.

La "Home" (Fig. 3.32) offre anche la possibilità di avviare o terminare una registrazione dei dati raccolti, con una visualizzazione chiara dello stato di registrazione attraverso un chip "REC" sulla top bar (Fig. 3.33). Questo indica se la raccolta dati è attiva e permette di passare facilmente tra diverse pagine dell'app senza perdere di vista lo stato della sessione.

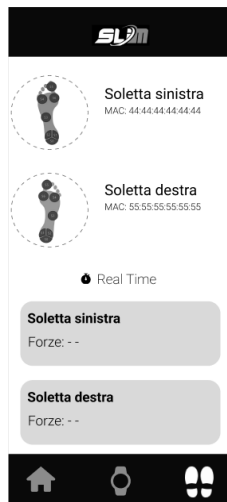


Figura 3.29: Pagina delle solette: ricerca in corso dei dispositivi (Figma)



Figura 3.30: Pagina delle solette: dispositivi trovati e connettabili (Figma)



Figura 3.31: Pagina delle solette: dispositivi connessi e funzionanti (Figma)

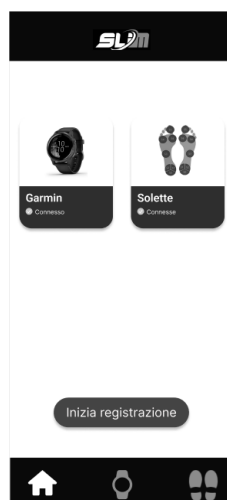


Figura 3.32: Pagina principale: dispositivi connessi e possibilità di iniziare una nuova registrazione (Figma)

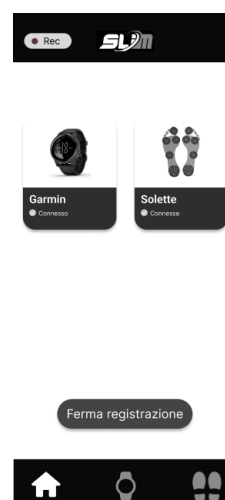


Figura 3.33: Pagina principale: dispositivi connessi e registrazione in corso (Figma)

Capitolo 4

Implementazione

Dopo aver progettato il prototipo delle applicazioni utilizzando Figma, si è passati alla fase di sviluppo. Questa fase ha visto la traduzione delle idee e delle interfacce grafiche in codice funzionale, con l'obiettivo di realizzare delle applicazioni che fossero il più possibili complete e operative.

4.1 Implementazione dashboard

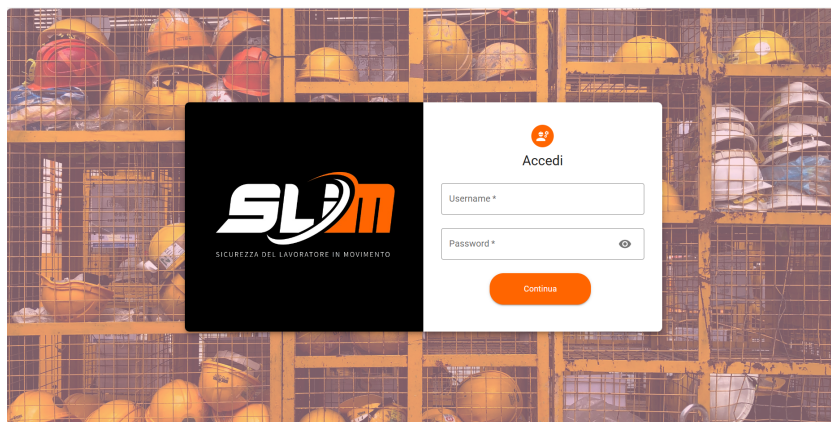


Figura 4.1: Pagina di login dell'amministratore

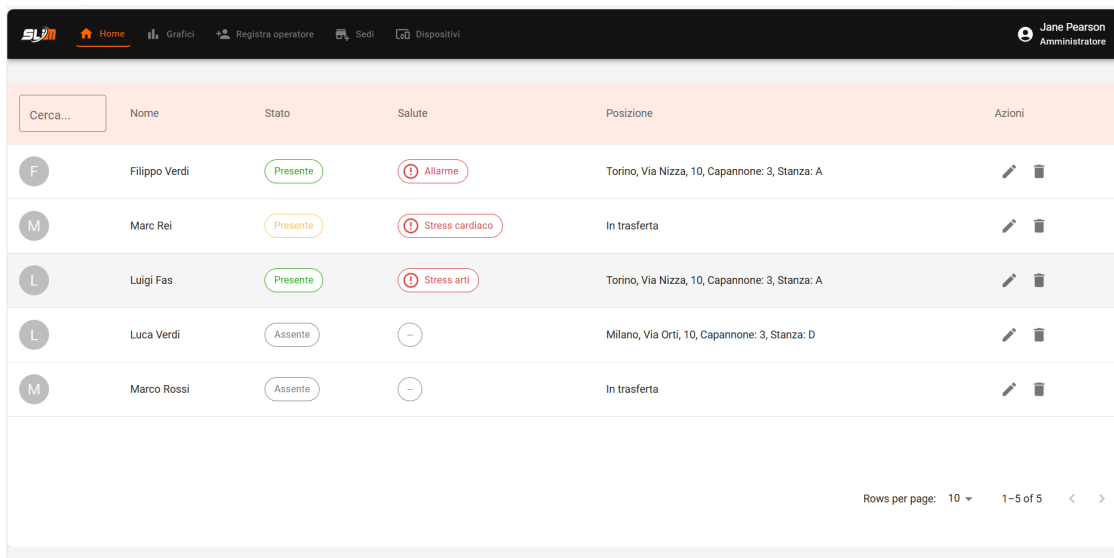
La pagina principale dell'applicazione web (Fig. 4.2) presenta una tabella progettata per essere informativa in maniera intuitiva, grazie all'utilizzo di diversi colori per rappresentare vari stati degli operatori:

- verde: questo colore indica che tutto è in ordine, segnalando che l'operatore è presente al lavoro e che non ci sono problemi rilevanti;

- giallo: questo colore avverte di una condizione di attenzione. Per esempio, viene utilizzato quando un operatore è presente a lavoro ma non sta indossando uno dei dispositivi necessari, oppure quando l'operatore ha segnalato una condizione di errore su uno dei dispositivi;
- rosso: è usato per richiamare immediatamente l'attenzione su una situazione di emergenza;
- grigio: individua gli operatori assenti, in modo da ridurre l'attenzione su di loro e concentrarsi esclusivamente sugli operatori presenti.

Ogni elemento nella tabella è accompagnato da una targhetta che riporta lo stato dell'operatore, ulteriormente evidenziato dai colori per fornire informazioni più immediatamente percepibili.

Per proteggere la privacy dei lavoratori, le loro immagini non vengono mostrate direttamente nella tabella, ma solo nei popup di allarme, per favorire comunque una più rapida e specifica reazione in caso di necessità.



The screenshot shows a web application interface with a dark header containing navigation links (Home, Grafici, Registra operatore, Sedi, Dispositivi) and a user profile for Jane Pearson, Amministratore. Below the header is a table with the following data:

| Cerca... | Nome | Stato | Salute | Posizione | Azioni |
|----------|---------------|----------|-----------------|--|------------------|
| F | Filippo Verdi | Presente | Allarme | Torino, Via Nizza, 10, Capannone: 3, Stanza: A | [Pencil] [Trash] |
| M | Marc Rei | Presente | Stress cardiaco | In trasferta | [Pencil] [Trash] |
| L | Luigi Fas | Presente | Stress arti | Torino, Via Nizza, 10, Capannone: 3, Stanza: A | [Pencil] [Trash] |
| L | Luca Verdi | Assente | - | Milano, Via Orti, 10, Capannone: 3, Stanza: D | [Pencil] [Trash] |
| M | Marco Rossi | Assente | - | In trasferta | [Pencil] [Trash] |

At the bottom right of the table, there is a pagination control: "Rows per page: 10" and "1-5 of 5".

Figura 4.2: Pagina principale

Nel caso in cui l'operatore non sia a lavoro non si ha alcuna informazione relativamente ai suoi dispositivi (Fig. 4.3). Rispetto al prototipo Figma, si è deciso di includere nella pagina dedicata all'operatore (Fig. 4.3) anche la posizione, per maggiore completezza delle informazioni.

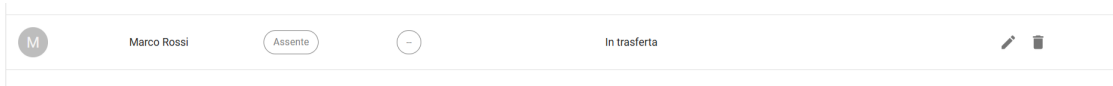


Figura 4.3: Riga della tabella relativa ad un operatore assente

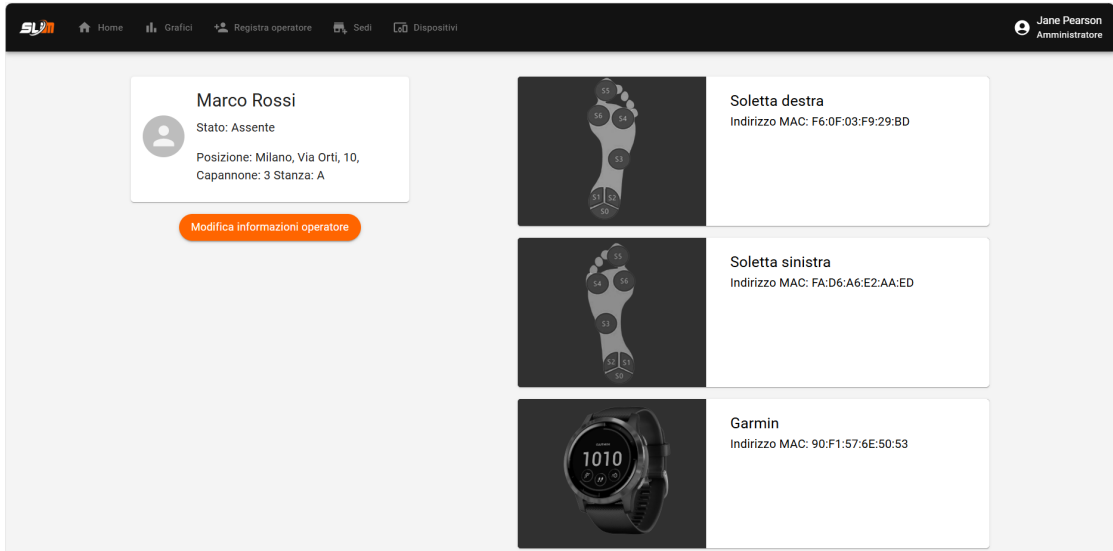


Figura 4.4: Pagina di un operatore assente

L'operatore una volta autenticato nell'applicazione mobile, e dopo aver eseguito la procedura di associazione dei dispositivi passa da assente a presente (Fig. 4.5 / 4.6).

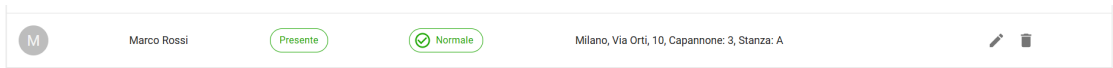


Figura 4.5: Riga della tabella relativa ad un operatore presente e con stato di salute normale

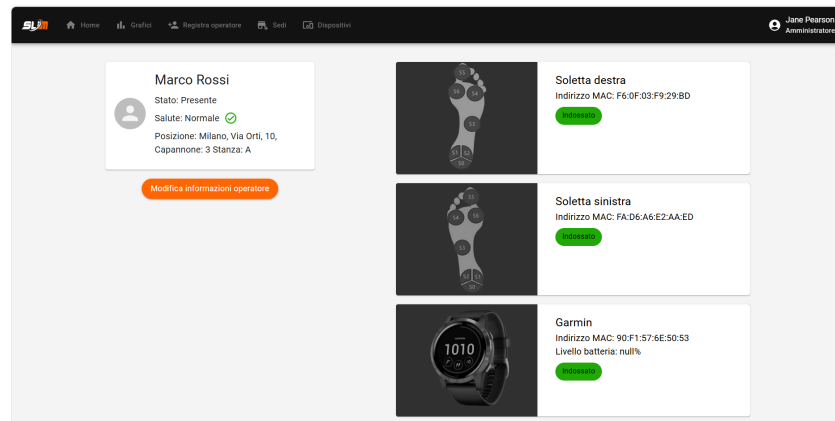


Figura 4.6: Pagina di un operatore presente a lavoro con tutti i dispositivi connessi e stato di salute normale

Nel caso in cui un operatore non abbia collegato tutti i dispositivi necessari, o ci sia un errore con uno dei dispositivi, la chip che indica la presenza al lavoro diventa gialla (Fig. 4.7), segnalando in tal modo che potrebbe esserci un problema.



Figura 4.7: Riga della tabella relativa ad un operatore presente con dispositivo disconnesso

Inoltre, se un operatore non indossa un dispositivo richiesto, c'è la possibilità di inviare un promemoria dalla pagina delle informazioni dell'operatore (Fig. 4.8), sollecitando l'operatore a indossare il dispositivo.

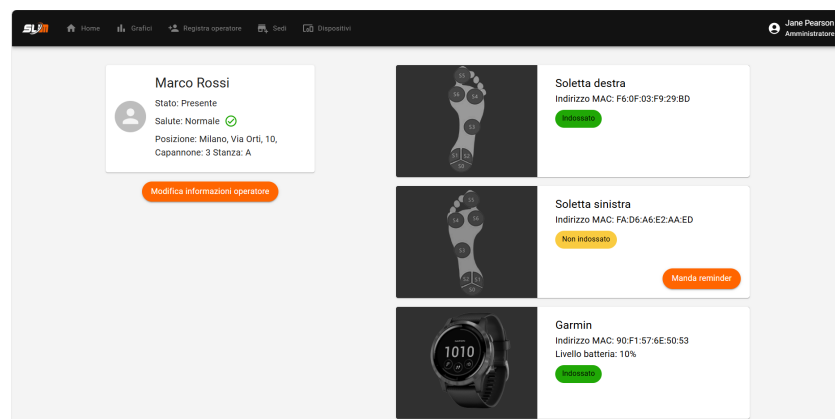


Figura 4.8: Pagina dell'operatore: operatore con dispositivo non connesso

Nel caso in cui l'operatore segnali tramite l'applicazione mobile un errore relativo a uno dei dispositivi, l'errore viene visualizzato sia nella scheda specifica del dispositivo associato all'operatore, sia tramite un popup che appare nell'applicazione web al momento della segnalazione (Fig. 4.9). Nel popup è presente anche la possibilità di essere reindirizzati direttamente alla pagina dell'operatore (Fig. 4.8) a cui è assegnato quello specifico dispositivo, tramite il bottone "Mostra operatore".

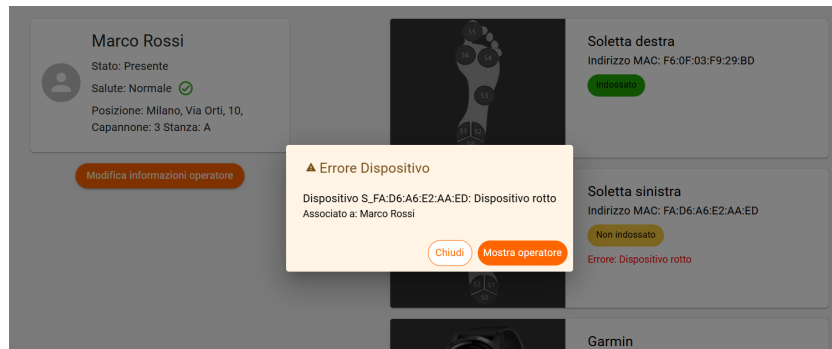


Figura 4.9: Popup di identificazione di errore su un dispositivo

Nel caso invece di allarme a causa di stress cardiaco appaiono le seguenti indicazioni (Fig. 4.10 Fig. 4.11):

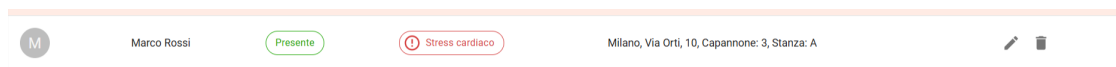


Figura 4.10: Riga della tabella relativa ad un operatore presente in stato di stress cardiaco

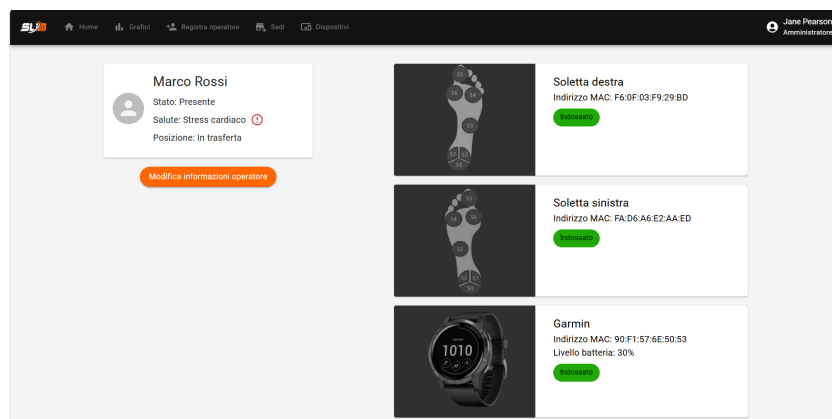


Figura 4.11: Pagina dell'operatore in stato di stress cardiaco

Il popup di allarme (Fig. 4.12) è progettato per garantire una risposta rapida e appropriata da parte degli amministratori e include diverse opzioni per gestire l'allarme in modo efficace ed efficiente. Il popup viene visualizzato immediatamente, informando l'operatore della situazione che richiede attenzione. Rispetto al prototipo creato su Figma, è stata aggiunta la visualizzazione dello stato di salute dell'operatore per distinguere immediatamente il tipo di problema (stress cardiaco, stress arti o allarme generato manualmente tramite l'applicazione mobile o per uomo a terra).

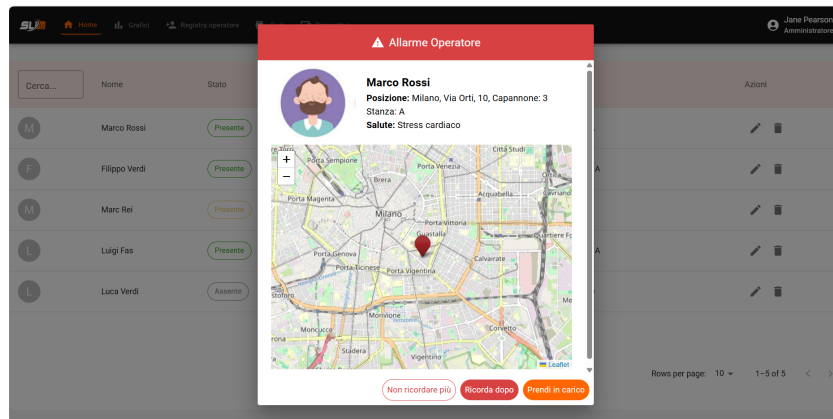


Figura 4.12: Popup di allarme operatore in stato di stress cardiaco



Figura 4.13: Riga della tabella relativa ad un operatore presente in stato di stress arti

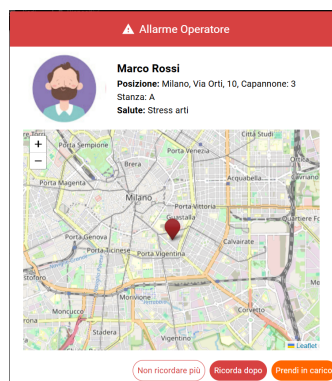


Figura 4.14: Popup di allarme operatore in stato di stress arti

Per gestire l'allarme ci sono varie opzioni:

- non ricordare più: se l'amministratore sceglie di non ricordare più il popup, viene mostrato un ulteriore popup di avvertenza che chiede conferma (Fig. 4.15). Questo assicura che l'operatore sia consapevole della decisione e comprende che l'allarme non verrà più notificato. Tuttavia, sarà sempre possibile rivedere l'allarme cliccando sulla chip di allarme associata all'operatore nella tabella;

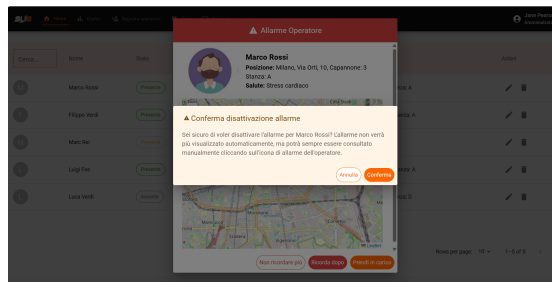


Figura 4.15: Popup conferma disattivazione allarme

- ricorda più tardi: l'operatore ha la possibilità di rimandare l'allarme. Se si sceglie di ricordare più tardi, il popup si chiude temporaneamente ma riapparirà dopo un certo intervallo di tempo, garantendo che l'allarme non venga ignorato;
- prendi in carico: l'allarme può essere preso in carico dall'amministratore. In tal caso, questa informazione viene sincronizzata e visualizzata anche nell'applicazione mobile, specificando che l'allarme è stato gestito da qualcuno. Impostazione particolarmente utile per coordinare le risposte e assicurarsi che tutti i membri del team siano informati sulle azioni intraprese. Questa funzionalità è stata aggiunta rispetto al prototipo Figma poiché si è pensato che fosse necessario dare un riscontro anche all'operatore che utilizza l'applicazione mobile.

La possibilità di rivedere gli allarmi, cliccando sulla chip dell'operatore (Fig. 4.16), e l'integrazione con l'applicazione mobile assicurano che tutte le azioni siano tracciate e coordinate efficacemente tra i vari membri del team.

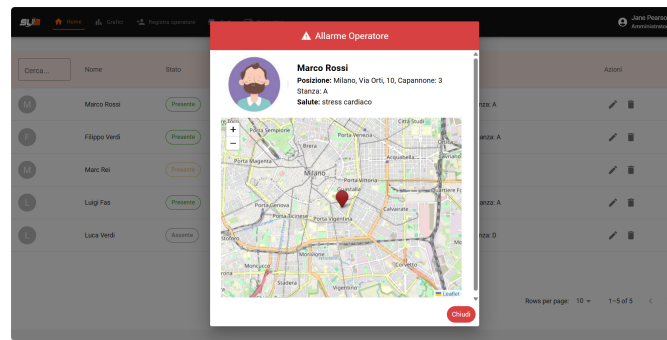


Figura 4.16: Popup scatenato cliccando sulla chip di allarme associata all'operatore nella tabella

Se l'operatore è in trasferta vengono utilizzate le coordinate GPS (latitudine e longitudine), inviate dall'applicazione mobile al verificarsi dell'allarme, per visualizzare la posizione attuale sulla mappa (Fig. 4.18). Se l'operatore è nella sede di lavoro predefinita, l'applicazione utilizza i dettagli dell'indirizzo predefinito (città, via, numero, capannone, stanza) per ottenere le coordinate geografiche tramite un servizio API di geocoding al momento della registrazione della sede nel sistema.

La libreria Leaflet [26] (libreria JavaScript per la visualizzazione di mappe interattive), integrata con i dati di OpenStreetMap [27] (servizio utilizzato per ottenere mappe e dati di localizzazione), viene utilizzata per visualizzare la posizione dell'operatore su una mappa interattiva all'interno del popup di allarme.



Figura 4.17: Righe della tabella relativa ad un operatore in trasferta, in stato di emergenza

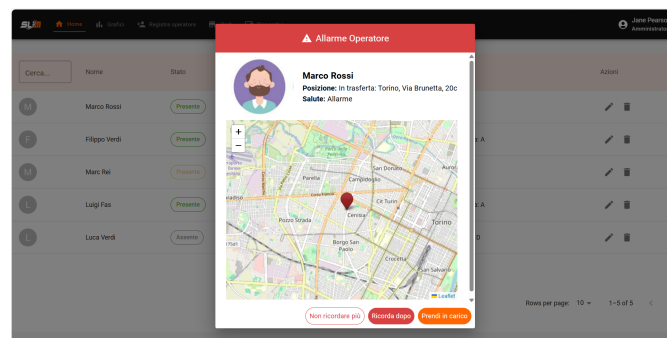


Figura 4.18: Popup di allarme operatore in trasferta

Nella pagina relativa ai grafici (Fig. 4.19) gli utenti possono visualizzare i dati su base mensile o annuale, offrendo una panoramica flessibile e dettagliata delle statistiche degli allarmi. La pagina utilizza un tema personalizzato con Material-UI, per mantenere un aspetto coerente e professionale. Il colore principale del tema è l'arancione, che viene utilizzato per bordi, etichette e altri elementi interattivi.

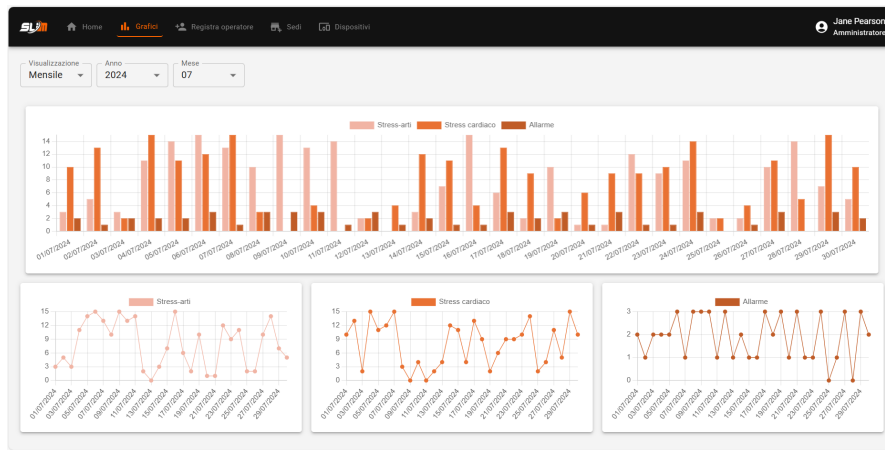


Figura 4.19: Pagina dei grafici

Nella pagina delle sedi (Fig. 4.20), cliccando sull'icona della mappa nella riga della tabella viene mostrata la posizione della sede (Fig. 4.21), mentre cliccando sull'icona del cestino viene mostrato un popup di conferma della volontà di eliminare quella determinata sede.

| Città | Via | Numero | Capannone | Stanza | Azioni |
|--------|----------|--------|-----------|--------|---------------|
| Torino | Brunetta | 12 | 1 | A | [Map] [Trash] |
| Torino | Brunetta | 12 | 1 | B | [Map] [Trash] |
| Torino | Brunetta | 12 | 1 | C | [Map] [Trash] |
| Torino | Brunetta | 12 | 1 | D | [Map] [Trash] |
| Torino | Nizza | 10 | 3 | A | [Map] [Trash] |
| Torino | Nizza | 30 | 3 | A | [Map] [Trash] |
| Torino | Nizza | 30 | 3 | C | [Map] [Trash] |

Figura 4.20: Pagina delle sedi

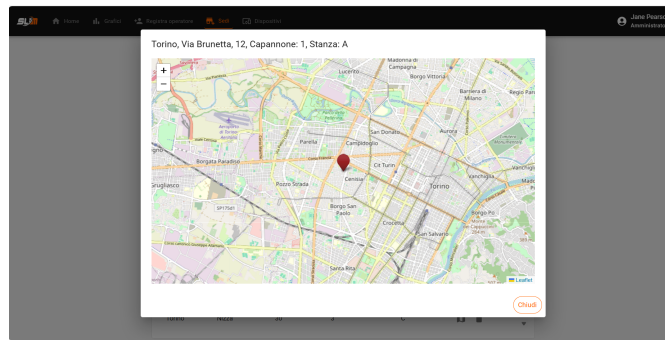


Figura 4.21: Visualizzazione sulla mappa della posizione della sede

Per l'aggiunta delle sedi vi sono due possibilità.

- caricamento manuale (Fig. 4.22): gli utenti possono inserire manualmente i dettagli della sede come nazione, regione, provincia, CAP, città, via, numero civico, capannone e stanza. Utilizzando un pulsante, il sistema recupera automaticamente le coordinate geografiche (latitudine e longitudine) in base all'indirizzo inserito;

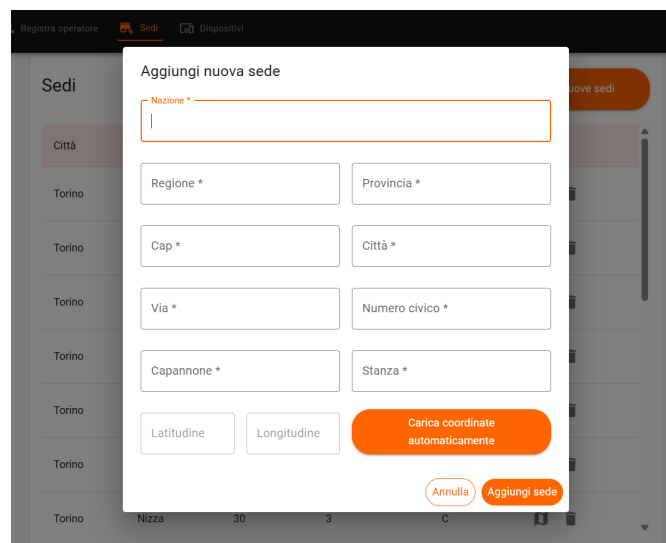


Figura 4.22: Popup form per il caricamento manuale della sede

- caricamento tramite CSV (Fig. 4.23): gli utenti possono caricare un file CSV contenente i dettagli delle sedi. Il sistema legge il file, valida i dati, recupera le coordinate geografiche per ogni sede e le aggiunge al database.

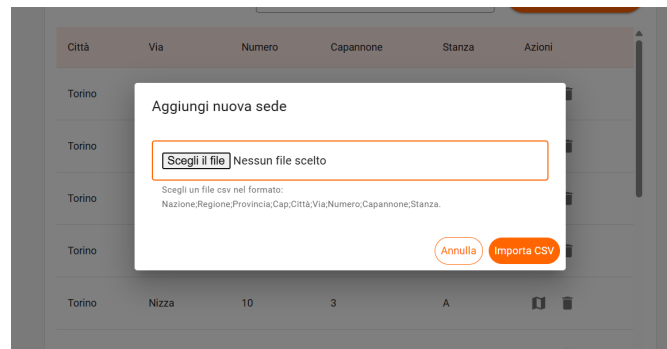


Figura 4.23: Popup caricamento sedi tramite csv

Il sistema utilizza un servizio di geocoding per convertire gli indirizzi inseriti in coordinate geografiche e viceversa.

Nella sezione dei dispositivi (Fig. 4.24), rispetto al prototipo Figma, si è deciso di introdurre un'ulteriore icona di informazioni, così da integrare più dati relativi alla disponibilità o meno del dispositivo e, nel caso, a chi sia associato.

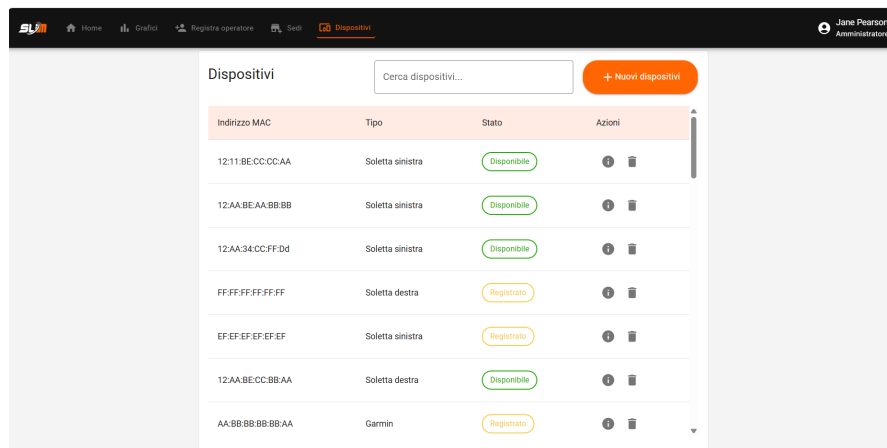


Figura 4.24: Pagina dei dispositivi

I dati dei dispositivi vengono costantemente sincronizzati con il database, garantendo che le informazioni siano sempre aggiornate. Per l'aggiunta dei dispositivi, così com'è stato fatto per le sedi, c'è la possibilità di aggiungerli con due diverse modalità:

- aggiunta manuale (Fig. 4.25): gli utenti possono inserire manualmente i dettagli del dispositivo, come l'indirizzo MAC e il tipo di dispositivo (es. soletta destra, soletta sinistra, Garmin). Un sistema di validazione controlla il formato dell'indirizzo MAC, per garantire che sia corretto.

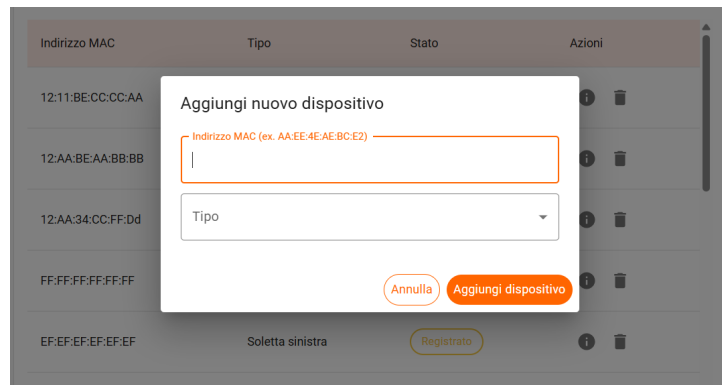


Figura 4.25: Aggiunta di un dispositivo manualmente

- aggiunta tramite CSV (Fig. 4.26): gli utenti possono caricare un file CSV contenente i dettagli opportunamente precaricati dei dispositivi. Il sistema legge il file, valida i dati e aggiunge i dispositivi al database, se non esistono duplicati.

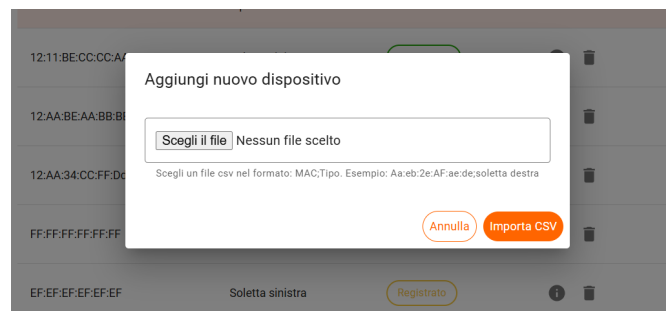


Figura 4.26: Aggiunta dei dispositivi tramite file csv

Quando si clicca sull'icona delle informazioni di un dispositivo assegnato, viene mostrato un popup che indica a chi è assegnato il dispositivo. Se il dispositivo non è assegnato a nessun operatore, il popup indicherà che il dispositivo è disponibile per un'assegnazione.

Cliccando sull'icona di eliminazione di un dispositivo registrato, viene mostrato un popup di conferma (Fig. 4.27) che informa l'utente dell'associazione esistente con un operatore. L'utente può navigare direttamente alla pagina di modifica dell'operatore per aggiornare le informazioni del dispositivo prima di procedere con l'eliminazione.

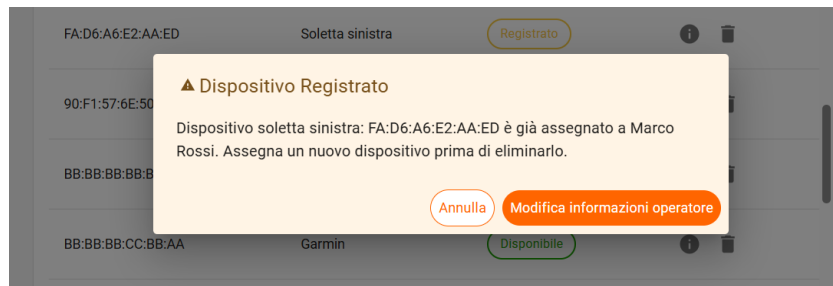


Figura 4.27: Popup di notifica di non possibilità a cancellare perché già assegnato

I dispositivi non registrati e quindi disponibili possono essere eliminati con conferma tramite un popup.

Nella pagina di registrazione dell'operatore (Fig. 4.28) per l'assegnazione dei dispositivi, quelli disponibili sono elencati in menu a discesa, popolati solo con i dispositivi che non sono già assegnati ad altri operatori. Questo garantisce da errori di attribuzione multipla dello stesso dispositivo.

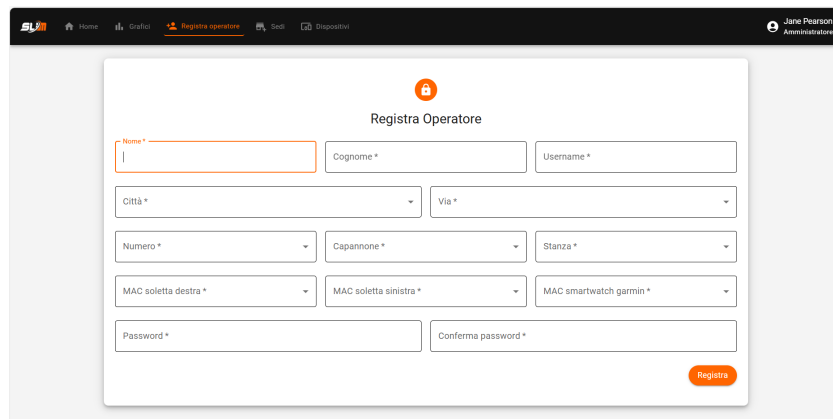


Figura 4.28: Pagina di registrazione di un nuovo operatore nel sistema

Quando l'amministratore accede alla pagina di modifica (Fig. 4.29), il sistema recupera automaticamente i dati dell'operatore selezionato, tra cui nome, cognome, username, posizione di default e indirizzi MAC dei dispositivi. Questo permette di visualizzare immediatamente le informazioni correnti e di apportare le modifiche necessarie. La posizione di default di ogni operatore è selezionabile tramite un menu a discesa, che mostra le opzioni disponibili per città, via, numero civico, capannone e stanza. L'amministratore può inoltre vedere e aggiornare i dispositivi wearable associati all'operatore, come la soletta destra, la soletta sinistra e il dispositivo Garmin. I menu a discesa mostrano i dispositivi disponibili che possono essere assegnati.

Figura 4.29: Pagina di modifica dell'operatore

4.2 Implementazione applicazione mobile

L'applicazione nella versione per gli operatori offre un sistema completo per gestire l'accesso (Fig. 4.30) e la modifica dei dati personali degli operatori.

Figura 4.30: Pagina di login operatori

Una volta fatta l'identificazione tramite la pagina di login, se è la prima volta che l'utente entra nell'applicazione, esso viene invitato (Fig.4.31) a completare il proprio profilo inserendo informazioni personali mancanti (Fig. 4.33), come peso, genere, data di nascita e una foto profilo, per migliorare l'efficacia degli algoritmi di intelligenza artificiale e per essere riconoscibili in caso di allarme. La modifica del profilo include la possibilità di caricare una foto direttamente dalla fotocamera o dalla galleria.

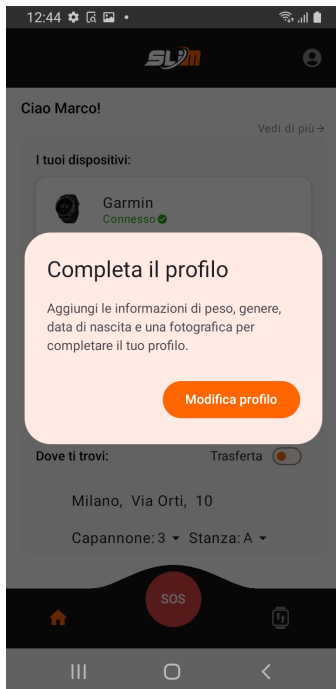


Figura 4.31: Popup per il reindirizzamento al completamento profilo

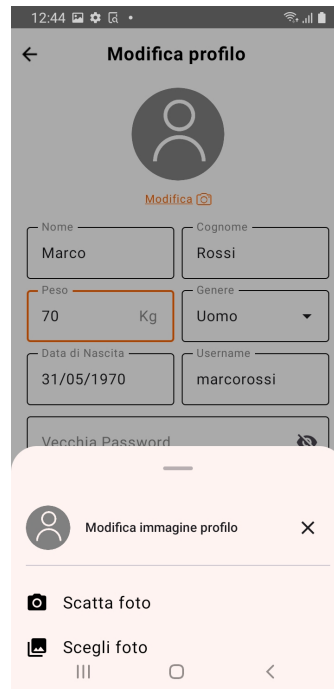


Figura 4.32: Possibilità di modifica della foto tramite fotocamera o scegliendo da galleria

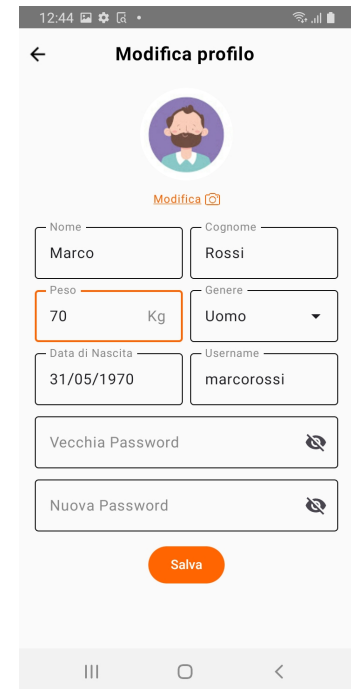


Figura 4.33: Pagina per modificare le informazioni del profilo

È opportuno evidenziare in questa sede che, a tutela della privacy del lavoratore, i dati su età, peso e genere sono trattati come informazioni sensibili. Essi infatti vengono utilizzati esclusivamente sul dispositivo dell'utente, processati da algoritmi di intelligenza artificiale per valutare lo stato di salute dell'utente, e non vengono salvati su server esterni o cloud. Analogamente, la foto dell'utente viene utilizzata solo in caso di allarme, come già sopra accennato, per aiutare nella pronta identificazione.

Quando l'utente effettua il sign out, viene anche definita la chiusura del turno di lavoro, e conseguente scollegamento automatico di tutti i dispositivi indossabili

associati. Una finestra di conferma appare per chiedere all'utente se è sicuro di voler uscire (Fig. 4.35).

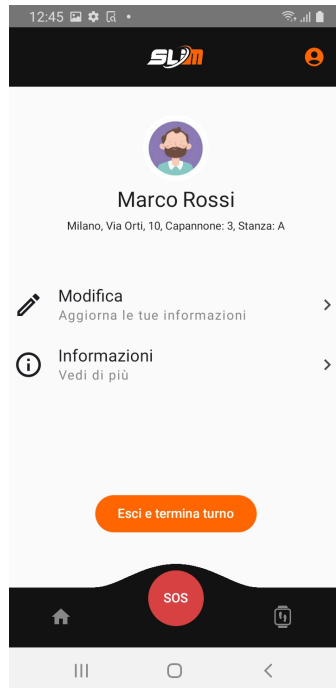


Figura 4.34: Profilo operatore

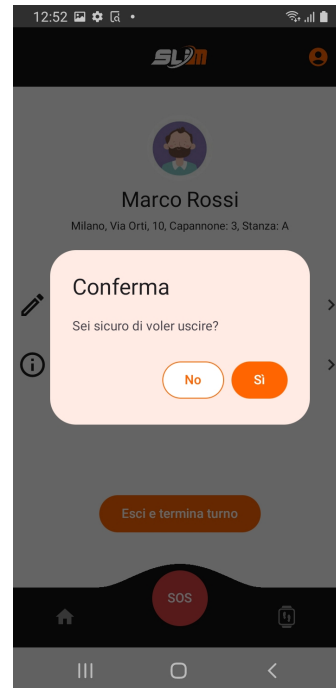


Figura 4.35: Popup di conferma dell'uscita dall'applicazione

Nella sezione della pagina principale (Fig. 4.36 e Fig. 4.37) relativa ai dispositivi, l'applicazione visualizza lo stato di connessione di ogni dispositivo:

1. Garmin: l'icona del dispositivo mostra lo stato di connessione (in connessione, connesso, disconnesso) con un'icona colorata per un'istantanea identificazione visiva;
2. soletta sinistra e soletta destra: ogni soletta è rappresentata con il proprio stato di connessione, mostrando se sono connesse o disconnesse.

La schermata di allarme (SOS) (Fig. 4.38) nell'applicazione per gli operatori è progettata per essere facilmente accessibile e altamente visibile e udibile in situazioni di emergenza. L'obiettivo è garantire che l'allarme venga percepito rapidamente anche dalle persone nelle vicinanze. La schermata di SOS può essere attivata, con conseguente invio dell'allarme, in due modi: premendo il tasto di SOS presente nella navbar, e in futuro, anche tramite algoritmi di intelligenza artificiale che

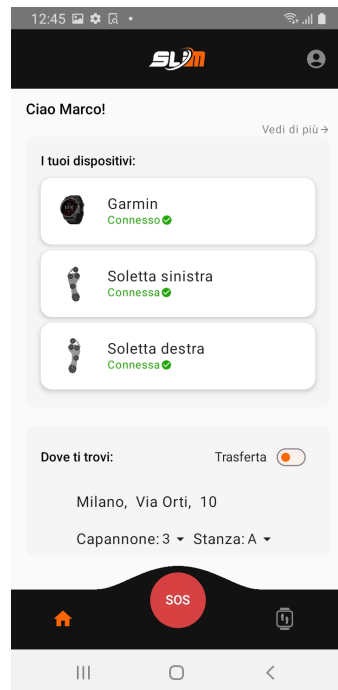


Figura 4.36: Pagina principale con posizione di default

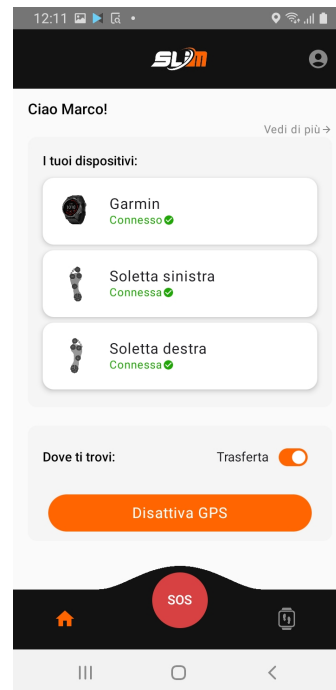


Figura 4.37: Pagina principale operatore in trasferta

rilevano automaticamente situazioni di emergenza. Nella schermata di emergenza sono presenti:

- schermata rossa: l'intera schermata diventa rossa per attirare immediatamente l'attenzione;
- suono di allarme: utile ad attirare con immediatezza le persone nelle vicinanze;
- messaggi di stato: un messaggio indica se la richiesta di emergenza è stata presa in carico;
- bottone di annullamento: in fondo alla schermata, un bottone permette di annullare l'allarme. Quando premuto, viene mostrato un popup di conferma per evitare annullamenti accidentali.

La schermata di allarme (SOS) (Fig. 4.38) è progettata per garantire che le emergenze siano gestite rapidamente. L'uso di colori vivaci, suoni di allarme e messaggi chiari aiuta a garantire che l'attenzione sia immediatamente catturata. Quando viene attivato un allarme, l'applicazione utilizza il GPS per rilevare e trasmettere la posizione corrente dell'operatore se quest'ultimo è in trasferta, assicurando in

tal modo che in caso di emergenza le coordinate precise dell'operatore vengano inviate tempestivamente all'amministratore. A garanzia della privacy del lavoratore, questa richiesta è stata configurata per ricevere la posizione dell'operatore soltanto nel momento specifico dell'emergenza..



Figura 4.38: Schermata di SOS: allarme inviato



Figura 4.39: Schermata di SOS: allarme ricevuto e preso in carico da un amministratore

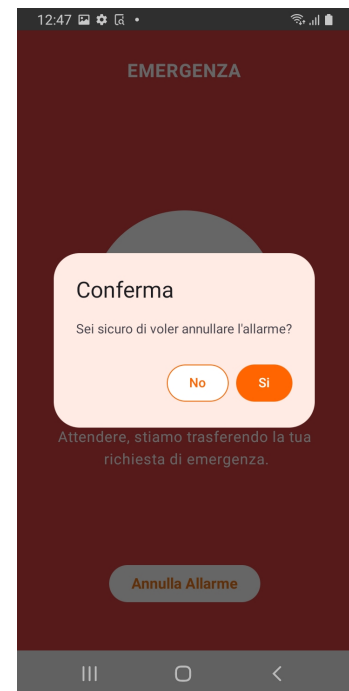


Figura 4.40: Popup di conferma annullamento dell'allarme

Pagina dei dispositivi (Fig. 4.41) a cui si può accedere o tramite il "Vedi di più" nella pagina principale, oppure attraverso il bottone presente nella bottom bar in basso a destra.

Tramite l'icona in alto a destra di ogni card del dispositivo, è possibile segnalare un errore per quel determinato elemento (Fig. 4.44), che viene inviato al server all'attenzione dell'amministratore. È possibile anche eliminare l'errore segnalato tramite la stessa procedura.

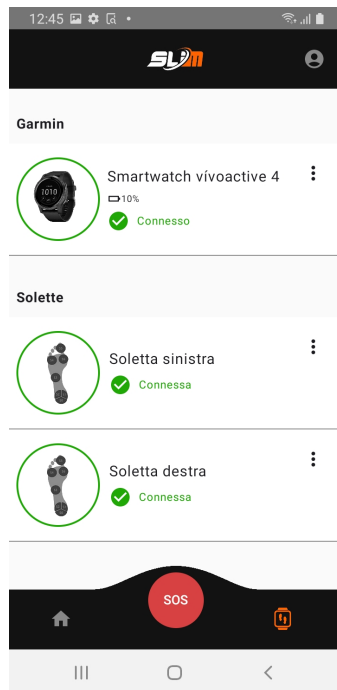


Figura 4.41: Pagina dispositivi: dispositivi connessi

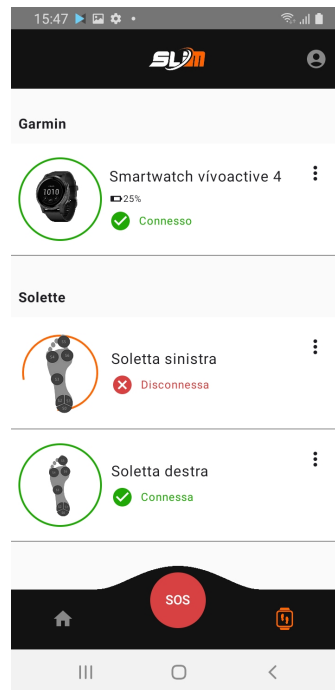


Figura 4.42: Pagina dispositivi: soletta disconnessa e ricerca della soletta in corso

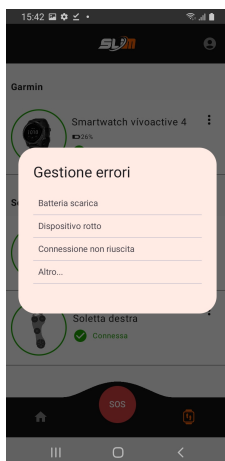


Figura 4.43: Gestione errori: segnala errore

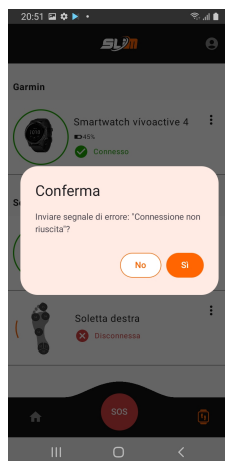


Figura 4.44: Gestione errori: conferma segnalazione errore

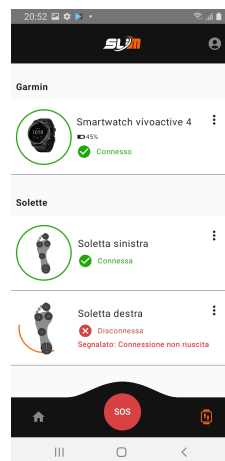


Figura 4.45: Gestione errori: "Connessione non riuscita" segnalato

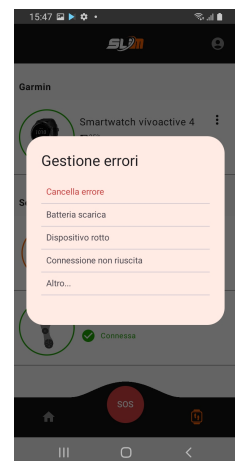


Figura 4.46: Gestione errori: cancella errore

Nella pagina principale dell'applicazione per i ricercatori (Fig. 4.47), nelle due card principali viene mostrato lo stato di connessione delle solette e del dispositivo Garmin:

- Garmin: viene visualizzato lo stato di connessione del dispositivo con tre possibili stati:
 1. disconnesso: il dispositivo è stato precedentemente associato all'applicazione, ma il Bluetooth del dispositivo non è attivo o per problemi di associazione (Fig. 4.47);
 2. nessun dispositivo associato: non è mai stata eseguita la procedura di associazione del dispositivo tramite l'applicazione o tramite Garmin Connect (Fig. 4.49);
 3. connesso: il dispositivo è attualmente connesso;
- solette: viene visualizzato lo stato delle solette con tre possibili stati:
 1. connesse: entrambe le solette sono correttamente connesse (Fig. 4.50) ;
 2. parzialmente connesse: solo una delle due solette è connessa (Fig. 4.47);
 3. disconnesse: nessuna delle due solette è connessa (Fig. 4.48).

I colori utilizzati per indicare lo stato dei dispositivi sono coerenti con la logica usuale: verde per indicare una connessione riuscita e rosso per indicare una mancata connessione.

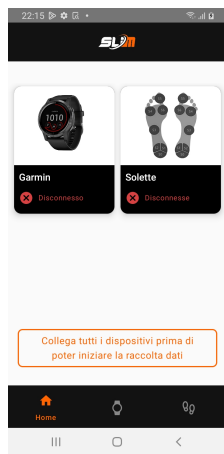


Figura 4.47: Pagina principale: dispositivi disconnessi

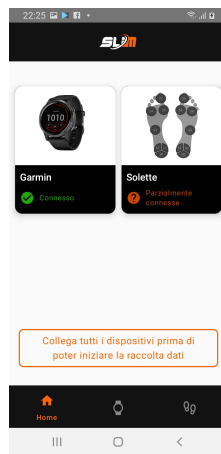


Figura 4.48: Pagina principale: solette parzialmente connesse

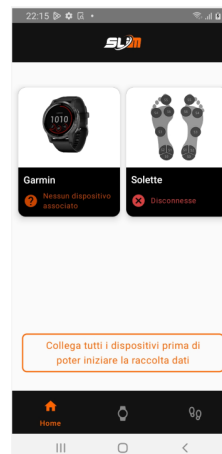


Figura 4.49: Pagina principale: Garmin non associato

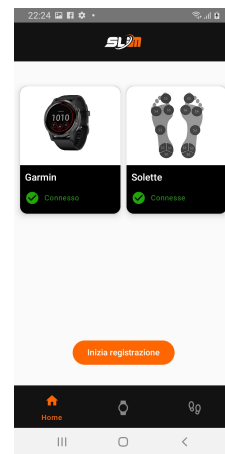


Figura 4.50: Pagina principale: dispositivi connessi

Quando tutti i dispositivi sono connessi, è possibile avviare la registrazione dei dati direttamente dalla pagina principale:

- avvio della registrazione: quando tutti i dispositivi sono connessi, il pulsante “Inizia registrazione” diventa attivo (Fig. 4.50). Una volta avviata la registrazione, i dati raccolti dai dispositivi vengono salvati in tempo reale;
- terminazione della registrazione: la registrazione può essere terminata manualmente premendo il pulsante “Ferma registrazione” (Fig. 4.51). In alternativa, se uno dei dispositivi si disconnette durante la registrazione, questa viene automaticamente interrotta. Al termine della registrazione, viene chiesta la conferma di conclusione e viene visualizzato un popup di notifica del salvataggio riuscito del file.

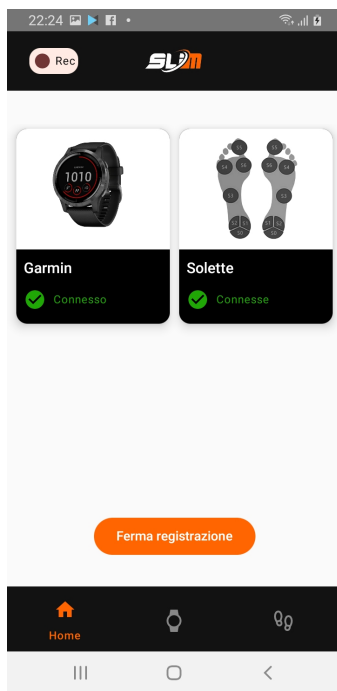


Figura 4.51: Pagina principale: registrazione in corso

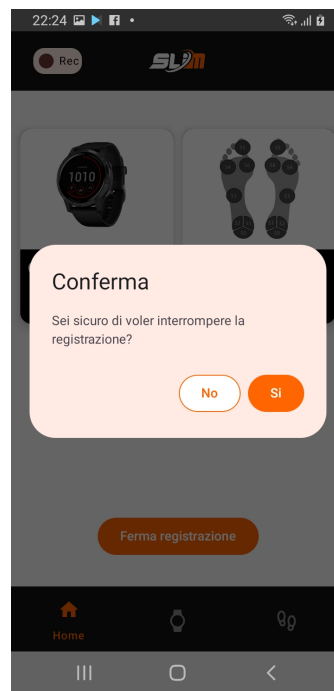


Figura 4.52: Pagina principale: popup di conferma di interruzione della registrazione

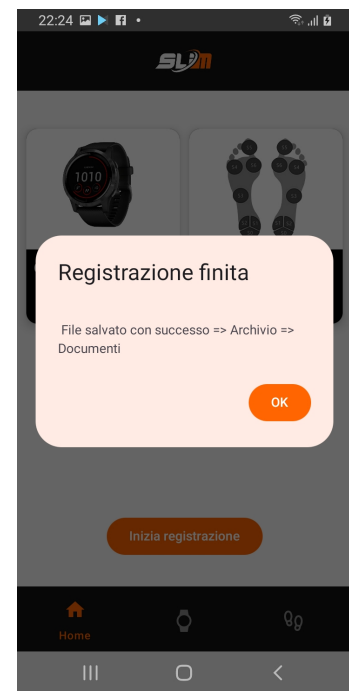


Figura 4.53: Pagina principale: popup di conferma di registrazione finita

Il file di dati salvato include informazioni dettagliate sui dati forniti dalle solette e sui dati forniti dai sensori del dispositivo Garmin. Le informazioni sono organizzate per le solette in sezioni con timestamp, valori dei sensori, lato della soletta (sinistra

o destra), e tipo di forza registrata (sensorForce o combinedForce). Per il battito cardiaco si trova il timestamp e poi il valore del battito cardiaco per minuto. Mentre invece per i valori dell'accelerometro viene sempre mostrato il timestamp e i valori di x, y e z. Da evidenziare che la possibilità di registrare i dati ed utilizzarli è prevista solamente con la versione di applicazione per i ricercatori; mentre nel caso dell'applicazione per gli operatori e per l'amministratore i dati non vengono salvati.

SOLETTE

```
timestamp, S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, side, type
1719843661014, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, Left, sensorForce
1719843661016, 2, 0, 2, 0, 0, 0, 0, Left, combinedForce
1719843661182, 0, 0, 0, 0, 0, 2, 0, Left, sensorForce
1719843661184, 5, 0, 5, 0, 0, 0, 0, Left, combinedForce
1719843661194, 0, 0, 0, 0, 0, 4, 0, Left, sensorForce
1719843661196, 8, 0, 8, 0, 0, 0, 0, Left, combinedForce
1719843661205, 0, 0, 0, 0, 0, 6, 0, Left, sensorForce
1719843661207, 12, 0, 12, 0, 0, 0, 0, Left, combinedForce
1719843661894, 0, 0, 0, 0, 0, 71, 0, Left, sensorForce
1719843661898, 136, 0, 136, 0, 0, 0, 0, Left, combinedForce
1719843661903, 0, 0, 0, 0, 0, 66, 0, Left, sensorForce
1719843661907, 126, 0, 126, 0, 0, 0, 0, Left, combinedForce
1719843661913, 0, 0, 0, 0, 0, 60, 0, Left, sensorForce
1719843661917, 114, 0, 114, 0, 0, 0, 0, Left, combinedForce
1719843661925, 0, 0, 0, 0, 0, 52, 0, Left, sensorForce
1719843662989, 19, 19, 0, 0, 0, 0, 0, Right, combinedForce
1719843662998, 0, 13, 0, 0, 0, 0, 0, Right, sensorForce
1719843663002, 21, 21, 0, 0, 0, 0, 0, Right, combinedForce
1719843663007, 0, 15, 0, 0, 0, 0, 0, Right, sensorForce
1719843663259, 12, 17, 0, 0, 0, 0, 0, Right, sensorForce
1719843663263, 48, 48, 0, 0, 0, 0, 0, Right, combinedForce
1719843663618, 53, 17, 0, 0, 0, 0, 0, Right, sensorForce
1719843663621, 113, 113, 0, 0, 0, 0, 0, Right, combinedForce
1719843663626, 54, 17, 0, 0, 0, 0, 0, Right, sensorForce
1719843663629, 116, 116, 0, 0, 0, 0, 0, Right, combinedForce
1719843663637, 55, 17, 0, 0, 0, 0, 0, Right, sensorForce
1719843663641, 117, 117, 0, 0, 0, 0, 0, Right, combinedForce
1719843663819, 55, 17, 0, 0, 0, 0, 0, Right, sensorForce
1719843663827, 116, 116, 0, 0, 0, 0, 0, Right, combinedForce
1719843663837, 54, 17, 0, 0, 0, 0, 0, Right, sensorForce
1719843663848, 115, 115, 0, 0, 0, 0, 0, Right, combinedForce
1719843663853, 53, 17, 0, 0, 0, 0, 0, Right, sensorForce
```

1719843663860, 113, 113, 0, 0, 0, 0, 0, Right, combinedForce

GARMIN HEART RATE

timestamp, heartRate

1719843660609, 99

1719843661640, 100

1719843662632, 100

1719843663620, 101

GARMIN ACCELEROMETER

timestamp, x, y, z

1719843666026, 496, 848, -336

1719843666148, 480, 816, -336

1719843666271, 480, 800, -400

1719843666393, 480, 832, -368

1719843666516, 464, 816, -368

1719843666637, 528, 816, -416

1719843666760, 528, 992, -720

1719843666882, -32, 1104, -640

1719843667005, -464, 528, -384

1719843667126, -224, -48, -688

1719843667248, -352, -208, -992

1719843667371, -608, -112, -928

1719843667494, -576, -192, -816

1719843667615, -544, -288, -848

1719843667737, -464, -272, -816

1719843667860, -512, -304, -832

1719843667983, -528, -336, -912

1719843668104, -416, -208, -832

1719843668226, -336, -464, -1152

1719843668348, -400, -272, -1120

1719843668471, -640, 48, -720

1719843668594, -224, 160, -816

1719843668715, 304, 144, -832

1719843668837, 496, 0, -1024

Nel caso in cui uno o più dei dispositivi si scolleghino dall'applicazione durante la registrazione, quest'ultima viene bloccata in automatico e il file comunque salvato.

Se il Bluetooth è disattivato in entrambe le applicazioni, viene mostrato un popup che invita l'utente ad accendere il Bluetooth per utilizzare l'applicazione. Questo popup contiene un'icona di Bluetooth, un messaggio esplicativo e un pulsante

“Accendi”, che permette di attivare il Bluetooth direttamente dall’applicazione.

4.2.1 Comunicazione con le solette smart

Nell’applicazione sviluppata per gli operatori la procedura di associazione delle solette smart (Fig. 4.54) è stata progettata per essere semplice e guidata. Le solette iniziano a trasmettere un segnale di advertising non appena i sensori rilevano una variazione, il che implica che l’operatore deve fare alcuni passi per attivare le solette. Una volta che le solette iniziano a trasmettere, l’applicazione le rileva e le connette automaticamente (Fig. 4.55) utilizzando gli indirizzi MAC, che sono stati precedentemente inseriti dall’amministratore durante la fase di registrazione o modifica dell’operatore. Un aspetto importante per gli operatori è la capacità delle solette di riconnettersi automaticamente. Infatti, se durante il turno di lavoro le solette si scollegano, l’applicazione tenta di riconnettersi automaticamente. Inoltre, quando l’operatore chiude l’applicazione o effettua il logout, le solette vengono scollegate automaticamente per garantire che non ci siano connessioni inutili che possano consumare batteria.



Figura 4.54: Procedura di associazione: ricerca solette in corso



Figura 4.55: Procedura di associazione: associazione solette avvenuta con successo

L'applicazione per ricercatori, invece, offre un maggiore controllo manuale sulle connessioni. Quando il ricercatore accede alla sezione dedicata alle solette, viene avviata una scansione dei dispositivi BLE nelle vicinanze. Una volta trovate le solette, il ricercatore può connettersi manualmente a ciascuna soletta tramite un apposito pulsante e, allo stesso modo, può disconnettersi quando lo desidera. Questo approccio offre maggiore flessibilità e controllo, permettendo ai ricercatori di gestire le connessioni in base alle loro specifiche esigenze di studio e sperimentazione. Le solette smart trasmettono dati relativi alle forze rilevate dai sensori individuali e dalle forze combinate. Questi dati sono fondamentali per i ricercatori, che necessitano di informazioni dettagliate e precise per le loro analisi. L'applicazione utilizza caratteristiche BLE specifiche per ricevere notifiche ogni volta che i valori dei sensori cambiano. In dettaglio si utilizzano due caratteristiche BLE per la trasmissione dei dati: una per le forze dei sensori e una per le forze combinate. I dati vengono notificati in tempo reale e decodificati per fornire un array di 7 valori per le forze dei sensori e un array di 3 valori per le forze combinate.

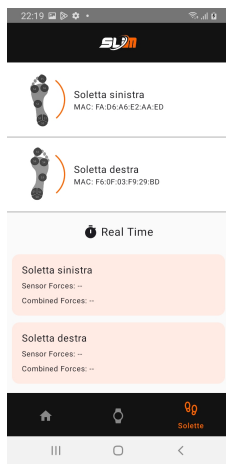


Figura 4.56: Ricerca solette in corso

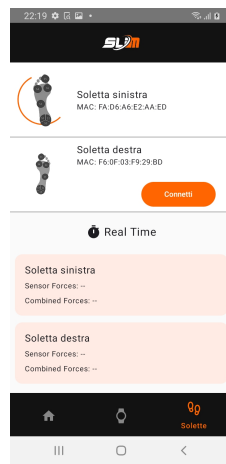


Figura 4.57: Soletta destra trovata

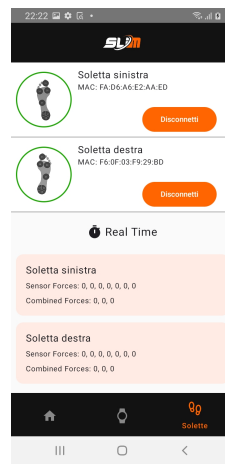


Figura 4.58: Solette connesse

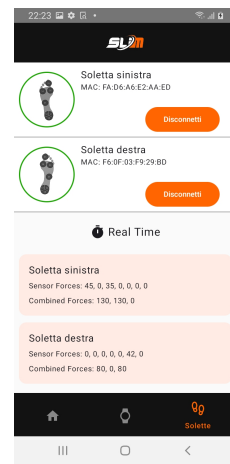


Figura 4.59: Solette connesse, con indicazioni dei relativi valori esercitati sui sensori

La classe BLE Scanner è un componente essenziale per entrambe le applicazioni, responsabile della scansione, rilevamento e gestione delle connessioni con le solette smart. Il BLE Scanner utilizza il BluetoothLeScanner per ascoltare i messaggi di advertising inviati dai dispositivi BLE nelle vicinanze, configurato con impostazioni di scansione specifiche per ottimizzare il rilevamento dei dispositivi. Il BLE Scanner ascolta i messaggi di advertising inviati dalle solette smart, rilevando la loro

presenza nelle vicinanze. Attraverso l'uso di filtri di scansione, il BLE Scanner può limitare la ricerca a dispositivi con indirizzi MAC specifici, garantendo che vengano rilevate solo le solette registrate. Un ScanCallback gestisce i risultati della scansione, aggiornando la lista dei dispositivi trovati e gestendo le connessioni in modo appropriato. Il BLE Scanner mantiene e aggiorna lo stato della scansione, indicando se è in corso o meno, e permette di avviare o fermare la scansione secondo necessità. Per garantire che la lista dei dispositivi trovati sia sempre aggiornata, il BLE Scanner esegue un controllo periodico per rimuovere i dispositivi che non inviano più annunci, mantenendo solo quelli attivi.

Il BLEClientViewModel è la classe che gestisce la logica di connessione e comunicazione tra l'applicazione e le solette smart. Questa classe utilizza il BLE Scanner per trovare i dispositivi e gestisce lo stato delle connessioni, i dati dei sensori e le notifiche delle caratteristiche. Mantiene lo stato delle connessioni con le solette, utilizzando gli StateFlow per monitorare se le solette sinistra e destra sono connesse. Una volta trovate le solette, il BLEClientViewModel può connettersi a questi dispositivi e gestire le disconnessioni in modo appropriato. Il BLEClientViewModel gestisce la lettura dei dati dalle caratteristiche BLE delle solette e abilita le notifiche per ricevere aggiornamenti in tempo reale sui dati dei sensori.

Il BLEDeviceConnection è la classe responsabile della gestione delle connessioni individuali con le solette smart. Questa classe si occupa di stabilire, mantenere e terminare le connessioni BLE, oltre che di gestire la lettura e la scrittura delle caratteristiche. Quando viene trovata una soletta, il BLEDeviceConnection stabilisce una connessione con il dispositivo utilizzando il metodo connectGatt. Il BLEDeviceConnection monitora lo stato della connessione, aggiornando il BLEClientViewModel su eventuali cambiamenti, come connessioni stabilite, disconnessioni o errori. Una volta connesso, il BLEDeviceConnection avvia la scoperta dei servizi del dispositivo, identificando le caratteristiche disponibili per la lettura e la scrittura. Il BLEDeviceConnection può leggere i valori delle caratteristiche BLE, decodificando i dati ricevuti dai sensori delle solette. La classe gestisce anche l'abilitazione delle notifiche per le caratteristiche, permettendo al dispositivo di inviare aggiornamenti in tempo reale all'applicazione. Il BLEDeviceConnection gestisce la disconnessione dal dispositivo, assicurandosi che tutte le risorse siano correttamente rilasciate e che la connessione sia terminata in modo pulito.

4.2.2 Comunicazione con il Garmin

La comunicazione con i dispositivi Garmin avviene tramite Bluetooth Low Energy (BLE), con l'ausilio del Garmin Health SDK. Questo SDK fornisce una serie di strumenti e API che facilitano la connessione, la gestione e la raccolta dati dai dispositivi Garmin. La procedura di associazione è stata progettata per essere il

più simile possibile a quella dell'app ufficiale Garmin Connect, al fine di garantire un'esperienza utente semplice e intuitiva. La procedura di associazione del Garmin inizia con una scansione dei dispositivi nelle vicinanze. Una volta trovato il dispositivo con l'indirizzo MAC corretto, registrato dall'amministratore, se la connessione ad internet è presente inizia la fase di associazione. Se il dispositivo non è stato ancora associato tramite l'app Garmin Connect, l'utente viene guidato attraverso le varie fasi necessarie per completare l'associazione. La prima volta che viene eseguita l'associazione tramite l'applicazione verrà richiesto un codice di pairing (Fig. 4.63). Successivamente, il dispositivo Garmin si collegherà automaticamente attivando il Bluetooth sull'orologio. Questa gestione offre due modalità operative: una che utilizza l'app Garmin Connect, per chi preferisce un'integrazione completa con l'ecosistema Garmin, e una che evita l'uso di app di terze parti, garantendo una maggiore privacy dei dati.

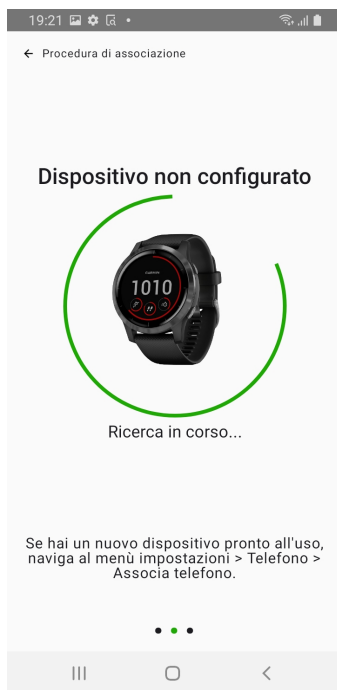


Figura 4.60: Ricerca garmin in corso



Figura 4.61: Popup: connessione ad internet non attiva

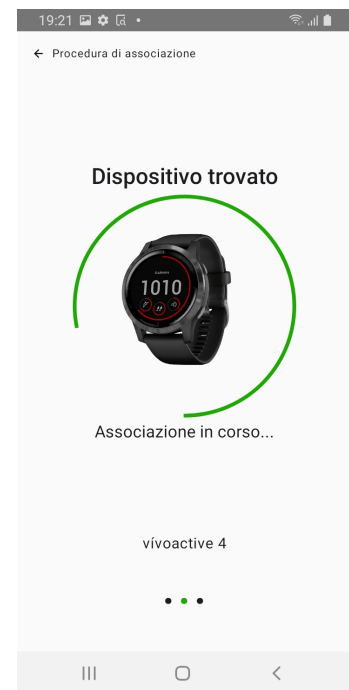


Figura 4.62: Garmin trovato, associazione in corso

Alla fine della procedura di associazione dei diversi dispositivi indossabili viene visualizzata una pagina di conferma di avvenuta connessione (Fig. 4.65), che rimanda poi in automatico alla pagina principale.

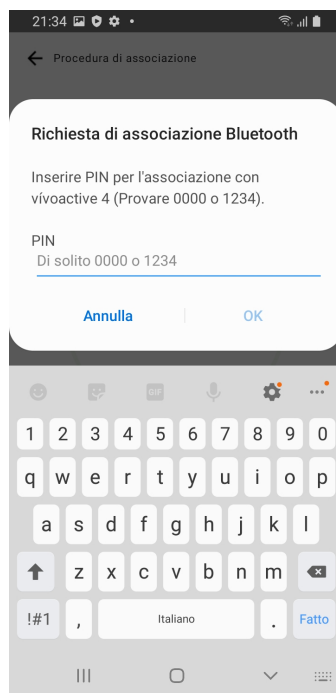


Figura 4.63: Codice di associazione Garmin

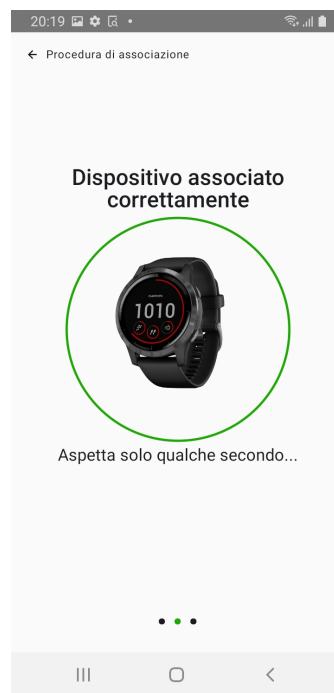


Figura 4.64: Garmin associato correttamente

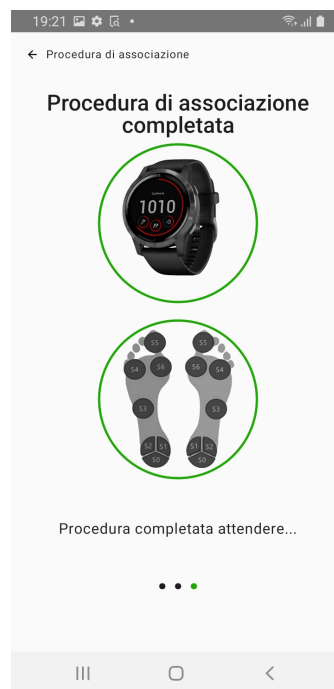


Figura 4.65: Pagina di informazione sull'avvenuta connessione dei dispositivi

Nell'applicazione per i ricercatori, viene offerta la possibilità di monitorare in tempo reale questi dati, visualizzandoli nell'interfaccia utente per un monitoraggio continuo. Un'ulteriore caratteristica dell'applicazione per i ricercatori è la possibilità di cambiare manualmente il dispositivo utilizzato: sia in fase di scan, permettendo di vedere tutti i dispositivi Garmin nelle vicinanze, che premendo sul pulsante "Cambia dispositivo" presente sulla pagina specifica del dispositivo nell'app. Questo permette ai ricercatori di connettersi a dispositivi specifici per diversi esperimenti, offrendo una maggiore flessibilità nella gestione dei dispositivi.

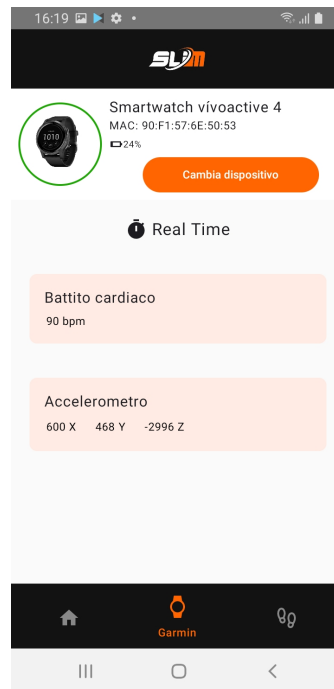


Figura 4.66: Pagina del dispositivo Garmin

4.3 Difficoltà riscontrate nel progetto

Inizialmente si è tentato di utilizzare il Garmin senza il suo SDK, provando una connessione solo tramite Bluetooth. Questo approccio richiedeva lo sviluppo di un'applicazione mobile capace di funzionare sia da server Bluetooth sia da client. Il Garmin, infatti, opera esclusivamente come server Bluetooth, il che implica che è il dispositivo stesso a dover stabilire la connessione. L'applicazione mobile doveva quindi fare advertisement per permettere al Garmin di connettersi. Questa soluzione però non permetteva al Garmin di connettersi correttamente al telefono, rendendo la comunicazione tra i due dispositivi inefficace.

Si è quindi sviluppata un'applicazione Garmin Connect IQ in Monkey C per il Garmin, permettendo la comunicazione tra l'applicazione mobile e lo smartwatch tramite tipi semplici (es. stringhe). Anche se questa soluzione funzionava, presentava problemi significativi nel sincronizzare i timestamp con i vari dati raccolti.

Si è quindi deciso di utilizzare l'SDK ufficiale di Garmin per superare le difficoltà incontrate con la soluzione precedente e garantire in tal modo una migliore gestione dei dati e delle connessioni.

Un problema significativo della soletta è la durata della sua batteria. Infatti, anche se la batteria dura un intero turno di lavoro di 8 ore, necessita comunque di essere cambiata frequentemente, non essendo ricaricabile, il che può risultare scomodo e costoso. I sensori all'interno della soletta sono di tipo piezoelettrico. Rilevando solo variazioni nelle forze applicate, però, questo tipo di sensori può limitare la precisione e l'affidabilità delle misurazioni, influenzando la qualità dei dati raccolti.

Un altro problema importante con cui ci si è più volte dovuti confrontare nel corso del progetto riguarda la tutela della privacy degli operatori. Infatti, il Garante per la protezione dei dati personali è particolarmente attento alla proporzionalità dei controlli sui lavoratori. È pertanto essenziale che i controlli siano limitati nel tempo e nello spazio e che siano giustificati da rischi specifici e chiaramente descritti. Ad esempio, l'uso di Smart DPI potrebbe essere giustificato solo in aree ad alto rischio o durante turni notturni e nel caso di lavori in isolamento.

Durante lo studio e lo sviluppo di questo sistema sono emersi, in tal senso vari problemi specifici, tra cui la necessità di anonimizzare i dati per proteggere la privacy dei lavoratori. Pertanto, al momento la soluzione adottata è stata quella di limitare la raccolta e il trattamento dei dati sensibili solo sullo smartphone dell'operatore, senza l'invio al cloud. Ad esempio, i dati relativi ai battiti cardiaci vengono elaborati solo localmente sul dispositivo, mentre soltanto gli indici di stress aggregati vengono inviati al cloud.

Un altro problema da affrontare riguarda la possibilità d'uso di dispositivi personali dei lavoratori, come smartphone e smartwatch, per il monitoraggio. La riservatezza dei dati raccolti dai dispositivi Smart DPI è infatti di primaria importanza ed è quindi fondamentale garantire una netta separazione tra il loro uso personale e quello aziendale, al fine di garantire la privacy prevenendo il controllo non autorizzato. È necessario quindi implementare misure di sicurezza end-to-end per proteggere i dati lungo tutta la pipeline di acquisizione, gestione e memorizzazione.

In conclusione, l'uso di dati personali, pur tesi a garantire la sicurezza sul lavoro, impone di trovare il corretto equilibrio tra quanto strettamente necessario a garantire l'efficacia e l'efficienza delle misure di sicurezza e la tutela del diritto alla privacy dei lavoratori. Le normative attuali, sia a livello europeo che nazionale,

forniscono un quadro di riferimento rigoroso, ed è necessario un impegno continuo da parte delle aziende per mantenere la conformità alle norme in un ambiente tecnologico in rapida evoluzione.

Capitolo 5

Valutazione del sistema

Per concludere questa tesi è stata condotta una valutazione del prototipo di sistema sviluppato tramite dei test di usabilità, fondamentali per poter migliorare in futuro l'esperienza utente (user experience) e l'interfaccia utente (user interface). Infatti, "I test di usabilità servono a capire come gli utenti interagiscono con il prodotto e come lo percepiscono" [28]. Sono quindi dei metodi di valutazione del prodotto che mirano a stabilire quanto sia facile e intuitivo per gli utenti utilizzare quel determinato prodotto. L'usabilità non è una caratteristica intrinseca del sistema, ma una qualità che emerge dall'interazione tra il sistema e l'utente. I risultati ottenuti da questi test sono stati utilizzati per identificare eventuali problematiche.

5.1 Pianificazione

È stato definito un protocollo per l'esecuzione dei test di usabilità così da poterla valutare in termini di efficienza, efficacia e soddisfazione da parte degli utenti.

I test sono incentrati sulle applicazioni mobile per gli operai e sull'applicazione web per gli amministratori; mentre l'applicazione sviluppata per i ricercatori non è stata oggetto di questa valutazione. Per fare una valutazione più mirata in questi test sono stati coinvolti operai e amministratori di aziende; cioè le due tipologie di utenti a cui si rivolge il sistema. I test di usabilità sono stati effettuati con cinque partecipanti per applicazione, poiché secondo le ricerche condotte da Tom Landauer e Jakob Nielsen, i migliori risultati si ottengono testando non più di cinque utenti [29]. Infatti, egli riporta che l'incremento della numerosità del campione oltre la quinta persona testata, comporta che le nuove informazioni raccolte diminuiscono, poiché le problematiche segnalate diventano ripetitive [29].

Per la valutazione delle applicazioni, si è scelto un ambiente di valutazione strutturato per l'applicazione mobile. Questo ambiente chiuso e controllato è stato fondamentale per tenere sotto controllo eventuali distrazioni provocate dall'ambiente

esterno, garantendo così la massima concentrazione e precisione durante i test. I partecipanti sono stati supportati da un moderatore, il cui ruolo era spiegare le attività da eseguire e osservare le azioni dei partecipanti durante lo svolgimento. Inoltre il ruolo del facilitatore è stato quello di indirizzare il partecipante in caso di problemi o incertezze nell'esecuzione dei task. Per l'applicazione mobile non è stata prevista la possibilità di effettuare test a distanza, poiché sarebbe stato necessario avere accesso a tutti gli strumenti, inclusi i dispositivi indossabili.

Per l'applicazione web, i test di usabilità sono stati condotti sia in presenza, che tramite video-chiamata Zoom. Questa flessibilità ha permesso di coinvolgere amministratori anche lontani. Anche in questo caso, i partecipanti sono stati assistiti da un facilitatore che descriveva le attività da svolgere, osservava i loro comportamenti e registrava i loro feedback. Nel caso in cui un partecipante avesse incontrato difficoltà, il facilitatore era pronto a intervenire per fornire assistenza e supporto.

Al termine di ogni valutazione, è stato somministrato a tutti i partecipanti un questionario SUS (System Usability Scale) [30] per raccogliere opinioni e impressioni in modo rapido ed efficace. Il questionario SUS è uno strumento ampiamente utilizzato per valutare la percezione degli utenti sulla usabilità di un sistema ed è composto da una serie di domande standardizzate che misurano vari aspetti dell'usabilità, come l'apprendimento dell'utente, l'efficienza nell'utilizzo del sistema, la facilità di memorizzazione delle funzioni e la soddisfazione generale dell'utente con l'esperienza d'uso. Le risposte degli utenti vengono successivamente esaminate per determinare un punteggio totale, il quale riflette il livello di usabilità del sistema o del prodotto. Considerando i dati raccolti durante le valutazioni e dai questionari compilati, sono stati individuati problemi e criticità del sistema.

Nelle prossime sezioni, verranno descritte distintamente le valutazioni per l'applicazione mobile dell'operatore e per l'applicazione web dell'amministratore.

5.2 Valutazione dashboard

Gli strumenti utilizzati per la valutazione dell'usabilità del prototipo sono stati:

- computer: applicativo attivo e funzionante;
- applicazione Zoom: per consentire il controllo remoto del computer e interagire con il partecipante;
- prototipo del sistema: che doveva essere sottoposto a test;
- carta e penna: per registrare osservazioni durante il processo di valutazione.

Il processo di valutazione per ciascun partecipante è durato circa 30 minuti e per ciascuno di essi erano note le loro conoscenze tecnologiche:

- partecipanti con discreta dimestichezza con le tecnologie web: P01, P03, P04;
- partecipanti con bassa conoscenza delle tecnologie: P02, P05.

| TITOLO | DESCRIZIONE | CRITERI DI SUCCESSO | METRICA |
|---|--|--|--|
| Attività 1: Comprensione della pagina principale. | Al partecipante viene chiesto di individuare tutte le funzionalità e gli elementi della pagina principale. | Il partecipante riesce a individuare e capire la maggior parte degli elementi. | Rapporto tra le ipotesi corrette e i vari elementi della pagina principale totali (6). |
| Attività 2: Navigazione e interazione con la pagina dell'operatore. | Il partecipante sceglie uno degli operatori nella tabella e naviga alla pagina che riporta tutte le informazioni relative ad esso. | Il partecipante riesce correttamente ad accedere alla pagina e a comprendere le informazioni riportate. | Successo (1) o fallimento (0). |
| Attività 3: Interazione con il popup di allarme. | Al partecipante viene chiesto di interagire con un popup di allarme che è stato generato. | Il partecipante riesce a capire le funzionalità dei bottoni presenti e ritiene le informazioni fornite adeguate. | Successo (1) o fallimento (0). |
| Attività 4: Navigazione e comprensione della pagina dei grafici. | Al partecipante viene richiesto di navigare alla sezione "Grafici" e di gestire la visualizzazione. | Il partecipante riesce a navigare alla pagina richiesta e modificare il tipo di visualizzazione dei grafici e comprendere le informazioni fornite. | Successo (1) o fallimento (0). |

| | | | |
|--|--|---|--|
| Attività 5: Visualizzazione e aggiunta delle sedi | Al partecipante viene chiesto di navigare alla sezione delle sedi e caricare delle nuove sedi con le due modalità possibili. | Il partecipante riesce a navigare alla pagina, comprendere la maggior parte delle informazioni presenti e aggiungere nuove sedi con le due modalità. | Rapporto tra le azioni compiute correttamente e le varie azioni richieste (4). |
| Attività 6: Visualizzazione e aggiunta dei dispositivi | Al partecipante viene chiesto di navigare alla sezione dei dispositivi e caricare dei nuovi dispositivi con le due modalità possibili. | Il partecipante riesce a navigare alla pagina, comprendere la maggior parte delle informazioni presenti e aggiungere nuovi dispositivi con le due modalità. | Rapporto tra le azioni compiute correttamente e le varie azioni richieste (4). |
| Attività 7: Aggiunta e modifica di un operatore | Al partecipante viene richiesto di registrare un nuovo operatore e successivamente modificarne le informazioni inserite. | Il partecipante riesce a navigare alle due pagine richieste, ad aggiungere un nuovo operatore e a modificare le informazioni. | Rapporto tra le azioni compiute correttamente e le varie azioni richieste (4). |

Tabella 5.1: Attività per la valutazione dell'applicazione web

Per valutare il sistema nella sua interezza sono state pianificate le sette attività riportate in Tabella 5.1. Le attività descritte hanno l'obiettivo di valutare l'usabilità dell'applicazione, la chiarezza delle informazioni, la facilità di navigazione tra le varie sezioni e l'efficacia nell'utilizzo delle funzionalità disponibili.

La valutazione è stata eseguita seguendo una procedura standardizzata per tutti i partecipanti, come descritto nello script presente nell'Appendice A. Ogni partecipante ha ricevuto una breve introduzione sullo scopo dell'applicazione e sugli obiettivi del test.

La Tabella 5.2 presenta i risultati del processo di valutazione. I tassi di successo indicati sono stati calcolati in base alle metriche di valutazione specificate nella 5.1.

Come si può osservare dalla tabella 5.2, alcuni dei partecipanti non sono riusciti a completare i task forniti. Alcuni hanno avuto bisogno di aiuto da parte del facilitatore per comprendere parte degli elementi presenti.

| Partecipante | Attività 1 | Attività 2 | Attività 3 | Attività 4 | Attività 5 | Attività 6 | Attività 7 | Tasso di successo medio per partecipante |
|----------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--|
| P01 | 6/6 | 1 | 1 | 1 | 4/4 | 4/4 | 4/4 | 100% |
| P02 | 4/6 | 0 | 1 | 0 | 4/4 | 4/4 | 4/4 | ≈55% |
| P03 | 5/6 | 1 | 1 | 1 | 4/4 | 4/4 | 4/4 | ≈85% |
| P04 | 5/6 | 1 | 1 | 1 | 4/4 | 4/4 | 4/4 | ≈85% |
| P05 | 4/6 | 0 | 1 | 0 | 4/4 | 4/4 | 4/4 | ≈55% |
| Tasso di successo medio per task | 20% | 60% | 100% | 60% | 100% | 100% | 100% | |

Tabella 5.2: Tabella dei risultati: esiti delle attività dei partecipanti al test di usabilità

- partecipanti P01, P03 e P04: si sono mostrati sicuri di sé nell'utilizzo dell'applicazione, familiarizzando rapidamente con i colori e le convenzioni scelte per gli stati degli elementi;
- partecipante P02 e P05: hanno avuto necessità dell'aiuto del facilitatore durante l'attività 2 e l'attività 4. I principali dubbi sono nati dalla comprensione del componente che indicava se il dispositivo fosse al momento indossato o meno dall'operatore. Non era chiara la differenziazione tra lo stato di "dispositivo non indossato" per problemi tecnici e lo stato di "dispositivo non indossato" per dimenticanza dell'operatore. Per quanto riguarda invece l'attività 4, le informazioni fornite dai grafici non sono risultate sufficienti per una completa comprensione.

L'esperienza generale dei partecipanti è stata tendenzialmente positiva, come indicato dalle risposte ai questionari SUS compilati al termine di ogni valutazione. Nell'appendice B sono elencati, per ciascun partecipante, i punteggi assegnati ad ogni domanda del questionario e il relativo punteggio complessivo.

L'esperienza è stata complessivamente positiva; infatti il risultato medio totale di 76 è ritenuto buono nella scala dell'usabilità del sistema. Si valuta che siano comunque necessarie delle migliorie rispetto alla user experience.

Per poter individuare problemi e criticità dell'applicazione bisogna porre l'attenzione soprattutto sull'attività 1 : "Comprensione della pagina principale". La presenza di colori diversi per le chip ha creato qualche problema. La chip "presente" di colore arancione non è stata percepita immediatamente ed è risultata chiara solo una volta entrati nella pagina specifica degli operatori. Facendo riferimento alle 10 euristiche di Nielsen [31] i principi euristici violati sono il numero 2: "Corrispondenza tra sistema e mondo reale", e 4: "Coerenza e standard". La gravità associata a questa criticità è valutata "alta".

L'altra attività su cui bisogna porre l'attenzione è riferita a "Navigazione e interazione con pagina dell'operatore"; infatti in questa schermata ha creato confusione la presenza di due possibilità legate alla chip "non indossato". Non risultava chiaro, infatti, se l'informazione derivasse dalla segnalazione di un errore da parte dell'operatore o dalla situazione di dispositivo non indossato, permettendo di inviare un reminder di "Indossa dispositivo", da parte dell'amministratore all'operatore. I principi euristici violati sono stati gli stessi della precedente attività discussa, cioè il numero 2 e il numero 4. La gravità associata a questa criticità è anch'essa valutata "alta".

È importante anche soffermarsi sull'attività 4: "Navigazione e comprensione della pagina dei grafici". Infatti, le informazioni fornite dai grafici non sono risultate sufficienti ed è quindi stata violata l'euristica numero 10: "Supporto e documentazione". La difficoltà nel percepire con l'atteso tempismo le informazioni fornite dai grafici può indicare una carenza di supporto adeguato, o di documentazione che aiuti gli utenti a interpretare correttamente i dati presentati.

5.3 Valutazione applicazione mobile

Gli strumenti utilizzati per la valutazione dell'usabilità del prototipo dell'applicazione mobile sono stati:

- telefono: applicazione attiva e funzionante;
- prototipo del sistema: da testare;
- solette smart;
- smartwatch Garmin;
- carta e penna: per prendere appunti durante il processo di valutazione.

Il processo di valutazione per ciascun partecipante è durato circa 20 minuti. Per i lavoratori, così come per gli amministratori precedentemente si è informati opportunamente sulle conoscenze tecnologiche dei partecipanti:

- partecipante L01: discreta dimestichezza con le tecnologie web;
- partecipante L03: buona capacità di interazione con le tecnologie;
- partecipanti L02, L04 e L05: bassa conoscenza tecnologica.

La valutazione di questa applicazione è stata fatta affiancando direttamente i lavoratori.

Le attività scelte per verificare l'usabilità di questa sezione sono state concepite per valutare le funzionalità presenti e la "velocità" con cui le operazioni possono essere eseguite. Tutti i dettagli delle attività sono riportate nella tabella 5.3.

L'esecuzione della valutazione ha seguito dei passi uguali per tutti i partecipanti. Questi passi vengono descritti nello script all'appendice B. A tutti i partecipanti è stato presentato brevemente lo scopo dell'applicazione da testare.

I risultati del processo seguito vengono riportati nella tabella 5.4. Il tasso di successo medio per task e il tasso di successo medio per partecipante presenti nella tabella tengono conto delle metriche di valutazione specificate nella tabella 5.3. Da quanto si evince anche dalla tabella 5.4, le attività sono state portate quasi tutte a termine con successo. La maggior parte dei partecipanti è riuscita a completare le attività richieste senza incertezze; infatti, i partecipanti hanno immediatamente capito le funzionalità e trovato i passaggi semplici e veloci.

Come si evince dai questionari SUS, l'esperienza è stata complessivamente positiva, con un risultato medio totale di 88,5, ritenuto "eccellente" nella scala dell'usabilità del sistema. Sono comunque necessarie delle migliorie rispetto alla user experience.

Infatti durante la valutazione dell'applicazione mobile l'attività 1 (login e connessione dispositivi) ha presentato alcuni problemi significativi, a differenza delle altre attività che sono state completate con successo da tutti i partecipanti.

Il problema principale rilevato nell'attività 1 riguardava l'associazione del Garmin, che ha causato difficoltà a tre dei partecipanti (L02, L03 e L04), che non hanno saputo individuare agevolmente la modalità di associazione con il Bluetooth. L'helper text fornito per aiutare i partecipanti a trovare questa funzione nel dispositivo era: "Se hai un nuovo dispositivo pronto all'uso, naviga al menù impostazioni > Telefono > Associa telefono". Tuttavia, tre dei partecipanti non sono riusciti a trovare il menù impostazioni, poiché non era stato descritto chiaramente come arrivarci.

I principi euristici [31], violati sono quindi:

| TITOLO | DESCRIZIONE | CRITERI DI SUCCESSO | METRICA |
|--|--|---|--------------------------------|
| Attività 1: login e connessione dispositivi | Al partecipante viene chiesto di effettuare l'accesso all'applicazione con le credenziali fornite e seguire la procedura di connessione dei dispositivi. | Il partecipante riesce ad effettuare l'accesso senza problemi e a connettere tutti e tre i dispositivi senza bisogno di aiuto. | Successo(1) o fallimento (0). |
| Attività 2: Modifica informazioni | Al partecipante viene chiesto di seguire il prompt del popup iniziale che richiede di completare le informazioni del profilo. | Il partecipante riesce a modificare le informazioni personali. | Successo (1) o fallimento(0). |
| Attività 3: pagina dispositivi e segnalazione errore | Al partecipante viene richiesto di navigare alla pagina dispositivi e di segnalare un problema relativamente ad un dispositivo. | Il partecipante riesce a navigare alla pagina correttamente e segnalare il problema. | Successo (1) o fallimento (0). |
| Attività 4: segnalazione allarme | Al partecipante viene richiesto di inviare una segnalazione di allarme. | Il partecipante riesce ad inviare l'allarme e ad interagire con la pagina di allarme, riuscendo a capire le informazioni presentate e annullare l'allarme | Successo(1) o fallimento (0). |

Tabella 5.3: Attività per la valutazione dell'applicazione mobile per gli operatori

| Partecipante | Attività 1 | Attività 2. | Attività 3 | Attività 4 | Tasso di successo medio per partecipante |
|----------------------------------|------------|-------------|------------|------------|--|
| L01 | 1 | 1 | 1 | 1 | 100% |
| L02 | 0 | 1 | 1 | 1 | 75% |
| L03 | 0 | 1 | 1 | 1 | 75% |
| L04 | 0 | 1 | 1 | 1 | 75% |
| L05 | 1 | 1 | 1 | 1 | 100% |
| Tasso di successo medio per task | 40% | 100% | 100% | 100% | |

Tabella 5.4: Tabella dei risultati: esiti delle attività dei partecipanti al test di usabilità

- numero 2 “corrispondenza tra il sistema ed il mondo reale”: infatti il linguaggio utilizzato nell’helper text non era sufficientemente chiaro e familiare per tutti gli utenti. Non ha tenuto conto del fatto che la maggior parte degli utenti avrebbero potuto non avere la necessaria familiarità con il percorso specifico del menù nelle impostazioni del Garmin.
- numero 10 “supporto e documentazione”: la mancanza di istruzioni dettagliate e di un supporto adeguato per trovare e utilizzare la modalità di associazione sul Garmin ha impedito a diversi partecipanti di completare con successo l’attività. L’helper text non era sufficientemente completo o chiaro, e non c’era documentazione di supporto disponibile per aiutare gli utenti a superare il problema.

Le altre attività (modifica informazioni, pagina dispositivi e segnalazione errore, segnalazione allarme) sono state generalmente ben comprese e completate con successo dai partecipanti.

5.4 Possibili modifiche all’interfaccia

I risultati ottenuti dai test di usabilità hanno permesso di evidenziare una serie di possibili cambiamenti da adottare per migliorare l’usabilità dell’interfaccia, come di seguito indicati:

1. aggiungere descrizioni o tooltip che spieghino chiaramente il significato dei colori e degli stati delle chip;
2. raggruppare le sedi per città, via, numero per individuare più rapidamente la sede;
3. aumentare la visibilità dello stato di salute all'interno della pagina dell'operatore in stato di allarme, magari integrando qualche effetto visivo più rapidamente percepibile.

Per migliorare l'usabilità dell'applicazione mobile, si potrebbe fornire istruzioni più dettagliate: includere una guida passo-passo con immagini o video che mostrino esattamente come accedere al menù impostazioni e attivare la modalità associazione del Bluetooth sul Garmin.

Capitolo 6

Conclusioni

In conclusione, con il lavoro della tesi è stato progettato e sviluppato un prototipo di sistema di sicurezza per i lavoratori basato su una rete di sensori e uno smartphone. Attraverso tale ecosistema tecnologico, infatti, sarà possibile al termine del progetto monitorare in tempo reale le condizioni operative, identificando tempestivamente i potenziali rischi e situazioni di emergenza, con relativi allarmi per l'immediato avvio delle procedure di messa in sicurezza.

Il lavoro si inserisce organicamente ed integra il progetto SLIM, che si pone l'obiettivo generale di migliorare la sicurezza sui luoghi di lavoro, attraverso l'utilizzo di tecnologie innovative.

Il lavoro è iniziato con un'analisi approfondita delle criticità nei sistemi di sicurezza negli ambienti lavorativi, soprattutto di tipo industriale, che ha permesso di identificare le principali necessità, fornendo una solida base per la definizione dei requisiti del sistema. I requisiti sono stati successivamente formalizzati per garantire che il sistema coprisse tutte le necessità identificate, previa approfondita analisi delle soluzioni già esistenti.

È stato quindi progettato un prototipo del sistema che integra dispositivi indossabili, come smartwatches e solette smart, con un comune smartphone, che funge da gateway principale. La parte implementativa ha incluso lo sviluppo di un'applicazione mobile per i lavoratori e una piattaforma web per gli amministratori aziendali.

Il sistema centrale, allo stato attuale, che riceve i dati ottenuti dai vari sensori, mira ad offrire una risposta rapida e mirata, inviando avvisi immediati sia ai lavoratori che ai responsabili della sicurezza. Questo approccio, mira non solo alla prevenzione degli incidenti, ma anche a rendere più efficiente ed efficace la gestione delle emergenze, per contribuire sostanzialmente ai necessari miglioramenti dei sistemi di sicurezza aziendali.

6.1 Sviluppi futuri

Per il futuro, il progetto prevede diverse direzioni di sviluppo, tra cui il miglioramento dell'usabilità affinando ulteriormente le interfacce utente e le istruzioni di configurazione per i dispositivi, in modo da ridurre le difficoltà riscontrate durante i test.

È stata strutturata una futura espansione del sistema con ulteriori sensori e dispositivi per monitorare un più ampio spettro di parametri ambientali e di salute. Il punto focale del progetto sarà l'implementazione degli algoritmi di AI per l'analisi dei dati forniti dai sensori, con l'obiettivo di rilevare i rischi per gli operai. Gli algoritmi da sviluppare riguarderanno lo stress cardiaco, il rilevamento dell'uomo a terra, lo stress degli arti inferiori e la rilevazione dello stress degli arti superiori. Per lo stress cardiaco verranno utilizzati i valori di battito forniti dal Garmin, mentre per gli altri indici si utilizzeranno sia i dati di forza esercitata sulle solette sia i dati dell'accelerometro forniti dal Garmin.

In prospettiva futura, quindi, l'integrazione di ulteriori innovazioni tecnologiche, come l'intelligenza artificiale ed ulteriori dispositivi tecnologici, unitamente alle potenzialità e alla facilità d'uso degli smartphone, potrebbe ampliare ulteriormente le potenzialità di un tale sistema, a vantaggio di luoghi di lavoro ancora più sicuri e protetti.

Tramite questi sviluppi si vuole che il sistema SLIM possa evolversi in un tool sempre più robusto e affidabile per migliorare la sicurezza dei lavoratori, rispondendo in modo dinamico alle esigenze emergenti e contribuendo alla creazione di ambienti di lavoro più sicuri e controllati.

Appendice A

Script per la valutazione del prototipo (Applicazione web)

A.1 Presentazione

Ciao! Grazie per avere deciso di prendere parte a questo studio. Il progetto che sto cercando di realizzare riguarda un sistema per la sicurezza dei lavoratori. Andremo a testare insieme un'applicazione web che serve per rilevare e gestire in tempo reale alcune informazioni degli operatori utili a migliorare la sicurezza degli stessi nel luogo di lavoro. Vorrei testare il sistema per identificare i difetti di questo applicativo e conoscere la tua opinione. Comportati come faresti se ti trovassi davanti ad una nuova applicazione che non consoci, e sii consapevole che le tue abilità non sono oggetto di questo test: se incontri qualche difficoltà, o c'è qualcosa che ti confonde il problema è del prototipo e non potrà essere in alcun modo attribuito alla tua competenza.

A.2 Istruzioni

Con Zoom: per procedere alla valutazione dell'usabilità dell'applicazione, userai le funzioni di controllo remoto offerto da Zoom per interagire con il mio computer.

In presenza: per procedere alla valutazione dell'usabilità dell'applicazione, userai il mio computer su cui è presente l'applicazione. Il sistema che utilizzerai oggi è solo un prototipo. Questo significa che pur avendo le sembianze del prodotto finale, non ha ancora tutte le funzionalità implementate. Questo tuttavia non ti intralcerà nell'utilizzo dell'applicazione.

Ti fornirò 7 compiti da completare e ti osserverò mentre li porti a termine. Tutte le funzionalità che servono per completarli correttamente sono presenti. Ti guiderò nel corso del test fornendoti le informazioni necessarie per ciascuna delle attività.

Al termine del test ti chiederò di rispondere ad un breve questionario di dieci domande. Questo mi aiuterà ad analizzare a fondo l'usabilità del sistema.

In caso di partecipazione al test da remoto: Condividere la pagina in cui è in esecuzione l'applicazione, concedere il controllo remoto al partecipante, assicurarsi che tutto funzioni.

In presenza: Consegnare il computer al partecipante.

A.3 Attività

A.3.1 Attività 1: Comprensione della pagina principale

Per questa prima attività, vorrei che interagissi con la pagina principale. Dovrai individuare i vari elementi presenti nella schermata e commentare a voce alta cosa pensi che gli elementi significhino e le varie funzionalità presenti. Non hai limiti di tempo per completare l'attività.

Alla fine passa alla prossima attività

A.3.2 Attività 2: Navigazione e interazione con pagina dell'operatore

Per la seconda attività devi accedere alla pagina di un operatore a tua scelta. Una volta che raggiunta la pagina, vorrei che leggessi tutte le informazioni che trovi. Commenta a voce alta cosa pensi dei vari elementi e cosa pensi che stiano ad indicare quest'ultimi.

Alla fine passa alla prossima attività.

A.3.3 Attività 3: Interazione con il popup di allarme

Per questa attività vorrei che interagissi con un popup di allarme che ti genererò io al momento per uno degli operatori. Interagisci con esso come meglio credi. Non hai limiti di tempo per l'esecuzione di questo task.

Alla fine passa alla prossima attività.

A.3.4 Attività 4: navigazione e comprensione della pagina dei grafici

Adesso in questa nuova attività vorrei che navigassi alla pagina dei grafici e che parlassi ad alta voce per spiegare cosa pensi che mostrino questi grafici e a cosa servano. Come prima, non hai limiti di tempo per concludere questa attività.

Terminata l'attività, passa alla prossima.

A.3.5 Attività 5: visualizzazione e aggiunta delle sedi

Per questa attività ti chiedo di navigare alla sezione delle sedi e fare l'aggiunta delle sedi nelle due modalità che ti verranno proposte. Commenta a voce alta la pagina, i vari elementi e quelli che potrebbero essere secondo te i vari significati. Non hai limiti di tempo.

Nel caso in cui l'inserimento richieda più di 2 minuti dare qualche indizio. Al termine passa alla prossima attività.

A.3.6 Attività 6: visualizzazione e aggiunta dei dispositivi

Per questa attività ti chiedo di navigare alla sezione dei dispositivi e fare l'aggiunta dei dispositivi nelle due modalità che ti verranno proposte. Commenta a voce alta la pagina, i vari elementi e quelli che potrebbero essere secondo te i vari significati. Non hai limiti di tempo.

Nel caso in cui l'inserimento richieda più di 2 minuti dare qualche indizio. Al termine passa alla prossima attività.

A.3.7 Attività 7: aggiunta e modifica di un operatore

In questa attività ti chiedo di aggiungere un nuovo operatore e una volta terminata questa azione di aprire il form di modifica e cambiare alcuni dati. Non hai limiti di tempo.

Nel caso in cui l'inserimento richieda più di 2 minuti dare qualche indizio.

A.4 Debriefing

Hai finito le attività da eseguire. Prima di lasciarci, vorrei avere la tua opinione su questo esperimento.

Ti vorrei chiedere di compilare questo questionario SUS.

Passa il questionario al partecipante.

Vorresti rispondere a qualche domanda?

In caso di risposta affermativa.

1. Ti sei sentito a tuo agio durante questo esperimento?
2. Se no, cosa ti ha influenzato negativamente?
3. Avresti qualche domanda o commento sul test?
4. Hai qualche consiglio o osservazione sul sistema che hai appena testato?
5. Vorresti aggiungere qualcosa?

Grazie per la partecipazione, sei stato di aiuto per questo studio!

Appendice B

Script per la valutazione del prototipo (Applicazione mobile per operatori)

B.1 Presentazione

Ciao! Grazie per avere deciso di prendere parte a questo studio. Il progetto che sto cercando di realizzare riguarda un sistema per la sicurezza dei lavoratori. Il sistema che andremo a testare insieme è un'applicazione mobile che serve per potersi connettere nel sistema e collegare i vari dispositivi indossabili, che un operatore dovrebbe tenere per tutto il turno e che serve per monitorare il suo stato di salute. Vorrei testare il sistema per identificare i difetti di questo applicativo e conoscere la tua opinione. Comportati come faresti se ti trovassi davanti ad una nuova applicazione che non consoci, e sii consapevole che le tue abilità non sono oggetto di questo test: se incontri qualche difficoltà, o c'è qualcosa che ti confonde il problema è del prototipo e non potrà essere in alcun modo attribuito alla tua competenza.

B.2 Istruzioni

Per procedere alla valutazione dell'usabilità dell'applicazione, userai il mio smartphone su cui è installata l'applicazione e ti fornirò i dispositivi che dovrai utilizzare.

Il sistema che utilizzerai oggi è solo un prototipo. Questo significa che pur avendo le sembianze del prodotto finale, non ha ancora tutte le funzionalità implementate. Questo tuttavia non ti intralcerà nell'utilizzo dell'applicazione.

Ti fornirò 4 compiti da svolgere e ti osserverò mentre li porti a termine. Tutte le funzionalità che servono per completarli correttamente sono presenti. Ti guiderò nel corso del test fornendoti le informazioni necessarie per ciascuna delle attività.

Al termine del test ti chiederò di rispondere ad un breve questionario di dieci domande. Questo mi aiuterà a valutare a fondo l'usabilità del sistema.

Consegnare lo smartphone, le solette e lo smartwatch Garmin al partecipante.

B.3 Attività

B.3.1 Attività 1: login e connessione dispositivi

Per questa prima attività, vorrei che esegui il login nell'applicazione con le credenziali che ti fornirò. Appena avrai effettuato l'accesso vorrei che seguissi la procedura di connessione dei dispositivi che appare. Durante questo task commenta a voce alta quello che pensi.

Fornire le credenziali di accesso. Alla fine passa alla prossima attività.

B.3.2 Attività 2: modifica informazioni

Per la seconda attività devi seguire il prompt che uscirà una volta entrati che ti chiede di inserire dei dati nel tuo profilo. Commenta a voce alta e compila il form per la modifica del profilo come meglio credi.

Alla fine passa alla prossima attività.

B.3.3 Attività 3: pagina dispositivi e segnalazione errore

Per questa attività vorrei che entrassi nella pagina dedicata ai dispositivi e che segnalassi un problema di connessione con uno dei dispositivi a tua scelta.

Alla fine passa alla prossima attività.

B.3.4 Attività 4: segnalazione allarme

Adesso in questa nuova attività vorrei segnalassi un allarme. E che commentassi ad alta voce quello che pensi.

B.4 Debriefing

Hai finito le attività da eseguire. Prima di lasciarci, vorrei avere la tua opinione su questo esperimento.

Ti vorrei chiedere di compilare questo questionario SUS.

Passa il questionario al partecipante.

Vorresti rispondere a qualche domanda?

In caso di risposta affermativa.

1. Ti sei sentito a tuo agio durante questo esperimento?
2. Se no, cosa ti ha influenzato negativamente?
3. Avresti qualche domanda o commento sul test?
4. Hai qualche consiglio o osservazione sul sistema che hai appena testato?
5. Vorresti aggiungere qualcosa?

Grazie per la partecipazione, sei stato di aiuto per questo studio!

Appendice C

Questionari SUS applicazione web

In questa appendice sono inclusi i questionari SUS compilati dai 5 partecipanti che hanno valutato l'applicazione web. Per ciascuno di essi è stato calcolato un punteggio finale, rappresentativo della valutazione complessiva dell'usabilità del prototipo.

| Domande | | Voto del partecipante | Punteggio risultante |
|---------------------------|--|-----------------------|----------------------|
| 1. | Penso che mi piacerebbe utilizzare questa applicazione frequentemente | 4 | 3 |
| 2. | Ho trovato l'applicazione complessa senza che ce ne fosse bisogno | 1 | 4 |
| 3. | Ho trovato l'applicazione molto semplice da usare | 5 | 4 |
| 4. | Penso che avrei bisogno del supporto di una persona già in grado di utilizzare l'applicazione | 1 | 4 |
| 5. | Ho trovato le varie funzionalità dell'applicazione bene integrate | 4 | 3 |
| 6. | Ho trovato incoerenze tra le varie funzionalità dell'applicazione | 2 | 3 |
| 7. | Penso che la maggior parte delle persone potrebbero imparare ad utilizzare l'applicazione facilmente | 4 | 3 |
| 8. | Ho trovato l'applicazione molto macchinosa da utilizzare | 2 | 3 |
| 9. | Ho avuto molta condifenza con l'applicazione durante l'uso | 5 | 4 |
| 10. | Ho avuto bisogno di imparare molti processi prima di riuscire ad utilizzare al meglio l'applicazione | 1 | 4 |
| Valutazione totale | | | 87.5 |

Tabella C.1: Valutazione SUS per partecipante P01

| Domande | | Voto del partecipante | Punteggio risultante |
|---------------------------|--|-----------------------|----------------------|
| 1. | Penso che mi piacerebbe utilizzare questa applicazione frequentemente | 4 | 3 |
| 2. | Ho trovato l'applicazione complessa senza che ce ne fosse bisogno | 2 | 3 |
| 3. | Ho trovato l'applicazione molto semplice da usare | 4 | 3 |
| 4. | Penso che avrei bisogno del supporto di una persona già in grado di utilizzare l'applicazione | 2 | 3 |
| 5. | Ho trovato le varie funzionalità dell'applicazione bene integrate | 4 | 3 |
| 6. | Ho trovato incoerenze tra le varie funzionalità dell'applicazione | 1 | 4 |
| 7. | Penso che la maggior parte delle persone potrebbero imparare ad utilizzare l'applicazione facilmente | 5 | 4 |
| 8. | Ho trovato l'applicazione molto macchinosa da utilizzare | 1 | 4 |
| 9. | Ho avuto molta condifenza con l'applicazione durante l'uso | 3 | 2 |
| 10. | Ho avuto bisogno di imparare molti processi prima di riuscire ad utilizzare al meglio l'applicazione | 3 | 2 |
| Valutazione totale | | | 77.5 |

Tabella C.2: Valutazione SUS per partecipante P02

| Domande | | Voto del partecipante | Punteggio risultante |
|---------------------------|--|-----------------------|----------------------|
| 1. | Penso che mi piacerebbe utilizzare questa applicazione frequentemente | 4 | 3 |
| 2. | Ho trovato l'applicazione complessa senza che ce ne fosse bisogno | 3 | 2 |
| 3. | Ho trovato l'applicazione molto semplice da usare | 4 | 3 |
| 4. | Penso che avrei bisogno del supporto di una persona già in grado di utilizzare l'applicazione | 2 | 3 |
| 5. | Ho trovato le varie funzionalità dell'applicazione bene integrate | 4 | 3 |
| 6. | Ho trovato incoerenze tra le varie funzionalità dell'applicazione | 1 | 4 |
| 7. | Penso che la maggior parte delle persone potrebbero imparare ad utilizzare l'applicazione facilmente | 4 | 3 |
| 8. | Ho trovato l'applicazione molto macchinosa da utilizzare | 2 | 3 |
| 9. | Ho avuto molta condifenza con l'applicazione durante l'uso | 4 | 3 |
| 10. | Ho avuto bisogno di imparare molti processi prima di riuscire ad utilizzare al meglio l'applicazione | 2 | 3 |
| Valutazione totale | | | 75 |

Tabella C.3: Valutazione SUS per partecipante P03

| Domande | | Voto del partecipante | Punteggio risultante |
|---------------------------|--|-----------------------|----------------------|
| 1. | Penso che mi piacerebbe utilizzare questa applicazione frequentemente | 4 | 3 |
| 2. | Ho trovato l'applicazione complessa senza che ce ne fosse bisogno | 2 | 3 |
| 3. | Ho trovato l'applicazione molto semplice da usare | 4 | 3 |
| 4. | Penso che avrei bisogno del supporto di una persona già in grado di utilizzare l'applicazione | 2 | 3 |
| 5. | Ho trovato le varie funzionalità dell'applicazione bene integrate | 3 | 2 |
| 6. | Ho trovato incoerenze tra le varie funzionalità dell'applicazione | 1 | 4 |
| 7. | Penso che la maggior parte delle persone potrebbero imparare ad utilizzare l'applicazione facilmente | 4 | 3 |
| 8. | Ho trovato l'applicazione molto macchinosa da utilizzare | 1 | 4 |
| 9. | Ho avuto molta condifenza con l'applicazione durante l'uso | 4 | 3 |
| 10. | Ho avuto bisogno di imparare molti processi prima di riuscire ad utilizzare al meglio l'applicazione | 2 | 3 |
| Valutazione totale | | | 77.5 |

Tabella C.4: Valutazione SUS per partecipante P04

| Domande | | Voto del partecipante | Punteggio risultante |
|---------------------------|--|-----------------------|----------------------|
| 1. | Penso che mi piacerebbe utilizzare questa applicazione frequentemente | 4 | 3 |
| 2. | Ho trovato l'applicazione complessa senza che ce ne fosse bisogno | 3 | 2 |
| 3. | Ho trovato l'applicazione molto semplice da usare | 3 | 2 |
| 4. | Penso che avrei bisogno del supporto di una persona già in grado di utilizzare l'applicazione | 3 | 2 |
| 5. | Ho trovato le varie funzionalità dell'applicazione bene integrate | 3 | 2 |
| 6. | Ho trovato incoerenze tra le varie funzionalità dell'applicazione | 1 | 4 |
| 7. | Penso che la maggior parte delle persone potrebbero imparare ad utilizzare l'applicazione facilmente | 4 | 3 |
| 8. | Ho trovato l'applicazione molto macchinosa da utilizzare | 2 | 3 |
| 9. | Ho avuto molta condifenza con l'applicazione durante l'uso | 3 | 2 |
| 10. | Ho avuto bisogno di imparare molti processi prima di riuscire ad utilizzare al meglio l'applicazione | 3 | 2 |
| Valutazione totale | | | 62.5 |

Tabella C.5: Valutazione SUS per partecipante P05

Appendice D

Questionari SUS applicazione mobile

In questa appendice sono inclusi i questionari SUS compilati dai 5 partecipanti che hanno valutato l'applicazione mobile. Per ciascuno di essi è stato calcolato un punteggio finale, rappresentativo della valutazione complessiva dell'usabilità del prototipo.

| Domande | | Voto del partecipante | Punteggio risultante |
|---------------------------|--|-----------------------|----------------------|
| 1. | Penso che mi piacerebbe utilizzare questa applicazione frequentemente | 4 | 3 |
| 2. | Ho trovato l'applicazione complessa senza che ce ne fosse bisogno | 1 | 4 |
| 3. | Ho trovato l'applicazione molto semplice da usare | 5 | 4 |
| 4. | Penso che avrei bisogno del supporto di una persona già in grado di utilizzare l'applicazione | 1 | 4 |
| 5. | Ho trovato le varie funzionalità dell'applicazione bene integrate | 5 | 4 |
| 6. | Ho trovato incoerenze tra le varie funzionalità dell'applicazione | 1 | 4 |
| 7. | Penso che la maggior parte delle persone potrebbero imparare ad utilizzare l'applicazione facilmente | 5 | 4 |
| 8. | Ho trovato l'applicazione molto macchinosa da utilizzare | 2 | 3 |
| 9. | Ho avuto molta condifenza con l'applicazione durante l'uso | 5 | 4 |
| 10. | Ho avuto bisogno di imparare molti processi prima di riuscire ad utilizzare al meglio l'applicazione | 1 | 4 |
| Valutazione totale | | | 95 |

Tabella D.1: Valutazione SUS per partecipante L01

| Domande | | Voto del partecipante | Punteggio risultante |
|---------------------------|--|-----------------------|----------------------|
| 1. | Penso che mi piacerebbe utilizzare questa applicazione frequentemente | 4 | 3 |
| 2. | Ho trovato l'applicazione complessa senza che ce ne fosse bisogno | 1 | 4 |
| 3. | Ho trovato l'applicazione molto semplice da usare | 4 | 3 |
| 4. | Penso che avrei bisogno del supporto di una persona già in grado di utilizzare l'applicazione | 2 | 3 |
| 5. | Ho trovato le varie funzionalità dell'applicazione bene integrate | 5 | 4 |
| 6. | Ho trovato incoerenze tra le varie funzionalità dell'applicazione | 1 | 4 |
| 7. | Penso che la maggior parte delle persone potrebbero imparare ad utilizzare l'applicazione facilmente | 4 | 3 |
| 8. | Ho trovato l'applicazione molto macchinosa da utilizzare | 2 | 3 |
| 9. | Ho avuto molta condifenza con l'applicazione durante l'uso | 5 | 4 |
| 10. | Ho avuto bisogno di imparare molti processi prima di riuscire ad utilizzare al meglio l'applicazione | 1 | 4 |
| Valutazione totale | | | 87.5 |

Tabella D.2: Valutazione SUS per partecipante L02

| Domande | | Voto del partecipante | Punteggio risultante |
|---------------------------|--|-----------------------|----------------------|
| 1. | Penso che mi piacerebbe utilizzare questa applicazione frequentemente | 3 | 2 |
| 2. | Ho trovato l'applicazione complessa senza che ce ne fosse bisogno | 1 | 4 |
| 3. | Ho trovato l'applicazione molto semplice da usare | 4 | 3 |
| 4. | Penso che avrei bisogno del supporto di una persona già in grado di utilizzare l'applicazione | 2 | 3 |
| 5. | Ho trovato le varie funzionalità dell'applicazione bene integrate | 5 | 4 |
| 6. | Ho trovato incoerenze tra le varie funzionalità dell'applicazione | 1 | 4 |
| 7. | Penso che la maggior parte delle persone potrebbero imparare ad utilizzare l'applicazione facilmente | 5 | 4 |
| 8. | Ho trovato l'applicazione molto macchinosa da utilizzare | 1 | 4 |
| 9. | Ho avuto molta condifenza con l'applicazione durante l'uso | 4 | 3 |
| 10. | Ho avuto bisogno di imparare molti processi prima di riuscire ad utilizzare al meglio l'applicazione | 1 | 4 |
| Valutazione totale | | | 87.5 |

Tabella D.3: Valutazione SUS per partecipante L03

| Domande | | Voto del partecipante | Punteggio risultante |
|---------------------------|--|-----------------------|----------------------|
| 1. | Penso che mi piacerebbe utilizzare questa applicazione frequentemente | 3 | 2 |
| 2. | Ho trovato l'applicazione complessa senza che ce ne fosse bisogno | 2 | 3 |
| 3. | Ho trovato l'applicazione molto semplice da usare | 4 | 3 |
| 4. | Penso che avrei bisogno del supporto di una persona già in grado di utilizzare l'applicazione | 2 | 3 |
| 5. | Ho trovato le varie funzionalità dell'applicazione bene integrate | 5 | 4 |
| 6. | Ho trovato incoerenze tra le varie funzionalità dell'applicazione | 1 | 4 |
| 7. | Penso che la maggior parte delle persone potrebbero imparare ad utilizzare l'applicazione facilmente | 4 | 3 |
| 8. | Ho trovato l'applicazione molto macchinosa da utilizzare | 1 | 4 |
| 9. | Ho avuto molta condifenza con l'applicazione durante l'uso | 5 | 4 |
| 10. | Ho avuto bisogno di imparare molti processi prima di riuscire ad utilizzare al meglio l'applicazione | 2 | 3 |
| Valutazione totale | | | 82.5 |

Tabella D.4: Valutazione SUS per partecipante L04

| Domande | | Voto del partecipante | Punteggio risultante |
|---------------------------|--|-----------------------|----------------------|
| 1. | Penso che mi piacerebbe utilizzare questa applicazione frequentemente | 3 | 2 |
| 2. | Ho trovato l'applicazione complessa senza che ce ne fosse bisogno | 1 | 4 |
| 3. | Ho trovato l'applicazione molto semplice da usare | 5 | 4 |
| 4. | Penso che avrei bisogno del supporto di una persona già in grado di utilizzare l'applicazione | 1 | 4 |
| 5. | Ho trovato le varie funzionalità dell'applicazione bene integrate | 5 | 4 |
| 6. | Ho trovato incoerenze tra le varie funzionalità dell'applicazione | 1 | 4 |
| 7. | Penso che la maggior parte delle persone potrebbero imparare ad utilizzare l'applicazione facilmente | 5 | 4 |
| 8. | Ho trovato l'applicazione molto macchinosa da utilizzare | 2 | 3 |
| 9. | Ho avuto molta condifenza con l'applicazione durante l'uso | 4 | 3 |
| 10. | Ho avuto bisogno di imparare molti processi prima di riuscire ad utilizzare al meglio l'applicazione | 1 | 4 |
| Valutazione totale | | | 90 |

Tabella D.5: Valutazione SUS per partecipante L05

Bibliografia

- [1] *The enormous burden of poor working conditions*. URL: <https://www.ilo.org/resource/world-statistic> (cit. a p. 1).
- [2] *Smart DPI e sicurezza, le novità sul mercato e le ultime tecnologie*. URL: <https://blog.topnetwork.it/smart-dpi-e-sicurezza-le-novita-sul-mercato-e-le-ultime-tecnologie> (cit. alle pp. 1, 11–15).
- [3] *Infortuni mortali: uno sguardo oltreoceano (e nel mondo)*. URL: <https://www.lavorofacile.it/news/infortuni-mortali---uno-sguardo-oltreoceano--e-nel-mondo-> (cit. a p. 1).
- [4] *Infortuni e malattie professionali, online gli open data Inail del 2023*. URL: <https://www.inail.it/cs/internet/comunicazione/sala-stampa/comunicati-stampa/com-stampa-open-data-2023.html> (cit. a p. 1).
- [5] Mario G. Recupero et al. *ANDAMENTO DEGLI INFORTUNI SUL LAVORO E DELLE MALATTIE PROFESSIONALI*. INAIL. Accesso online ai dati. Gen. 2024. URL: <https://www.inail.it/cs/internet/docs/alg-dati-inail-2024-gennaio-pdf.pdf> (cit. alle pp. 1, 2).
- [6] *DPI SMART: Percorso a ostacoli*. URL: <https://tinnovamag.com/dpi-smart-percorso-a-ostacoli/> (cit. alle pp. 2, 3, 12, 15).
- [7] *Salute e Sicurezza sul Lavoro: cosa si intende, obblighi fondamentali e novità*. URL: <https://www.insic.it/sicurezza-sul-lavoro/sicurezza-sul-lavoro-cosa-si-intende-obblighi-e-novita/> (cit. a p. 8).
- [8] MINISTRO DELLA SALUTE, MINISTRO DEL LAVORO E DELLE POLITICHE SOCIALI, IL MINISTRO PER LA FUNZIONE PUBBLICA e IL MINISTRO DELLE ATTIVITA' PRODUTTIVE. *Decreto 15 luglio 2003, n.388, Regolamento recante disposizioni sul pronto soccorso aziendale, in attuazione dell'articolo 15, comma 3, del decreto legislativo 19 settembre 1994, n. 626, e successive modificazioni*. Gazzetta Ufficiale. Accessibile presso lavoro.gov.it. Lug. 2003. URL: https://www.lavoro.gov.it/documenti-e-norme/normative/Documents/2003/20030715_DI_388.pdf (cit. a p. 9).

-
- [9] *Impianti audiovisivi e altri strumenti di controllo*. URL: <https://www.brocardi.it/statuto-lavoratori/titolo-i/art4.html> (cit. a p. 9).
- [10] *La tecnologia a supporto della tutela della salute dei lavoratori isolati*. URL: <https://irbema.com/la-tecnologia-a-supporto-della-tutela-della-salute-dei-lavoratori-isolati/> (cit. alle pp. 9, 10).
- [11] *SmartTrack*. URL: <https://smarttrack.io/> (cit. a p. 13).
- [12] *La sicurezza al polso dei tuoi lavoratori isolati*. URL: <https://www.datix.it/it/homepage.php> (cit. a p. 13).
- [13] *Privacy e controllo dei lavoratori*. URL: <https://protezionedatipersonali.it/privacy-controllo-lavoratori> (cit. alle pp. 14, 15).
- [14] *Figma*. URL: <https://www.figma.com> (cit. a p. 19).
- [15] *Kotlin and Retrofit: Simplifying Network Calls in Android*. URL: <https://clouddevs.com/kotlin/retrofit/> (cit. a p. 20).
- [16] *Android*. URL: <https://developer.android.com/studio?hl=it> (cit. a p. 20).
- [17] *Android Jetpack Compose MVVM*. URL: <https://paulallies.medium.com/jetpack-compose-mvvm-6a5033ed54d9> (cit. a p. 20).
- [18] *Movesole*. URL: <https://www.movesole.com/en/> (cit. a p. 20).
- [19] *Bluetooth Low Energy*. URL: <https://developer.android.com/develop/connectivity/bluetooth/ble/ble-overview?hl=it> (cit. a p. 21).
- [20] *Bluetooth Low Energy (BLE): A Complete Guide*. URL: <https://novelbits.io/bluetooth-low-energy-ble-complete-guide/> (cit. a p. 21).
- [21] *Garmin*. URL: <https://www.garmin.com/it-IT/> (cit. a p. 22).
- [22] *Garmin Health SDKs*. URL: <https://developer.garmin.com/health-sdk/overview/> (cit. a p. 22).
- [23] *JavaScript*. URL: <https://it.wikipedia.org/wiki/JavaScript> (cit. a p. 22).
- [24] *React: la guida definitiva*. URL: <https://dariopironi.com/it/react-la-guida-definitiva/> (cit. a p. 22).
- [25] *Material UI - Overview*. URL: <https://mui.com/material-ui/getting-started/> (cit. a p. 23).
- [26] *Leaflet*. URL: <https://leafletjs.com/> (cit. a p. 49).
- [27] *OpenStreetMap*. URL: <https://www.openstreetmap.org/#map=18/39.28974/8.99509> (cit. a p. 49).

- [28] *Cosa sono i test di usabilità e perché sono importanti*. URL: <https://blog.unguess.io/it/what-is-usability-testing> (cit. a p. 73).
- [29] *Why You Only Need to Test with 5 Users*. URL: <https://www.nngroup.com/articles/why-you-only-need-to-test-with-5-users/> (cit. a p. 73).
- [30] *Test di usabilità*. URL: <https://docs.italia.it/italia/designers-italia/manuale-operativo-design-docs/it/versione-corrente/doc/design-research/test-usabilita.html> (cit. a p. 74).
- [31] *Le 10 Euristiche dell'usabilità di Jakob Nielsen*. URL: <https://www.webmanwaling.it/le-10-euristiche-di-nielsen/> (cit. alle pp. 78, 79).