

ALMA MATER STUDIORUM · UNIVERSITÀ DI
BOLOGNA

SCUOLA DI SCIENZE

Corso di Laurea in Informatica per il Management

Sviluppo e test di un'app iOS integrata
con Apple Watch per il supporto
all'attività fisica in pazienti oncologici

Relatore:
Prof.
Montori Federico

Presentata da:
Muscarello Gaetano

Correlatrice:
Chiar.ma Prof.ssa
Dallolio Laura

Sessione I
Anno Accademico 2024/2025

*Ai miei nonni, Gaetano e Vincenzo,
il ricordo più prezioso che custodisco nel cuore.*

Sommario

La ricerca oncologica negli ultimi anni ha fatto passi avanti nella lotta al cancro, sviluppando terapie sempre più efficaci. Tuttavia, trattamenti come la chemioterapia e la radioterapia, pur migliorando la sopravvivenza, comportano effetti collaterali che incidono negativamente sulla qualità di vita del paziente. In particolare, nei soggetti affetti da glioma di alto grado, la stanchezza cronica favorisce la sedentarietà, contribuendo al deterioramento fisico e aumentando il rischio di patologie cardiovascolari.

Nonostante le evidenze scientifiche a sostegno dei benefici dell'attività fisica in ambito oncologico, nei percorsi riabilitativi, soprattutto in contesti extra-ospedalieri, l'esercizio è ancora poco incentivato. Per rispondere a questa esigenza è stata sviluppata un'applicazione mobile finalizzata a promuovere l'attività motoria nei pazienti oncologici, attraverso il monitoraggio dei parametri biometrici tramite Apple Watch, la registrazione degli allenamenti, l'invio di promemoria e la visualizzazione di statistiche personalizzate. La fase di test ha coinvolto un paziente reale, per una durata di circa tre settimane, con l'obiettivo di analizzare eventuali relazioni tra l'attività fisica e i livelli di glicemia, una delle principali fonti energetiche per le cellule tumorali. Per ciascuna giornata in cui è stato o non è stato svolto almeno un allenamento, è stato preso in considerazione il valore di glicemia del mattino seguente. Al termine del periodo di osservazione, sono stati analizzati i dati raccolti. Da una prima analisi descrittiva dei dati, è emersa una tendenza a valori glicemici più elevati nei giorni successivi ad allenamento rispetto ai giorni che non sono preceduti da alcuna attività. Successivamente è stata valutata la correlazione tra i parametri registrati durante ogni allenamento: kilocalorie attive, kilocalorie totali e frequenza cardiaca media, e il valore di glicemia del giorno seguente. È stata osservata una correlazione negativa di moderata entità tra la frequenza cardiaca media e i valori glicemici,

suggerendo che allenamenti più intensi potrebbero essere associati a una riduzione della glicemia. Tuttavia, questo dato non rappresenta una prova statisticamente solida, a causa del tempo intercorso tra l'attività fisica e la misurazione, e della possibile influenza di fattori non controllati. Nessuna correlazione significativa è emersa rispetto al consumo calorico.

Infine, è importante sottolineare che i dati analizzati coprono un arco temporale limitato e includono un numero relativamente contenuto di osservazioni. Pertanto, i risultati ottenuti devono essere interpretati con estrema cautela e non consentono di trarre conclusioni statisticamente definitive.

Introduzione

Negli ultimi anni, il numero delle diagnosi tumorali è aumentato notevolmente, coinvolgendo fasce sempre più ampie della popolazione. Nonostante i progressi della ricerca abbiano permesso di sviluppare terapie sempre più efficaci, trattamenti come la chemioterapia e la radioterapia comportano effetti collaterali significativi, influenzando sul benessere fisico e psicologico del paziente, peggiorandone notevolmente la qualità della vita.

Tra gli effetti collaterali più comuni si ha la stanchezza cronica (cancer-related fatigue): una condizione che comporta un senso di spossatezza persistente, che compromette le capacità fisiche, emotive e cognitive del paziente, alimentando ansia, depressione e un progressivo isolamento sociale.

Un altro fattore critico è la sedentarietà: i pazienti oncologici, soprattutto coloro che affrontano terapie prolungate, riscontrano una significativa riduzione della mobilità, che favorisce il deterioramento nel tempo della massa muscolare, aumentando il rischio di patologie cardiovascolari. Tuttavia, numerosi studi hanno dimostrato come svolgere attività fisica regolarmente possa produrre benefici significativi: riduzione della fatica percepita, miglioramento delle funzioni cardiocircolatorie e muscolari, oltre ad un notevole miglioramento del benessere psicologico.

L'esercizio fisico, inoltre, può agire in sinergia con le terapie farmacologiche mitigandone gli effetti collaterali. Nonostante ciò, l'integrazione di programmi di allenamento è ancora spesso trascurata nei percorsi di riabili-

tazione oncologica, soprattutto nei contesti extra-ospedalieri.

Da qui nasce l'esigenza di sviluppare strumenti digitali che possano incentivare l'attività fisica, guidare il paziente in modo personalizzato e favorire l'integrazione dell'esercizio nei protocolli di riabilitazione.

Questa tesi si articola in quattro capitoli:

- **Stato dell'arte:** presenta una revisione della letteratura scientifica riguardante i gliomi e l'impiego di applicazioni mobili a supporto dell'attività fisica, evidenziando i benefici dell'attività fisica per i pazienti oncologici e le lacune nelle soluzioni digitali attualmente disponibili.
- **Architettura dell'app:** descrive l'organizzazione complessiva dell'applicazione sviluppata, le scelte architetturali, evidenziando come queste siano state orientate alle esigenze del paziente.
- **Implementazione:** illustra alcune delle funzionalità realizzate, le librerie e gli strumenti utilizzati, le difficoltà tecniche riscontrate e le soluzioni adottate durante lo sviluppo.
- **Esperimenti e risultati:** riporta i dati raccolti durante la sperimentazione, si illustrano le modalità di analisi utilizzate per verificare eventuali correlazioni tra i valori di glicemia e gli allenamenti svolti.

Indice

Introduzione	iii
1 Stato dell'Arte	1
1.1 Glioma di alto grado	2
1.1.1 Effetti della Radioterapia	3
1.1.2 Effetti della Chemioterapia	4
1.1.3 Valutazione degli effetti terapeutici	4
1.2 Applicazioni Mobili	6
1.3 Motivazioni	10
2 Architettura dell'Applicazione	13
2.1 Diagramma architetturale ad alto livello	13
2.2 Struttura dell'applicazione	15
2.3 Front-end	16
2.3.1 Login e Registrazione	16
2.3.2 Schermata Home	17
2.3.3 Schermata Esercizi	19
2.3.4 Schermata Allenamento	20
2.3.5 Schermata Storico Allenamenti	22
2.3.6 Schermata Profilo	23
2.3.7 Schermata Report Allenamento	24
2.3.8 Schermata FACIT-Fatigue	26
2.4 Integrazione con Apple Watch	27
2.4.1 Finalità	27

2.4.2	Struttura architetturale	27
2.4.3	Funzionamento	28
2.5	Schema E-R	31
3	Implementazione	33
3.1	Scelte Implementative	33
3.1.1	Interfaccia Utente	33
3.1.2	Architettura e Design Pattern	34
3.1.3	Gestione delle Notifiche e dell'Audio	35
3.1.4	Ottimizzazione dell'esperienza utente	35
3.1.5	Struttura della Navigazione	36
3.1.6	Divisione e Struttura del codice	36
3.1.7	Limiti riscontrati	37
3.2	Dettagli implementativi integrazione con Apple Watch	38
3.2.1	Architettura della comunicazione	38
3.2.2	Gestione della sessione di allenamento su Apple Watch	41
3.3	Evoluzioni possibili e sviluppi futuri	44
4	Esperimenti e Risultati	45
4.1	Motivazione dell'osservazione dei dati glicemici	45
4.2	Premessa metodologica	46
4.3	Obiettivi e metodologia dell'analisi	47
4.4	Analisi descrittiva dei livelli glicemici	50
4.4.1	T-test	53
4.5	Correlazione glicemia mattutina e allenamento del giorno precedente	53
	Conclusioni	58

Elenco delle figure

2.1	Diagramma di alto livello	14
2.2	Schermate relative all'accesso: iniziale, registrazione, login e recupero password.	16
2.3	Attività Giornaliera	17
2.4	Attività Settimanale	17
2.5	Schermata Esercizi	19
2.6	Sequenza di schermate durante l'allenamento.	20
2.7	Storico Allenamenti	22
2.8	Schermata Profilo	23
2.9	Generazione Report	24
2.10	Report	24
2.11	Schermata Fatigue Scale	26
2.12	Dettagli Allenamento	30
2.13	Media Battito	30
2.14	Schema E-R	31

Elenco delle tabelle

4.1	Valori glicemia	48
4.2	Dati degli allenamenti	49
4.3	Glicemia - 1+ allenamenti	50
4.4	Glicemia - 0 allenamenti	51
4.5	Parametri degli allenamenti e glicemia mattutina del giorno successivo	55

Capitolo 1

Stato dell'Arte

Negli ultimi anni la crescente attenzione verso soluzioni tecnologiche a supporto della riabilitazione motoria nei pazienti oncologici si è inserita in un contesto clinico alquanto complesso, in cui la gestione degli effetti collaterali dei trattamenti terapeutici rappresenta una sfida cruciale. Tra le patologie più critiche sotto questo punto di vista si colloca il glioma di alto grado, un tumore cerebrale che compromette in maniera significativa la mobilità e l'autonomia dei soggetti che ne sono affetti, incidendo significativamente sulla loro qualità di vita.

Ancora oggi, nonostante i progressi effettuati dalla medicina oncologica, vi sono poche soluzioni specifiche per i pazienti affetti da patologie neurologiche. Da qui nasce l'opportunità di integrare strumenti digitali nel percorso terapeutico a supporto della clinica tradizionale, con l'obiettivo di garantire continuità nei trattamenti e monitoraggio remoto. In questo ambito, assumono maggior rilievo i dispositivi wearable, come gli smartwatch, che facilitano la raccolta dei dati biometrici in tempo reale.

La trattazione del capitolo in questione si articola in tre sezioni principali. La prima analizza le caratteristiche cliniche del glioma di alto grado e le conseguenze dei trattamenti oncologici - in particolare chemioterapia e ra-

dioterapia - sulle funzionalità fisiche.

La seconda sezione prende in esame lo stato dell'arte delle applicazioni mobili destinate alla riabilitazione motoria, attraverso una rassegna della più recente letteratura scientifica. Particolare attenzione è riservata alle funzionalità che si sono rivelate efficaci nel promuovere al costanza dell'allenamento e il coinvolgimento dell'utente.

Infine, la terza sezione presenta le motivazioni progettuali alla base dello sviluppo di un'applicazione mobile specifica, ideata per un paziente reale in un contesto clinico concreto, mettendo in evidenza le criticità delle soluzioni esistenti e il valore aggiunto apportato dall'intervento personalizzato.

1.1 Glioma di alto grado

I gliomi sono tumori primari del sistema nervoso centrale originati dalle cellule gliali, responsabili del supporto e del nutrimento dei neuroni.

Secondo la classificazione dell'Organizzazione Mondiale della Sanità del 2021, i gliomi si suddividono in base a determinati criteri istologici e molecolari, distinguendo principalmente tra forme a basso grado (grado 1 e 2) e ad alto grado (grado 3 e 4). I gliomi di alto grado si distinguono per il particolarmente aggressivo comportamento biologico e per la rapida evoluzione clinica.[8] Le due principali forme di tumore rientrano in questa categoria sono l'astrocitoma anaplastico (grado 3), e il glioblastoma (grado 4), che rappresenta la forma più frequente nell'adulto.

La classificazione più recente tiene conto di specifici marcatori molecolari che contribuiscono in modo determinante alla diagnosi, alla definizione e alla conseguente valutazione della risposta terapeutica. [4]

Dal punto di vista clinico, i gliomi di alto grado, oltre a compromettere la mobilità dei pazienti, possono determinare una varietà di sintomi neurologici, la cui gravità dipende dalla sede e dall'estensione della lesione. Tra i più comuni si riscontrano deficit neurologici focali, disturbi cognitivi e segni da ipertensione endocranica. [8]

1.1.1 Effetti della Radioterapia

La radioterapia è uno dei principali trattamenti nella lotta al cancro, agisce uccidendo le cellule tumorali attraverso l'impiego di radiazioni ad alta energia. Tuttavia, a causa della vicinanza tra il tumore e le cellule cerebrali sane, risulta complesso colpire esclusivamente il tessuto neoplastico, con il rischio elevato di coinvolgere anche aree funzionalmente integre. Il principale effetto collaterale osservato nei pazienti sottoposti a radioterapia cerebrale è la disfunzione cognitiva a lungo termine, che può manifestarsi con alterazioni della memoria, dell'attenzione e delle funzioni esecutive. A questi si aggiungono fenomeni di atrofia cerebrale, ipertensione endocranica e altri deficit neurologici.

Al fine di limitare tali conseguenze, la medicina oncologica sta sperimentando tecniche radioterapiche sempre più mirate, con l'obiettivo di migliorare la precisione e l'efficacia del trattamento e minimizzare l'esposizione dei tessuti sani circostanti.[13]

1.1.2 Effetti della Chemioterapia

Il temozolomide (TMZ) è il farmaco di riferimento per il trattamento di gliomi di alto grado. Il suo meccanismo d'azione si basa sull'alterazione dei processi di riparazione del DNA, portando alla morte delle cellule tumorali. Nonostante la sua diffusione, l'efficacia di questa pratica in molti casi può essere compromessa dalla resistenza (intrinseca o acquisita) delle cellule tumorali, fenomeno che rappresenta una delle principali sfide della ricerca oncologica.[13]

Tra gli effetti collaterali maggiormente riportati si annoverano:

- Nausea
- Vomito
- Affaticamento Persistente
- Disturbi del sonno

Questi effetti, sebbene in alcuni casi si presentino in forma moderata, possono avere un impatto significativo sulla qualità di vita del paziente. [11]

1.1.3 Valutazione degli effetti terapeutici

Nel contesto dei tumori cerebrali, la valutazione oggettiva e soggettiva della fatica e dello sforzo fisico percepito riveste un ruolo fondamentale nella gestione clinica del paziente, specialmente durante la fase riabilitativa.

Due tra gli strumenti più utilizzati sono la Scala di Borg e la FACIT-Fatigue Scale.

Scala di Borg

Sviluppata dal Professor Gunnar Borg e descritta in dettaglio nel suo testo "Borg's Perceived Exertion And Pain Scales"(Borg, 1998), è una scala psicofisica ampiamente riconosciuta per la misurazione della percezione soggettiva dello sforzo, del dolore e della dispnea.

Nell'ambito di questo lavoro è stata utilizzata la CR10, una scala di tipo "categoria-rapporto" che va da 0 (assenza totale di sensazione) a 10 (sforzo/-sensazione massimale). Ogni numero della scala è associato ad uno specifico ancoraggio verbale che guida il soggetto nella valutazione dell'intensità percepita. Come spiega il Professor Borg nel suo testo, la natura "rapporto" della scala CR10 implica che le differenze tra i numeri possono essere interpretate come proporzionali all'intensità percepita. Questo la rende più sensibile e adatta per analisi quantitative rispetto alle scale ordinali.[3, pp. 49-59]

Sebbene sia stata pensata per la misurazione dello sforzo nei pazienti con malattie respiratorie, negli ultimi anni è stata utilizzata anche in oncologia per misurare la tolleranza allo sforzo e la fatica percepita.

FACIT-Fatigue

La FACIT-Fatigue (Functional Assessment of Chronic Illness Therapy – Fatigue) è un questionario da 13 item, progettato per valutare la fatica e il suo impatto sulle attività quotidiane del paziente oncologico.[6]

Il punteggio totale può variare da 0 a 52, dove i valori più alti indicano minore affaticamento e, di conseguenza, una migliore qualità della vita. Le domande sono finalizzate a valutare componenti specifiche della fatica, come energia, autonomia funzionale, bisogno di recupero e condizione emotiva.

Nella presente applicazione, il questionario è stato somministrato con cadenza trimestrale, al fine di monitorare l'evoluzione della condizione soggettiva del paziente nel tempo.

1.2 Applicazioni Mobili

I pazienti affetti da tumori cerebrali, in particolar modo da glioma di alto grado, affrontano quotidianamente molteplici difficoltà dovute sia alla progressione della malattia sia agli effetti collaterali dei trattamenti a cui si sottopongono. Tra questi, la compromissione della funzionalità motoria, l'affaticamento cronico e il degrado cognitivo rappresentano alcuni dei principali ostacoli al mantenimento dell'autonomia e della qualità della vita. Sebbene l'efficacia dell'esercizio fisico sia ampiamente riconosciuta, non sempre viene integrato nei percorsi terapeutici dei pazienti oncologici.

I trattamenti attualmente utilizzati per i pazienti affetti da glioma di alto grado, come la radioterapia e la chemioterapia, hanno permesso nel tempo un aumento del tasso di sopravvivenza dei pazienti, ma restano associati, come precedentemente accennato in questo capitolo, a importanti effetti collaterali, il più importante tra questi la stanchezza correlata al cancro (Cancer-Related Fatigue). Tali effetti condizionano notevolmente la vita del paziente, non colpendo soltanto la sfera fisica, ma anche quella cognitiva e sociale [13]

La ricerca, in risposta a questo scenario, ha individuato nell'esercizio fisico una concreta opportunità terapeutica. Numerosi studi dimostrano che interventi mirati di attività fisica non soltanto migliorano la condizione fisica del paziente, ma sono in grado di migliorare la loro salute mentale, resistenza allo sforzo e le capacità cognitive, rallentando in parte la progressione del glioma. Inoltre, alcuni studi preclinici hanno dimostrato che l'esercizio fisico possa essere positivamente integrato con le terapie farmacologiche, migliorandone l'efficacia e mitigandone gli effetti collaterali.[13]

In particolare, uno studio clinico condotto su pazienti affetti da tumore cerebrale ha evidenziato come un programma strutturato di esercizio fisico della durata di otto settimane sia stato associato a un netto miglioramento della qualità di vita e della fatica percepita.[10]

L'esercizio fisico sembra inoltre agire sul microambiente tumorale, inibendo la crescita e la metastatizzazione attraverso meccanismi antinfiammatori. Nei pazienti affetti da glioma, può contribuire a preservare la funzione motoria, ridurre gli effetti comportamentali della malattia e la funzione cardiopolmonare. [13]

Il monitoraggio personalizzato e in tempo reale offre una potenziale soluzione ai limiti dell'autosegnalazione da parte dei pazienti oncologici presso lo studio medico, tra cui una scarsa capacità di ricordare e una sotto o sovra-segnalazione dei sintomi, che possono essere aggravati da deficit cognitivi in alcuni pazienti affetti da glioma di alto grado.[5] Le applicazioni mobili possono svolgere un ruolo fondamentale nella comunicazione tra medico e paziente, nel momento in cui permettono la registrazione autonoma dei dati, consentendo agli utenti di monitorare e interagire con la propria condizione in tempo reale.

Un recente studio ha individuato 123 applicazioni sanitarie sviluppate per pazienti oncologici; di queste, soltanto una era dedicata in maniera specifica a pazienti con il tumore al cervello. A seguito di tale osservazione è stata sviluppata OurBrainBank (OBB), un'applicazione mirata ai pazienti affetti da glioblastoma. OBB si articola in una sezione di monitoraggio, che consente di registrare i sintomi e parametri legati alla salute, una sezione informativa che permette di visualizzare ed esportare i dati per condividerli con il proprio medico, mentre la sezione giochi include un test di reattività e uno di riconoscimento schemi. Secondo i dati raccolti dagli sviluppatori, nei pazienti che utilizzavano regolarmente l'app si è registrato un miglioramento dell'idratazione e dell'alimentazione, ma non sono emerse correlazioni significative con i livelli di ansia, stress e motivazione. [5]

Studi condotti presso le università di Praga, Hradec Králové, Olomouc (Repubblica Ceca) hanno evidenziato l'efficacia delle applicazioni mobili nel

promuovere l'attività fisica regolare, seppur in contesti scolastici e non clinici. Le componenti chiave di successo individuate durante gli studi comprendono un'interazione semplice e intuitiva, grafici, statistiche e notifiche personalizzate.[9] Questi principi possono essere trasferiti alla progettazione di strumenti digitali destinati a pazienti oncologici, affinché si fornisca un aiuto concreto nella gestione dell'attività fisica e nella riabilitazione motoria.

Anche i dispositivi wearable, come smartwatch e fitness tracker, stanno guadagnando sempre più spazio nel panorama della gestione oncologica, grazie alla loro capacità di raccogliere dati fisiologici in modo continuo e passivo. Consentono di monitorare parametri come il numero di passi giornalieri, la frequenza cardiaca, la qualità del sonno e i livelli di attività fisica, offrendo un'alternativa affidabile ai metodi utilizzati tipicamente in ambito clinico. Diversi studi hanno evidenziato come una riduzione del conteggio giornaliero dei passi, misurato da dispositivi come Fitbit o Garmin, sia correlata ad un peggioramento dello stato di salute, ad un aumento dei sintomi (dolore, nausea, affaticamento) e ad un maggiore rischio di ospedalizzazione nei pazienti oncologici. In particolare, in pazienti con tumori solidi o avanzati o sottoposti a radioterapia e chemioterapia, l'attività fisica rilevata tramite wearable si è dimostrata un indicatore sensibile dello stato funzionale e della qualità della vita, oltre che un possibile predittore di eventi clinici avversi. [2]

Anche l'ambito riabilitativo trova oggi una crescente validazione scientifica nell'utilizzo di tecnologie mobili. Diversi sono i programmi basati sull'attività fisica, erogati tramite app o piattaforme digitali, che si sono dimostrati efficaci nell'incrementare la capacità aerobica, migliorare la funzionalità cardiopolmonare e ridurre i livelli di fatica nei pazienti oncologici. La teleriabilitazione emerge come approccio sostenibile, in grado di superare le barriere logistiche all'ingresso fisico alle strutture di cura. [1][7]

Nel contesto specifico dei tumori cerebrali, è stato sperimentato con successo ReMind, un'applicazione pensata per la riabilitazione cognitiva di pazienti con glioma. Sebbene siano necessari ulteriori studi per valutarne l'impatto su larga scala, i trial pilota hanno evidenziato un'elevata adesione da parte degli utenti e un particolare apprezzamento per l'interfaccia semplice e per l'opportunità di svolgere esercizi neurocognitivi in autonomia. [12]

È interessante segnalare che, in parallelo allo sviluppo dell'applicazione oggetto del presente elaborato, Alessandro Mazzini ha sviluppato un'applicazione analoga su piattaforma Android, nell'ambito del proprio progetto di tesi per il corso di laurea in Informatica per il Management. L'applicazione in questione è stata realizzata come applicazione ibrida, adottando tecnologie cross-platform per garantire compatibilità sia con dispositivi iOS sia con dispositivi Android.

Le due applicazioni condividono le medesime finalità: supportare i pazienti affetti da glioma di alto grado attraverso un programma di esercizi fisici. Sebbene i due progetti presentino inevitabili differenze legate al sistema operativo e alle rispettive scelte tecniche di implementazione, le applicazioni risultano equivalenti sul piano funzionale, offrendo entrambe uno strumento di monitoraggio e guida all'allenamento.

In sintesi, l'impiego delle tecnologie mobili in ambito oncologico, e in particolare per i pazienti affetti da tumori cerebrali, rappresenta una frontiera promettente per l'innovazione terapeutica. Le evidenze raccolte suggeriscono che, se ben progettate, le applicazioni mobili possono facilitare la gestione personalizzata della riabilitazione, migliorare l'aderenza ai trattamenti e contribuire alla qualità della vita dei pazienti.

1.3 Motivazioni

Da un'analisi della letteratura scientifica, illustrata nella precedente sezione di questo capitolo, è emerso che l'attività fisica, pur essendo riconosciuta come un intervento ad alto potenziale clinico, è spesso trascurata nella pratica clinica. Inoltre, nonostante i progressi nel campo della medicina oncologica e della salute digitale, non esistono attualmente applicazioni mobili progettate specificamente per promuovere l'attività fisica nei pazienti con tumore cerebrale, in particolare nei soggetti affetti da glioma di alto grado. Le soluzioni esistenti si concentrano su aspetti di monitoraggio passivo, tracciamento dei sintomi e riabilitazione cognitiva, senza però offrire programmi di esercizio motorio né strumenti integrati per la valutazione della fatica percepita, come la Scala di Borg o il FACIT-Fatigue.

L'applicazione sviluppata nell'ambito del presente lavoro nasce per colmare questo vuoto, proponendosi come strumento digitale innovativo che mira a supportare il percorso riabilitativo dei pazienti affetti da glioma anche nei contesti extra-ospedalieri, in un'ottica di continuità terapeutica e qualità della vita.

La motivazione che ha dato origine a questo progetto scaturisce dalla reale esperienza clinica di una paziente di 51 anni, che nell'agosto 2023 ha ricevuto una diagnosi di glioma di alto grado presso l'Ospedale Bellaria di Bologna. A seguito della malattia, la paziente ha sperimentato una marcata riduzione della mobilità, fino a dover ricorrere all'uso della sedia a rotelle e all'assistenza continua di un caregiver. La paziente segue un protocollo di esercizio strutturato, prescritto dalla fisioterapista Michela Persiani della Fondazione ANT (Associazione Nazionale Tumori) di Bologna, con l'obiettivo di mantenere le capacità residue e migliorare il benessere complessivo. Tuttavia, è emersa la necessità di un supporto che la aiutasse quotidianamente a mantenere la costanza nell'allenamento e a svolgere degli esercizi con regolarità e nella sequenza corretta.

L'applicazione nasce in risposta a questo bisogno, con l'intento di offrire uno strumento concreto, in grado di facilitare l'adesione al programma riabilitativo e motivare all'attività fisica quotidiana. Inoltre, presenta un'integrazione con Apple Watch, che consente di monitorare per ogni sessione di allenamento i parametri fisiologici rilevanti come la frequenza cardiaca e le calorie bruciate, fornendo un ulteriore controllo del percorso riabilitativo.

Lo sviluppo è avvenuto tenendo conto delle esigenze espresse direttamente dalla paziente, con l'obiettivo di creare uno strumento che risultasse utile nella sua quotidianità. In particolare sono state adottate una serie di specifiche:

- **Semplicità dell'interfaccia:** un design intuitivo in modo da ottimizzare l'esperienza utente, abbattendo eventuali barriere tecnologiche che possano scoraggiarne l'uso.
- **Visualizzazione dei dati:** possibilità di consultare in tempo reale i dati relativi ad ogni allenamento.
- **Notifiche personalizzate:** promemoria che vengono inviati in automatico per ricordare all'utente di svolgere sequenze di allenamento incomplete, al fine di aderire il più possibile al percorso riabilitativo.
- **Condivisione report:** funzionalità che permette di condividere con il personale medico tutti i dati relativi agli allenamenti svolti.

A differenza dell'applicazione sviluppata da Alessandro Mazzini, progettata come applicazione ibrida, l'app presentata in questo elaborato è stata sviluppata nativamente per iOS, il sistema operativo effettivamente utilizzato dal paziente. Poiché le applicazioni ibride non consentono di sfruttare a pieno le potenzialità dell'ecosistema Apple, è stata scelta una soluzione nativa, in modo da garantire una migliore integrazione con il dispositivo e migliorare già l'ottima user-experience.

Inoltre, una differenza significativa risiede nell'integrazione con Apple Watch, resa possibile proprio dallo sviluppo nativo. Questa funzionalità permette di raccogliere automaticamente i dati biometrici dell'utente durante le sessioni di allenamento. Tali dati costituiscono un valore aggiunto rispetto al semplice monitoraggio, arricchendo il quadro informativo a disposizione del paziente e di un eventuale personale sanitario.

Capitolo 2

Architettura dell'Applicazione

L'applicazione è stata progettata per supportare la riabilitazione del paziente in modo semplice, accessibile e personalizzato, attenendosi al programma assegnatole dal personale della Fondazione ANT di Bologna.

In questo capitolo ne viene descritta la struttura interna, illustrando la logica di navigazione, le schermate principali, le funzionalità disponibili e l'integrazione con Apple Watch.

2.1 Diagramma architetturale ad alto livello

Di seguito viene presentato il diagramma architetturale ad alto livello dell'applicazione. Esso mostra i componenti principali del sistema e le interazioni tra essi, evidenziando come l'app iOS comunica con i moduli esterni, come Apple Watch e Firebase, e come gestisce la persistenza locale e la scrittura dei dati su Apple Health/Fitness. Il diagramma offre una visione d'insieme della struttura del sistema, utile per comprendere la distribuzione delle funzionalità e dei flussi di dati principali.

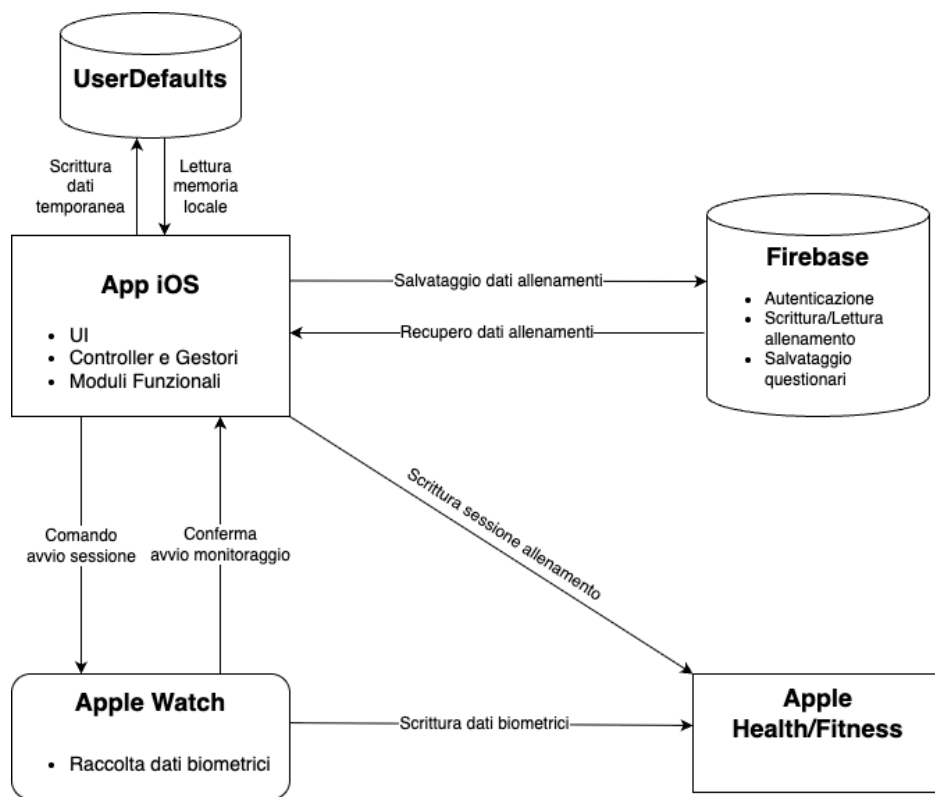


Figura 2.1: Diagramma di alto livello

2.2 Struttura dell'applicazione

L'applicazione è stata sviluppata per iOS, utilizzando il linguaggio Swift. Le principali aree funzionali riguardano l'interfaccia utente, la gestione dello stato locale, la persistenza dei dati e la comunicazione con Firebase.

- **Interfaccia utente (UI):** è stata realizzata combinando l'utilizzo di UIKit e SwiftUI, sfruttando i punti di forza di entrambi i framework. UIKit viene utilizzato per la struttura principale dell'app e la navigazione tra le varie schermate, mentre SwiftUI è impiegato per componenti specifici come timer di allenamento e grafici.
- **Gestione dello stato locale:** effettuata attraverso le proprietà reattive di SwiftUI (@State, @ObservedObject), che consentono l'aggiornamento automatico dell'interfaccia al variare dei dati.
- **Comunicazione con Firebase:** l'applicazione interagisce con il database per recuperare tutti i dati relativi ad ogni allenamento. Le operazioni avvengono tramite delle chiamate asincrone per garantire sincronizzazione reale con il backend.
- **Persistenza Locale:** tramite UserDefaults, vengono memorizzati gli allenamenti che non vengono portati a termine, garantendo la fruibilità dell'applicazione anche in assenza di connessione internet.

2.3 Front-end

Di seguito vengono illustrate le schermate dell'applicazione.

2.3.1 Login e Registrazione

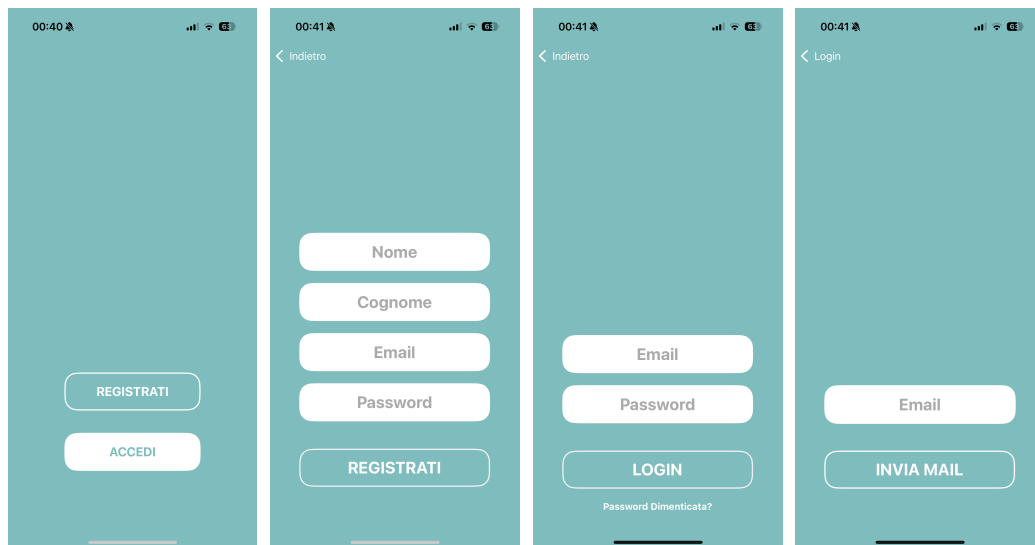


Figura 2.2: Schermate relative all'accesso: iniziale, registrazione, login e recupero password.

Una volta aperta l'applicazione per la prima volta, l'utente ha la possibilità di:

- Effettuare la **Registrazione**, inserendo:
 - Nome
 - Cognome
 - Email
 - Password, con requisiti:
 - * Minimo 6 caratteri, massimo 12 caratteri.
 - * Contenere almeno una lettera minuscola e una maiuscola.

- Effettuare il **Login**, inserendo:
 - Email
 - Password
- **Recupero Password**, inserendo:
 - Email

Durante la registrazione, al clic sul pulsante 'Registrati', viene inviata una mail di verifica all'indirizzo specificato nella sezione 'Email'.

2.3.2 Schermata Home

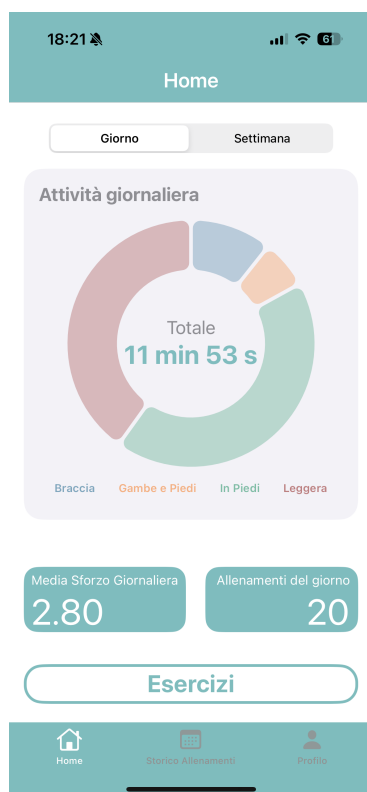


Figura 2.3: Attività Giornaliera

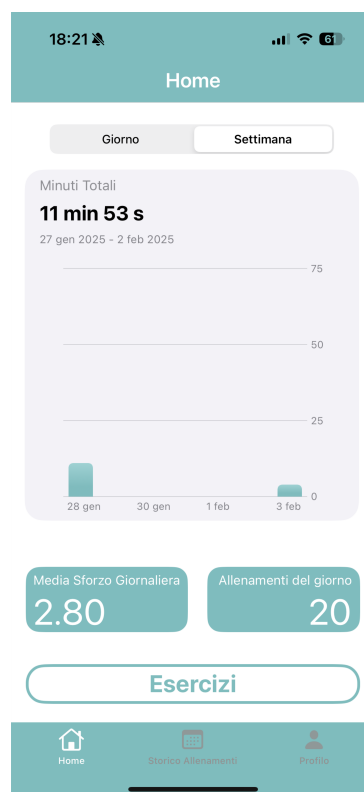


Figura 2.4: Attività Settimanale

Una volta effettuato l'accesso, l'utente viene indirizzato alla schermata principale dell'applicazione, ovvero la Home. Da questa sezione l'utente può

consultare i grafici relativi all'attività fisica svolta, scegliendo tra la visualizzazione giornaliera e settimanale tramite l'apposito selettore.

Nel grafico giornaliero, rappresentato da un grafico a torta, l'utente può consultare i minuti dedicati a ciascuna sequenza di allenamento, ognuna identificata da un colore differente. Selezionando una specifica "fetta" del grafico, viene mostrato il dettaglio dell'attività corrispondente.

Il grafico settimanale, realizzato mediante un Bar Chart, consente invece di analizzare i minuti totali di allenamento svolti nella settimana corrente. La settimana visualizzata può essere modificata tramite uno slide orizzontale. Inoltre, selezionando una singola barra del grafico, è possibile consultare il dettaglio dei minuti di allenamento in uno specifico giorno.

Al di sotto della sezione dedicata al grafico, vengono visualizzati a schermo: il numero di allenamenti giornalieri e la media giornaliera dello sforzo percepito, calcolata in base al valore fornito dall'utente al termine di ciascuna sequenza di esercizi, secondo la Scala di Borg.

L'utente, da questa schermata può accedere alla schermata "Esercizi" in cui sono elencate tutte le sequenze di allenamento a disposizione. Inoltre, attraverso la Tab Bar presente in fondo potrà accedere allo "Storico Allenamenti" e alla sezione "Profilo".

Dalla schermata Home, l'utente può accedere alla sezione "Esercizi", nella quale sono elencate tutte le sequenze di allenamento disponibili. Inoltre, tramite la barra di navigazione inferiore (Tab Bar), presente in ogni schermata principale dell'applicazione, l'utente potrà accedere alle sezioni "Storico Allenamenti", "Profilo", oppure ritornare alla Home nel caso in cui si trovi in un'altra sezione.

2.3.3 Schermata Esercizi

Nella schermata Esercizi, l'utente può selezionare la sequenza da svolgere tra quelle che sono state definite in collaborazione con il suo fisioterapista. Qui, con bordo rosso, verranno anche indicati gli allenamenti lasciati incompleti dall'utente.

Le sequenze sono:

- Attività Leggera: tipicamente pedaliera
- Esercizi per Gambe e Piedi
- Esercizi per Braccia
- Esercizi in Piedi

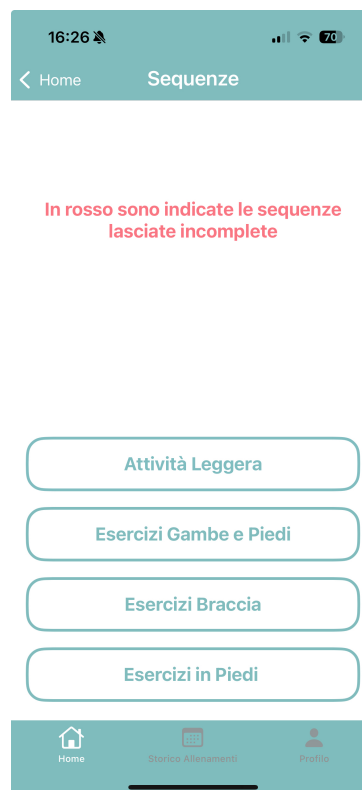


Figura 2.5: Schermata Esercizi

2.3.4 Schermata Allenamento

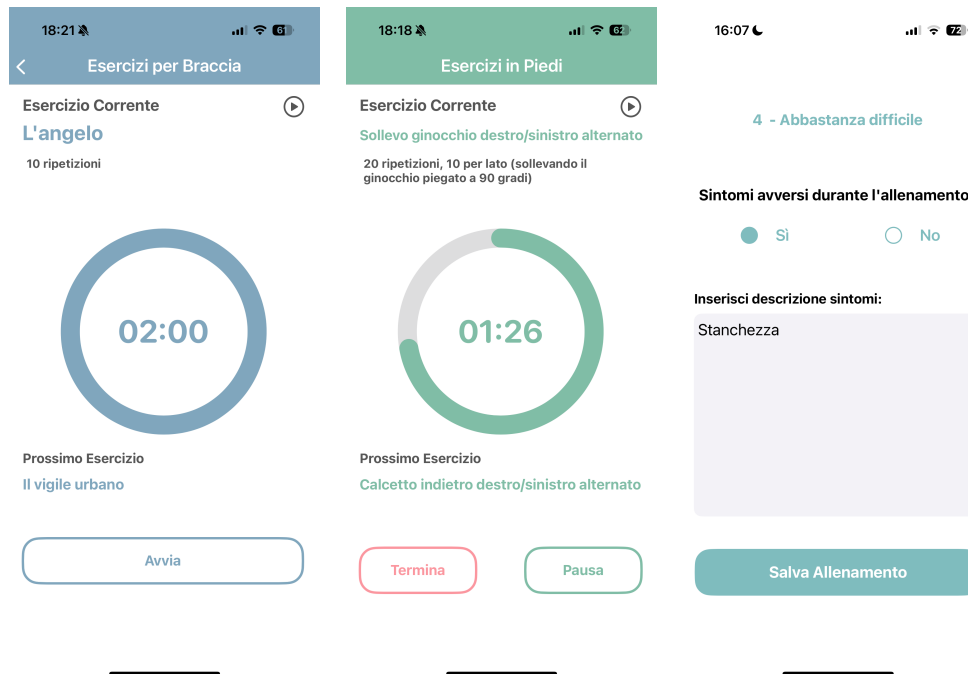


Figura 2.6: Sequenza di schermate durante l'allenamento.

La schermata dedicata all'allenamento è composta da una serie di elementi progettati per fornire all'utente tutte le informazioni necessarie al fine di svolgere correttamente il proprio allenamento. L'interfaccia, è stata concepita per essere chiara e facilmente leggibile anche durante l'attività fisica. In particolare, è composta da:

- **Nome dell'esercizio corrente:** visualizza il nome dell'esercizio in esecuzione.
- **Tasto Video:** permette di mettere in pausa l'allenamento e visualizzare un video dimostrativo che illustra il corretto svolgimento dell'esercizio in corso.
- **Timer:** mostra il tempo residuo alla fine di ogni singolo esercizio, facilitando la gestione delle pause, avviate alla fine dell'esercizio.

- **Nome Esercizio Successivo:** anticipa quale sarà l'esercizio seguente nella sequenza.
- **Pulsante Avvia:** consente di avviare la sequenza di allenamento selezionata.
- **Pulsante Termina:** consente di interrompere anticipatamente l'allenamento nel caso in cui l'utente avverta eccessiva difficoltà o stanchezza.
- **Pulsante Pausa/Riprendi:** permette di sospendere in maniera temporanea l'allenamento e riprenderlo successivamente.

Alla fine di ogni allenamento, sia esso terminato in anticipo o portato a termine per intero, viene mostrata la schermata di fine allenamento, questa è composta da:

- **Selettore livello di sforzo:** cliccando si aprirà un menù a tendina attraverso il quale l'utente, basandosi sulla Scala di Borg, indica il livello di sforzo percepito.
- **Indicazione presenza di sintomi:** tramite un'opzione a scelta singola, l'utente può specificare se ha riscontrato o meno sintomi avversi durante l'allenamento. Se l'utente seleziona la voce "Sì", apparirà a schermo un campo di testo in cui l'utente potrà scrivere eventuali sintomi riscontrati.
- **Salva Allenamento:** pulsante che consente di confermare i dati inseriti e di salvare la sessione. Una volta completata l'operazione, tutti i grafici e i relativi dati verranno aggiornati.

2.3.5 Schermata Storico Allenamenti

Attraverso la Schermata Storico Allenamenti, l'utente può consultare l'elenco di tutte le sessioni di allenamento svolte, ordinate in base al giorno in cui sono state svolte. La visualizzazione include sia gli allenamenti completati, sia quelli interrotti prima del termine, registrati per mantenere un monitoraggio accurato dell'attività fisica. Per ogni allenamento vengono riportati:

- Nome Sequenza
- Data e orario di svolgimento
- Livello di Sforzo
- Durata allenamento



Figura 2.7: Storico Allenamenti

2.3.6 Schermata Profilo

Accedendo alla sezione Profilo, l'utente potrà visualizzare i propri dati personali inseriti in fase di registrazione, come nome, cognome ed email.

Da questa schermata è inoltre possibile:

- Accedere alla schermata per calcolo di FACIT-Fatigue.
- Accedere alla schermata per la generazione del report.
- Effettuare il Logout.

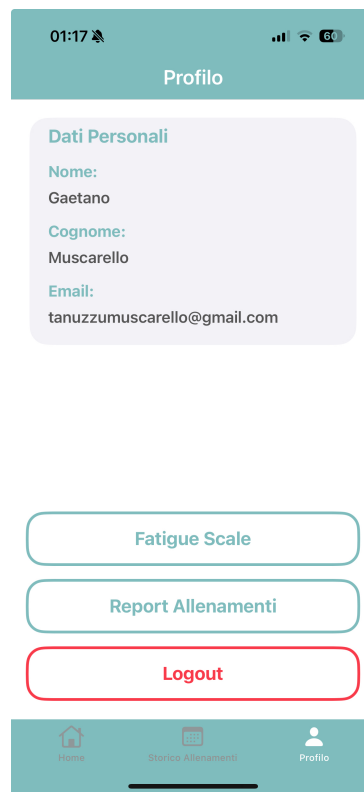


Figura 2.8: Schermata Profilo

2.3.7 Schermata Report Allenamento

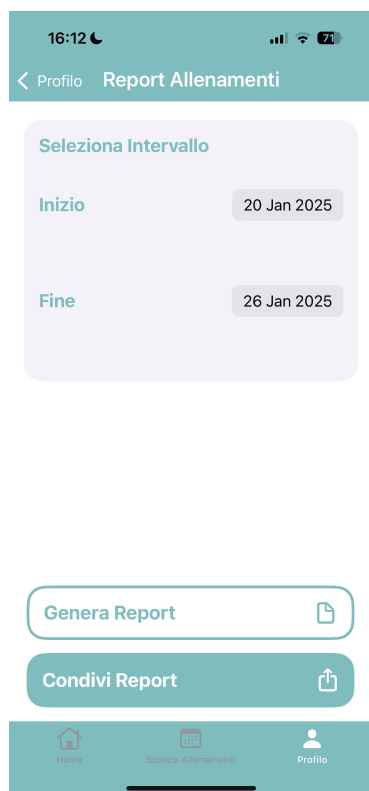


Figura 2.9: Generazione Report

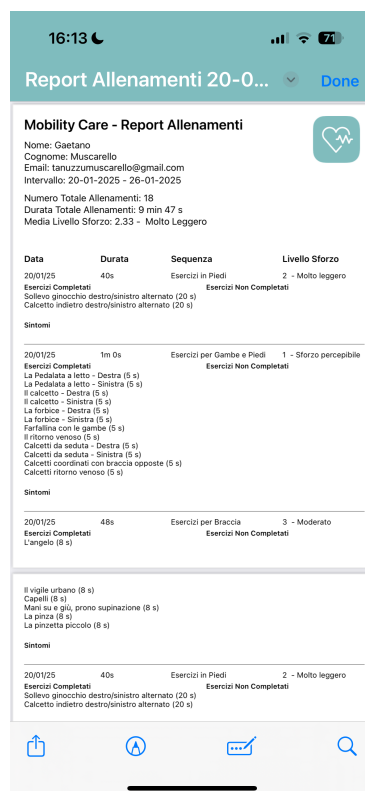


Figura 2.10: Report

Accedendo alla schermata dedicata alla generazione del report, l'utente può selezionare un intervallo temporale tramite un Date Picker. Il sistema consente di impostare come data iniziale quella corrispondente al primo allenamento registrato, mentre la data finale deve essere successiva alla prima, per rispettare l'ordine cronologico.

Una volta selezionato l'intervallo desiderato, l'app genera automaticamente un report in formato PDF contenente il riepilogo di tutte le sessioni di allenamento svolte nell'intervallo selezionato. Il documento può essere salvato sul dispositivo o condiviso con il personale medico attraverso qualsiasi forma di condivisione supportata (ad esempio email, messaggi, AirDrop, WhatsApp, ecc.).

All'interno del documento vengono riportati:

- Dati personali dell'utente
- Intervallo di date selezionato
- Numero totale di allenamenti svolti nel periodo in questione
- Durata totale di allenamento
- Media Livello Sforzo
- Lista completa degli allenamenti svolti

Per ogni allenamento vengono riportati:

- Data
- Durata
- Sequenza Svolta
- Livello Sforzo
- Esercizi completati, con il tempo dedicato ad ogni esercizio
- Esercizi non completati, con il tempo necessario per portare a termine ogni esercizio
- Eventuali sintomi riscontrati durante l'allenamento.

2.3.8 Schermata FACIT-Fatigue

Accedendo alla schermata dedicata al calcolo del livello di fatica, l'utente può visualizzare i risultati del questionario FACIT-Fatigue. I dati vengono mostrati in tre momenti specifici: il primo valore, detto T0, viene calcolato con il questionario iniziale, obbligatoriamente compilato al primo accesso all'app, prima dell'inizio di qualsiasi allenamento. Il secondo valore, T1, corrisponde alla compilazione del questionario disponibile dopo tre mesi dalla prima. Infine, T2 rappresenta il risultato del terzo questionario, accessibile dopo sei mesi dalla compilazione iniziale.

Per ciascuna compilazione viene indicata la data in cui è stato effettuato il questionario, insieme al valore numerico risultante, calcolato sulla base delle risposte fornite. La schermata include inoltre un pulsante per accedere alla compilazione del questionario, che rimane disabilitato nei periodi intermedi, evitando così la sovrascrittura dei dati già registrati e garantendo un corretto monitoraggio del livello di fatica del paziente.



Figura 2.11: Schermata Fatigue Scale

2.4 Integrazione con Apple Watch

Al fine di supportare un monitoraggio più accurato delle sessioni di allenamento, è stata sviluppata un'integrazione tra l'app iOS e Apple Watch, in grado di raccogliere in tempo reali i dati biometrici dell'utente.

2.4.1 Finalità

L'integrazione è stata realizzata principalmente per raccogliere il maggior numero possibile di dati fisiologici durante l'utilizzo dell'applicazione, con l'obiettivo di valutare eventuali correlazioni tra i parametri rilevati e l'andamento clinico o riabilitativo dell'utente.

In particolare, la raccolta automatica dei dati come la frequenza cardiaca, calorie consumate e durata dell'allenamento permette di affiancare alla valutazione soggettiva dello sforzo (Scala di Borg) un riscontro oggettivo, utile per monitorare con una precisione maggiore l'evoluzione dello stato fisico del paziente nel tempo.

2.4.2 Struttura architetturale

L'integrazione è basata su due moduli distinti:

- l'applicazione iOS principale, installa su iPhone;
- un'estensione dedicata su watchOS, installata manualmente sull'Apple Watch.

I due moduli comunicano tra loro tramite il framework *WatchConnectivity* che gestisce lo scambio dei comandi e dei dati in tempo reale tra i due dispositivi.

2.4.3 Funzionamento

A causa delle limitazioni imposte dal sistema operativo iOS, non è stato possibile avviare automaticamente l'applicazione su Apple Watch tramite un comando inviato dall'iPhone. Per questo motivo l'utente dovrà aprire l'app manualmente sull'orologio prima di iniziare l'allenamento, nel caso in cui desideri la registrazione dei dati fisiologici.

Una volta aperte entrambe le applicazioni, l'utente può avviare l'allenamento direttamente dal proprio iPhone. A seguito di questo comando, viene stabilita una connessione con l'Apple Watch, che avvia la registrazione dei parametri in tempo reale.

Durante lo svolgimento degli esercizi, Apple Watch raccoglie in modo continuo i dati biometrici dell'utente. Al termine della sessione, un segnale inviato tramite iPhone comunica all'orologio la conclusione dell'allenamento, interrompendo il monitoraggio e permettendo il salvataggio dei dati sia all'interno dell'app Salute sia all'interno dell'app Fitness del dispositivo.

Il modulo sviluppato per watchOS opera in parallelo rispetto all'applicazione principale, senza richiedere ulteriori interazioni da parte dell'utente durante la sessione di allenamento. L'applicazione su iPhone rimane il centro di controllo principale dell'intera esperienza, gestendo l'avvio, la durata e la conclusione delle sessioni, oltre alla visualizzazione e all'elaborazione dei dati raccolti.

Dati raccolti

Durante ogni sessione di allenamento, vengono acquisiti in automatico i seguenti parametri biometrici:

- Frequenza Cardiaca
- Durata dell'allenamento
- Calorie bruciate, suddivise in calorie totale e calorie attive, stimate in base all'intensità dello sforzo.

Le calorie attive rappresentano il dispendio energetico attribuito esclusivamente all'attività fisica svolta durante la sessione. Le calorie totali, invece, includono anche il dispendio calorico derivante dalle attività quotidiane svolte fino a quel momento, fornendo una stima complessiva delle calorie consumate dall'utente fino al termine della sessione.



Figura 2.12: Dettagli Allenamento



Figura 2.13: Media Battito

2.5 Schema E-R

Lo schema E-R offre una chiara panoramica delle entità e delle relazioni che si hanno all'interno dell'applicazione, illustrando il modo in cui l'utente interagisce con l'applicazione.

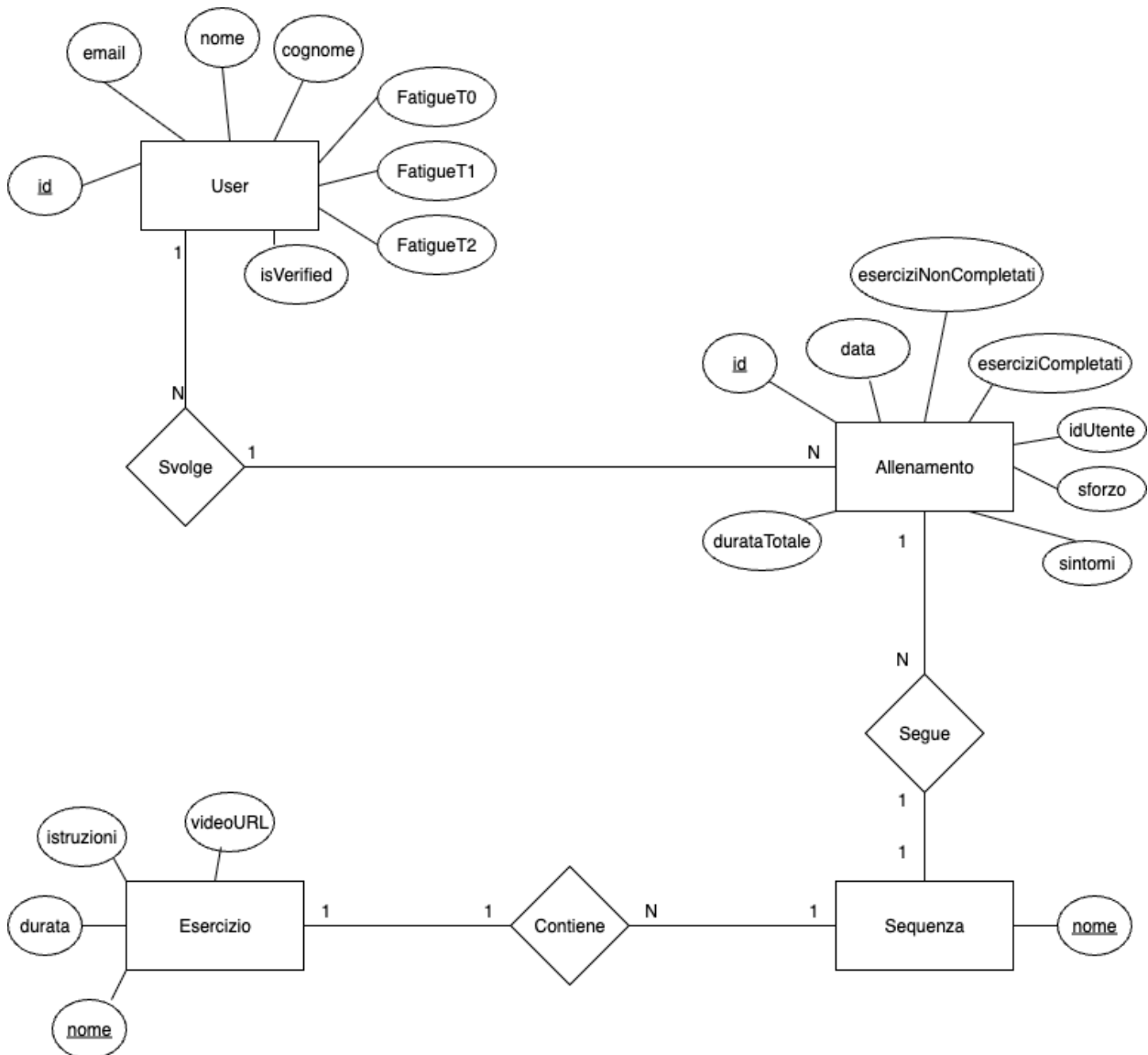


Figura 2.14: Schema E-R

Capitolo 3

Implementazione

Lo sviluppo è stato guidato da una serie di scelte progettuali mirate a garantire un'applicazione efficiente, intuitiva e in grado di soddisfare le richieste del paziente.

3.1 Scelte Implementative

Vista l'esigenza del paziente, in possesso di un dispositivo Apple, l'applicazione è stata sviluppata con Swift all'interno dell'ambiente Xcode, l'IDE ufficiale di Apple, in modo da sfruttare a pieno le tecnologie native per iOS.

3.1.1 Interfaccia Utente

L'interfaccia grafica è stata realizzata, come accennato nel precedente capitolo, combinando UIKit e SwiftUI, sfruttando i punti di forza di entrambi i framework.

- **UIKit**: è stato realizzato per la costruzione delle schermate dell'applicazione, per via del controllo e della personalizzazione che lo *Storyboard* e l'*Interface Builder* offrono sull'interfaccia grafica.
- **SwiftUI**: utilizzato per la gestione di alcuni elementi in particolare, come il timer e i grafici (utilizzando la libreria *Charts*, grazie alla com-

pletezza e all'ottimizzazione delle librerie Apple dedicate alla creazione di interfacce dinamiche.

Successivamente, l'integrazione tra i due framework è stata gestita tramite *UIHostingController*, che ha permesso di incorporare le viste realizzate attraverso SwiftUI all'interno di *UIViewController*.

3.1.2 Architettura e Design Pattern

L'app segue l'architettura *Model-View-Controller (MVC)*, separando la logica di business dall'interfaccia utente. Inoltre, al fine di migliorare la modularità, sono stati implementati anche dei *Manager*, che centralizzano alcune funzioni dell'app, evitando di appesantire i *ViewController* e facilitando un'eventuale revisione del codice. Tra questi si hanno:

- **AllenamentoManager**: gestisce il flusso degli allenamenti, controllando la sequenza degli esercizi e registrando gli esercizi completati e quelli non completati.
- **NotificationManager**: controlla la programmazione e la gestione delle notifiche, in modo da garantire l'aderenza al programma d'allenamento.
- **AudioManager**: gestisce la riproduzione degli avvisi e dei suoni, indicando la fine del timer tra un esercizio e l'altro.
- **HealthKitManager**: si interfaccia con HealthKit per il salvataggio dei dati biometrici.
- **SessionManager**: gestisce la comunicazione tra iPhone e Apple Watch, inviando i comandi di avvio e fine allenamento.

3.1.3 Gestione delle Notifiche e dell'Audio

Per garantire la massima aderenza al programma di allenamento è stato progettato un sistema di notifiche che ricordi all'utente, attraverso delle notifiche programmate, di svolgere una sessione di allenamento o di completare tutte le sessioni lasciate incomplete. L'applicazione è stata anche progettata affinché possa essere utilizzata anche in assenza di interazione visiva costante con il dispositivo. È stato implementato un sistema di gestione audio che guida l'utente durante tutta la sessione, annunciando l'esercizio in corso e la sua durata, indicando il tempo rimanente, e segnalando l'inizio della pausa e l'avvio dell'esercizio successivo. Per l'implementazione delle funzionalità appena descritte, sono state utilizzate le seguenti librerie:

- ***UserNotifications***: gestisce le notifiche locali, permettendo all'utente di ricevere promemoria sugli allenamenti e sulle sequenze interrotte.
- ***AVFoundation***: gestisce l'audio, include la sintesi vocale per gli avvisi e la riproduzione dei suoni che indicano la fine del timer.

3.1.4 Ottimizzazione dell'esperienza utente

L'interfaccia è stata pensata per essere semplice e intuitiva, facilitando l'accesso alle funzioni principali con il minimo sforzo.

Per garantire un'interazione agevole, l'app include:

- Bottoni di grandi dimensioni
- Colori differenti per ogni sequenza, in modo da aiutare l'utente nel distinguerle. Ogni sequenza è identificata da un colore differente ripreso sia all'interno dei grafici che all'interno della schermata di allenamento.

3.1.5 Struttura della Navigazione

La navigazione all'interno dell'applicazione è gestita interamente attraverso lo *Storyboard*. I meccanismi di navigazione utilizzati sono:

- **Navigation Controller:** utilizzato per gestire le transizioni tra le schermate correlate.
- **Tab Bar Controller:** permette all'utente di navigare rapidamente tra le tre sezioni principali dell'applicazione - Home, Storico e Profilo - ciascuna gestita all'interno di un Navigation Controller.

3.1.6 Divisione e Struttura del codice

Il progetto presenta la seguente struttura:

- Cartella **App**: contiene i file Delegate responsabili dell'inizializzazione e della gestione dell'intero ciclo di vita dell'applicazione.
- Cartella **Controller**: contiene tutti i ViewController, ovvero le classi responsabili della gestione della logica e dell'interazione delle diverse schermate dell'applicazione. Ogni ViewController è associato a una specifica schermata dello Storyboard, in modo da facilitare il collegamento tra gli elementi a schermo e il codice.
- Cartella **Manager**: contiene classi che gestiscono le funzionalità specifiche dell'applicazione.
- Cartella **Model**: contiene classi e strutture dati che rappresentano gli elementi fondamentali dell'applicazione.
- Cartella **View**: contiene tutti gli elementi relativi all'interfaccia utente.

3.1.7 Limiti riscontrati

Nonostante i numerosi vantaggi offerti dallo sviluppo nativo su iOS tramite Swift, durante la realizzazione del progetto sono emerse alcune criticità.

1. Comunicazione con Apple Watch non automatizzabile

Una delle principali limitazioni riscontrate riguarda l'impossibilità, imposta da Apple, di avviare automaticamente l'applicazione su Apple Watch.

2. Debug e testing su Apple Watch

Durante la fase di test, si sono verificati problemi di collegamento tra Xcode e Apple Watch. L'orologio, non può essere collegato via cavo al computer, motivo per cui il collegamento avviene soltanto tramite l'iPhone collegato ad Xcode. In alcuni casi, il Watch non veniva riconosciuto come paired, o risultava non raggiungibile anche a connessione avvenuta.

3. Scarsa retrocompatibilità del linguaggio Swift

Swift è un linguaggio in continua evoluzione, e le versioni più datate possono diventare obsolete. Questo implica che, con aggiornamenti di Xcode, alcune porzioni di codice potrebbero più non essere compatibili e di conseguenza non funzionare, costringendo a refactoring del codice non pianificati.

3.2 Dettagli implementativi integrazione con Apple Watch

A differenza delle funzionalità dell'applicazione iOS, che si concentrano sulla gestione dell'interfaccia grafica e dell'esperienza utente, l'estensione watchOS è delegata esclusivamente alle rilevazioni dei dati biometrici.

In questa sezione vengono descritti i dettagli implementativi dell'integrazione, con particolare focus sull'architettura tecnica, i meccanismi di comunicazione tra iPhone e Apple Watch, la gestione delle sessioni di allenamento e le modalità di salvataggio dei dati. Inoltre, vengono discusse le possibili evoluzioni future del sistema.

3.2.1 Architettura della comunicazione

La comunicazione tra l'applicazione e l'Apple Watch, come accennato nel secondo capitolo, è stata implementata tramite il framework **WatchConnectivity**.

I componenti principali coinvolti sono **SessionManager** (su iOS) e **WatchSessionManager** (su WatchOS).

Lato iOS - Invio comandi da SessionManager

Attraverso il metodo `'sendStartWorkout(type:)'` viene inviato il messaggio di inizio allenamento, eseguendo fino a 5 tentativi di connessione se l'orologio non è collegato.

Listing 3.1: Invio del comando di inizio allenamento

```
1 func sendStartWorkout(type: String, retryCount: Int = 0) {  
2     if session.activationState != .activated {  
3         print("WCSession non attiva, attendo...")  
4         pendingStartWorkout = type  
5         return  
6     }  
7  
8     print("session.isReachable = \(session.isReachable)")  
9  
10    if session.isReachable {  
11        session.sendMessage(["startWorkout": type], replyHandler: nil) {  
12            error in  
13                print("Errore invio startWorkout:  
14                \(error.localizedDescription)")  
15            }  
16        } else if retryCount < 5 {  
17            print("Watch non raggiungibile. Ritento \(retryCount + 1)...")  
18            DispatchQueue.main.asyncAfter(deadline: .now() + 2) {  
19                self.sendStartWorkout(type: type, retryCount: retryCount + 1)  
20            }  
21        } else {  
22            print("Impossibile contattare il Watch dopo 5 tentativi.")  
23        }  
24    }  
25 }
```

Invece, per terminare l'allenamento viene inviato un semplice messaggio booleano.

Listing 3.2: Invio del comando di fine allenamento

```
1 func sendEndWorkout() {
2     if session.isReachable {
3         session.sendMessage(["endWorkout": true], replyHandler: nil) {
4             error in
5                 print("Errore invio endWorkout:
6                 \\(error.localizedDescription)")
7             }
8         } else {
9             print("Watch non raggiungibile")
10        }
11    }
12 }
```

Lato WatchOS - Ricezione comandi (WatchSessionManager)

Il metodo 'didReceiveMessage' intercetta i comandi provenienti dall'i-Phone e li inoltra al componente 'WorkoutWatch', responsabile dell'effettiva gestione.

Listing 3.3: Ricezione comando

```
1 func session(_ session: WCSSession, didReceiveMessage message: [String :
2     Any]) {
3     print("Messaggio ricevuto: \(message)")
4     if let tipo = message["startWorkout"] as? String {
5         DispatchQueue.main.async {
6             WorkoutWatch.shared.startWorkout(ofType: tipo)
7         }
8     }
9     if message["endWorkout"] as? Bool == true {
10        DispatchQueue.main.async {
11            WorkoutWatch.shared.endWorkout()
12        }
13    }
14 }
```

3.2.2 Gestione della sessione di allenamento su Apple Watch

L'intera logica di monitoraggio è gestita, lato WatchOS, dalla classe `'WorkoutWatch'`. Essa, attraverso HealthKit, si occupa della configurazione, avvio, raccolta e salvataggio dei dati biometrici. Le due funzioni principali sono `'startWorkout(ofType:)'`, che avvia la sessione, e `'endWorkout'`, che ne gestisce la conclusione e la successiva scrittura su HealthKit.

Avvio della sessione

Il metodo `'startWorkout(ofType:)'` riceve una stringa corrispondente al tipo di attività selezionata su iPhone. Questa viene poi convertita in un `'HKWorkoutActivityType'` tramite un enum interno, per poi configurare e iniziare una session con `'HKWorkoutSession'`.

Il relativo codice è riportato nella pagina successiva.

Listing 3.4: Avvio della sessione di allenamento

```
1 func startWorkout(ofType typeString: String) {
2     guard let type = WorkoutType(rawValue: typeString) else {
3         print("Tipo di allenamento non valido: \(typeString)")
4         return
5     }
6     let config = HKWorkoutConfiguration()
7     config.activityType = type.hkType
8     config.locationType = .indoor
9     let dataSource = HKLiveWorkoutDataSource(healthStore: healthStore,
10 workoutConfiguration: config)
11 self.dataSource = dataSource; builder?.dataSource = dataSource
12 do {
13     session = try HKWorkoutSession(healthStore: healthStore,
14 configuration: config)
15     builder = session?.associatedWorkoutBuilder()
16     builder?.dataSource = HKLiveWorkoutDataSource(healthStore:
17 healthStore, workoutConfiguration: config)
18     session?.startActivity(with: Date())
19     isWorkoutRunning = true
20     builder?.beginCollection(withStart: Date()) { success, error in
21 if success {
22     print("Workout '\(type.rawValue)' avviato su Apple Watch")
23 } else {
24     print("Errore in beginCollection:
25 \((error?.localizedDescription ?? "Nessuno")")
26     }}
27 } catch {
28     print("Errore creazione workout: \((error.localizedDescription)")
29 }
30 }
```

Terminazione della sessione

Il metodo `'endWorkout()'` chiude la sessione e termina la raccolta, salvando il workout.

Listing 3.5: Chiusura della sessione di allenamento

```
1 func endWorkout() {  
2     guard isWorkoutRunning else { return }  
3     isWorkoutRunning = false  
4     guard let builder = builder else { return }  
5  
6     session?.end()  
7     self.session = nil  
8  
9     builder.endCollection(withEnd: Date()) { _, _ in  
10         builder.finishWorkout { workout, error in  
11             if let workout = workout {  
12                 print("Workout completato e salvato su HealthKit:  
13                 \ \(workout)")  
14                 } else {  
15                     print("Errore salvataggio workout:  
16                     \ \(error?.localizedDescription ?? "Sconosciuto")")  
17                 }  
18                 self.builder = nil  
19                 self.dataSource = nil  
20             }  
19         }  
20     }
```

Grazie a questi due comandi, la componente Watch è in grado di trasformare un semplice comando ricevuto in un processo completo di monitoraggio e salvataggio dei dati biometrici.

3.3 Evoluzioni possibili e sviluppi futuri

L'attuale integrazione tra iPhone ed Apple Watch, come mostrato nelle sezioni precedenti, segue un'architettura per cui l'applicazione iOS svolge un ruolo principale, mentre il modulo WatchOS è adibito esclusivamente alla raccolta dei dati biometrici. Una possibile evoluzione del progetto potrebbe essere lo sviluppo di un'applicazione standalone per Apple Watch, da cui si potrebbero avviare le sequenze di allenamento.

Pur non includendo tutte le funzionalità offerte dall'app iOS (come la visualizzazione dei grafici o la compilazione dei questionari), l'applicazione standalone potrebbe offrire un'interfaccia grafica semplificata per:

- Visualizzare le sequenze disponibili
- Avviare e concludere un allenamento
- Salvare i dati biometrici

Gli allenamenti eseguiti attraverso l'orologio verrebbero associati allo stesso account Firebase utilizzato sull'iPhone, così da permettere all'utente di usufruire di tutte le funzionalità che offre l'applicazione iOS.

Un'altra possibile evoluzione riguarda l'introduzione di un sistema per la creazione di sequenze di allenamento personalizzate. Tale funzionalità consentirebbe all'utente, o al personale sanitario, di configurare nuovi programmi impostando la durata di ogni esercizio e le relative pause, salvando le sequenze per un uso ricorrente.

Questa introduzione renderebbe l'applicazione altamente adattabile alle esigenze del singolo paziente, favorendo la costruzione di percorsi riabilitativi su misura.

Capitolo 4

Esperimenti e Risultati

In questo capitolo vengono presentati i dati raccolti durante il periodo di osservazione e gli esperimenti condotti.

Lo scopo principale di questa parte del lavoro è analizzare l'effetto dell'attività fisica sull'andamento della glicemia del paziente.

4.1 Motivazione dell'osservazione dei dati glicemici

Il motivo per cui si osservano i dati relativi alla glicemia è legato al fenomeno della "glicolisi aerobica", noto come "Effetto Warburg", cioè un metabolismo anomalo del glucosio tipico delle cellule del glioma.

Attraverso questo processo le cellule tumorali riescono a ricavare energia prevalentemente dalla glicolisi anche in presenza di ossigeno, contribuendo all'accumulo di lattato e alla modifica del microambiente tumorale, fattori associati alla crescita e alla conseguente aggressività del tumore.[13] A seguito di questi studi, si può ipotizzare che livelli bassi di glucosio nel sangue rallentino la crescita del tumore, riducendo la principale fonte di energia delle cellule tumorali. Per questo motivo lo scopo di questo lavoro è verificare l'incidenza dell'attività fisica sui livelli di glucosio.

4.2 Premessa metodologica

Prima di procedere con l'analisi dei dati, è opportuno evidenziare alcune limitazioni che hanno influenzato la quantità e la qualità delle osservazioni disponibili.

I dati raccolti, a causa di diversi fattori, coprono un arco temporale relativamente breve e sono numericamente limitati. In primo luogo, l'utente coinvolto non ha potuto svolgere un numero elevato di sessioni di allenamento per via degli impegni personali e lavorativi.

In secondo luogo, vi sono state delle restrizioni di tipo tecnico legate alla fase di testing. In particolare, la mancanza di un account Apple Developer ha reso impossibile l'installazione definitiva dell'applicazione sul dispositivo dell'utente, in quanto il sistema iOS richiede obbligatoriamente la sottoscrizione al programma Apple Developer per la pubblicazione e la distribuzione privata delle applicazioni. Per ovviare a questa limitazione, è stato necessario eseguire manualmente l'installazione mediante l'ambiente di sviluppo Xcode, recandosi ogni settimana presso il domicilio del paziente interessato, riducendo quindi la continuità dell'uso dell'app.

Tali circostanze hanno influenzato il volume dei dati raccolti durante il periodo di testing, limitando l'affidabilità statistica delle analisi condotte di seguito.

I risultati riportati devono quindi essere interpretati con estrema cautela, in quanto influenzati da vincoli operativi e da un numero limitato di osservazioni. Tuttavia, rappresentano un primo passo verso la validazione dell'approccio proposto, offrendo una base per futuri approfondimenti.

4.3 Obiettivi e metodologia dell'analisi

La misurazione della glicemia è stata svolta in autonomia dalla paziente, tramite lo strumento "Glucofix sensor", due volte al giorno prima dei pasti. L'obiettivo di questa parte del lavoro è quello di verificare una possibile relazione tra i livelli di glicemia e l'attività fisica svolta.

Inizialmente è stata condotta un'analisi descrittiva dei valori di glicemia rilevati al mattino, confrontando due gruppi distinti: i giorni successi ad almeno un allenamento, e i giorni non preceduti da alcun allenamento. Per ciascun gruppo sono stati calcolati la media, la mediana e la deviazione standard, con lo scopo di osservare eventuali differenze nella distribuzione dei dati. Lo stesso approccio è stato adottato anche per la glicemia serale, ma il numero ridotto di misurazioni disponibili ha limitato l'affidabilità dell'analisi. Successivamente è stato effettuato un test statistico (t-test) per verificare l'eventuale presenza di differenze statisticamente significative nei valori di glicemia mattutina tra i giorni successivi ad allenamento e quelli preceduti da alcuna attività.

Infine, è stata analizzata la correlazione tra la glicemia mattutina e i parametri relativi agli allenamenti effettuati il giorno precedente, prendendo in considerazione le kilocalorie attive, le kilocalorie totali e la frequenza cardiaca media registrata durante la sessione. Era stata ipotizzata anche una correlazione tra glicemia serale e allenamento pomeridiano, ma i dati raccolti si sono rivelati insufficienti, in quanto le giornate con almeno un allenamento e una misurazione serale valida sono risultate troppo poche per consentire un'analisi statisticamente affidabile. I risultati delle analisi sono riportati nelle sezioni successive del presente capitolo.

Le misurazioni sono state effettuate a partire dall' 11/06/2025 e sono terminate in data 30/06/2025. I valori sono stati inseriti all'interno di un dataset, di seguito riportato.

Tabella 4.1: Valori glicemia

Data	Glicemia Mattina	Glicemia Sera
11/06/2025	96	NaN
12/06/2025	89	NaN
13/06/2025	89	NaN
14/06/2025	94	86
15/06/2025	79	86
16/06/2025	95	87
17/06/2025	86	NaN
18/06/2025	93	NaN
19/06/2025	99	84
20/06/2025	94	100
21/06/2025	90	109
22/06/2025	95	NaN
23/06/2025	NaN	NaN
24/06/2025	89	81
25/06/2025	86	87
26/06/2025	89	NaN
27/06/2025	NaN	NaN
28/06/2025	85	99
29/06/2025	83	100
30/06/2025	93	NaN

Tabella 4.2: Dati degli allenamenti

Data	Durata	Kcal attive	Kcal totali	FC Media
12/06/2025	0:24:27	20	52	104
13/06/2025	0:21:45	98	129	91
13/06/2025	0:03:33	1	7	70
15/06/2025	0:05:00	0	0	96
15/06/2025	0:15:56	72	95	85
15/06/2025	0:27:43	0	0	77
15/06/2025	0:13:15	0	0	82
15/06/2025	0:04:15	0	0	95
15/06/2025	0:39:07	28	95	87
17/06/2025	0:09:37	10	26	93
17/06/2025	0:13:47	59	81	87
18/06/2025	0:13:05	58	77	86
20/06/2025	0:10:53	47	64	93
20/06/2025	0:51:20	232	306	86
26/06/2025	0:09:17	40	54	93
27/06/2025	0:05:46	24	34	101
29/06/2025	0:04:11	18	25	99
29/06/2025	0:03:40	15	20	100

4.4 Analisi descrittiva dei livelli glicemici

Prima di procedere all'analisi dei dati, il dataset è stato suddiviso in due sottogruppi: il primo contenente i giorni in cui è stato svolto almeno un allenamento, associati al valore di glicemia rilevato la mattina successiva; il secondo riporta i giorni in cui non stati allenamenti, associati al valore di glicemia rilevato la mattina successiva

Tabella 4.3: Glicemia - 1+ allenamenti

Data	Numero di allenamenti	Glicemia mattina*
12/06	1	89
13/06	2	94
15/06	6	95
17/06	2	93
18/06	1	99
20/06	2	90
26/06	1	NaN
27/06	1	85
29/06	2	93

**Il valore di glicemia è riferito al mattino seguente, non al giorno in cui è stato svolto l'allenamento.*

Nel caso in cui si hanno 1 o più allenamenti effettuati all'interno della stessa giornata, si ottengono i seguenti valori:

- **Media:** 92,25
- **Mediana:** 93
- **Deviazione Standard:** 4,234214382

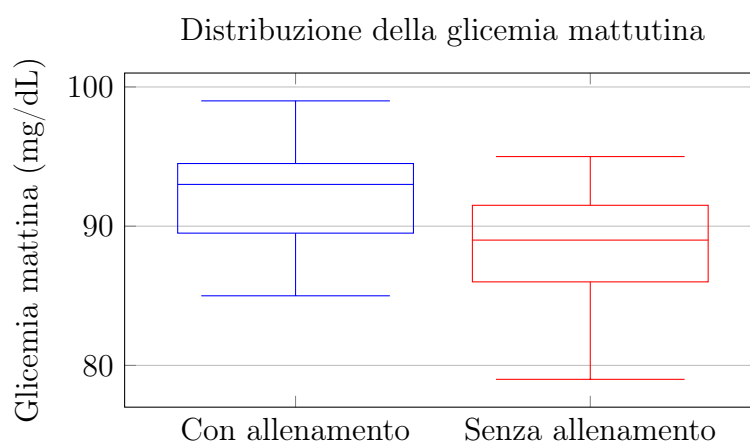
Tabella 4.4: Glicemia - 0 allenamenti

Data	Glicemia mattina*
11/06	96
14/06	94
16/06	95
19/06	99
21/06	90
22/06	95
23/06	NaN
24/06	89
25/06	86
28/06	85
30/06	93

**Il valore di glicemia è riferito al mattino seguente, non al giorno in cui è stato svolto l'allenamento.*

Invece, nel caso in cui non si ha alcun allenamento nell'intera giornata, si sono registrati i seguenti valori:

- **Media:** 87,77777778
- **Mediana:** 89
- **Deviazione Standard:** 5,019406782



**Il valore di glicemia è riferito al mattino seguente, non al giorno in cui è stato svolto l'allenamento.*

Dall'analisi dei dati emerge una tendenza a valori glicemici leggermente più elevati nei giorni successivi ad un allenamento.

In particolare, la mediana della glicemia risulta pari a **93 mg/dL** dopo una giornata di allenamento, rispetto a **89 mg/dL** nei giorni non preceduti da attività fisica. La media segue lo stesso andamento, si ha un valore pari a **92,25 mg/dL** dopo l'allenamento contro **87,77 mg/dL** nei giorni non preceduti da allenamento. Inoltre, le deviazioni standard ci indicano una variabilità simile tra i due gruppi.

Tuttavia, è importante sottolineare che il numero di osservazioni disponibili è piuttosto limitato, e ciò impone ***estrema cautela nell'interpretazione dei risultati***. La tendenza osservata potrebbe essere influenzata da variabili non controllate.

Inoltre, per verificare se la differenza osservata sia statisticamente significativa, è stato effettuato un t-test, i cui risultati sono riportati di seguito.

4.4.1 T-test

Il t-test permette di confrontare le medie di due gruppi e determinare se la differenza riscontrata possa essere attribuita al caso o ad un effetto sistematico.

Nel caso specifico, sono stati confrontati i valori di glicemia mattutina nei giorni successivi ad almeno un allenamento con quelli dei giorni non preceduti da alcuna attività fisica. Il test ha restituito un *p-value* pari a **0,065**, un valore prossimo alla soglia di significatività statistica ($p < 0.05$).

Pur non potendo sostenere con certezza la presenza di una differenza statisticamente significativa, il risultato sembra indicare una tendenza potenzialmente rilevante, che potrebbe ovviamente assumere maggiore solidità in presenza di un campione di dati più ampi e di un periodo di osservazione esteso.

Il risultato è in linea con quanto mostrato nell'analisi descrittiva, in cui si è osservato che i valori glicemici tendono ad aumentare nei giorni successivi ad un allenamento. Per poter affermare con certezza quanto evidenziato bisognerebbe considerare molteplici fattori individuali e temporali nel valutare gli effetti metabolici dell'esercizio fisico.

4.5 Correlazione glicemia mattutina e allenamento del giorno precedente

Per analizzare la possibile relazione tra l'attività fisica svolta e i livelli di glicemia del mattino successivo, è stata effettuata una verifica della correlazione utilizzando il coefficiente di Pearson:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

L'indice di Pearson permette di misurare la forza e la relazione lineare tra due variabili quantitative e il suo valore può variare tra -1 e +1. Valori prossimi a -1 indicano una correlazione negativa forte, valori prossimi a +1 indicano una correlazione positiva forte, mentre invece valori prossimi allo zero suggeriscono l'assenza di relazione lineare.

L'obiettivo di questa analisi è quello di verificare se esiste un legame tra l'intensità dell'allenamento effettuato e i valori glicemici registrati il giorno seguente.

Per ciascun giorno in cui è stato svolto un allenamento, sono stati considerati i seguenti parametri:

- kilocalorie attive
- kilocalorie totali
- frequenza cardiaca media

Nel caso in cui, in una singola giornata, siano stati svolti più allenamenti, i dati relativi sono stati aggregati per ottenere un valore unico per ciascun parametro. In particolare:

- le kilocalorie attive e le kilocalorie totali sono state ottenute calcolando la somma dei valori riportati in ciascuna sessione di allenamento
- la frequenza cardiaca media è stata ottenuta come media aritmetica delle frequenze medie rilevate durante ciascuna sessione di allenamento effettuata nella medesima giornata.

4.5 Correlazione glicemia mattutina e allenamento del giorno precedente

55

Il dataset ottenuto è stato il seguente:

Tabella 4.5: Parametri degli allenamenti e glicemia mattutina del giorno successivo

Data	Kcal attive	Kcal totali	FC media	Glicemia*
12/06	20	52	104	89
13/06	99	136	80,5	94
15/06	100	190	87	95
17/06	69	107	90	93
18/06	58	77	86	99
20/06	279	370	89,5	90
26/06	40	54	93	NaN
27/06	24	34	101	85
29/06	33	45	99,5	93

*** il valore di glicemia è riferito al valore registrato la mattina successiva all'allenamento.**

I risultati ottenuti sono i seguenti:

Kcal attive	Kcal totali	Frequenza cardiaca media
0,01982176316	0,04426186138	-0,6848738982

Come si può osservare, la correlazione tra i valori glicemici e le kilocalorie risulta essere molto bassa, suggerendo l'assenza di una relazione lineare tra il dispendio energetico e i livelli di glicemia.

Diversamente, la frequenza cardiaca media mostra una correlazione negativa di moderata entità con i valori di glicemia rilevati al mattino successivo. Questo dato suggerisce che, all'aumentare dell'intensità dell'allenamento (stimata approssimativamente tramite la frequenza cardiaca) i valori glicemici tendano a diminuire.

È opportuno però sottolineare un limite metodologico, avrebbe avuto una maggior coerenza fisiologica analizzare la correlazione tra la frequenza cardiaca media e la glicemia serale dello stesso giorno. Tuttavia, il numero di

misurazioni serali si è rilevato insufficiente per fornire un'analisi statisticamente affidabile. Per questo motivo, si è scelto di utilizzare i valori di glicemia del mattino successivo. Tale scelta, introduce una maggiore distanza temporale tra l'allenamento e il momento della misurazione, aumentando la probabilità che fattori non controllati, come ad esempio la dieta o la qualità del sonno, abbiano influito sui valori rilevati.

Infine, è importante ribadire che i **dati analizzati coprono un arco temporale limitato e includono un numero di osservazioni relativamente contenuto**. Per poter trarre delle conclusioni più solide, sarà necessario estendere il periodo di osservazione, aumentare il numero di sessioni di allenamento giornaliere e introdurre variabili potenzialmente rilevanti per la regolazione glicemica.

Conclusioni

Il progetto di tesi descritto in questo elaborato nasce dall'esigenza concreta di offrire uno strumento digitale utile alla riabilitazione motoria di pazienti affetti da tumore. Il valore di questa iniziativa non è da ricercare nei dati raccolti, ma bensì nell'aver dato risposta concreta a un bisogno spesso trascurato.

Il coinvolgimento di un paziente reale è stato fondamentale a comprendere il potenziale, ma anche i limiti, di questo intervento. È emersa l'importanza di un'interazione semplice e immediata, soprattutto per chi ha poca familiarità con i dispositivi digitali o per chi trova complessa l'interazione con Apple Watch, sfavorita sicuramente dalle dimensioni dello schermo del dispositivo.

Al tempo stesso, il paziente ha evidenziato l'importanza della raccolta dati e del monitoraggio della propria attività fisica che hanno contribuito nel miglioramento della percezione del proprio stato di salute. Funzioni, inizialmente pensate come ininfluenti, come ad esempio la possibilità di ascoltare la musica durante gli allenamenti si sono rilevate fondamentali per aumentare la motivazione e rendere l'attività fisica un'abitudine piacevole.

Rispetto alla versione originale dell'app, l'integrazione con Apple Watch ha rappresentato un significativo passo avanti. Non solo ha permesso di verificare la correlazione tra l'intensità dell'attività con i valori glicemici, ma apre a scenari futuri in cui queste informazioni potranno essere utilizzate anche a supporto della valutazione clinica da parte del personale sanitario.

Questo progetto ha sicuramente mostrato quanto sia essenziale che la tecnologia sia progettata intorno ai bisogni e alle esigenze del paziente, tenendo conto dei suoi ritmi e delle sue difficoltà. Il lavoro svolto costituisce una solida base per sviluppi futuri, ma già da questa prima fase è emerso il potenziale dell'intervento, non solo come strumento tecnologico, ma come dispositivo di accompagnamento alla cura, capace di contrastare in parte la sedentarietà aumentando la percezione di benessere del paziente.

La sfida futura sarà quella di integrare il fattore umano all'interno del processo tecnologico, soltanto così ogni paziente potrà sentirsi davvero accompagnato, non solo nella misurazione dei propri progressi, ma anche nel vissuto quotidiano del percorso terapeutico.

Bibliografia

- [1] Ladislav Batalik, Katerina Chamradova, Petr Winnige, Filip Dosbaba, Katerina Batalikova, Daniela Vlazna, Andrea Janikova, Garyfallia Pepera, Hammada Abu-Odah, and Jing Jing Su. Effect of exercise-based cancer rehabilitation via telehealth: a systematic review and meta-analysis. *BMC Cancer*, 24(1):600, May 2024.
- [2] Sarwar Beg, Mayank Handa, Rahul Shukla, Mahfoozur Rahman, Waheed H. Almalki, Obaid Afzal, and Abdulmalik Saleh Alfawaz Altamimi. Wearable smart devices in cancer diagnosis and remote clinical trial monitoring: Transforming the healthcare applications. *Drug Discovery Today*, 27(10):103314, 2022.
- [3] Gunnar Borg. *Borg’s Perceived Exertion And Pain Scales*. 07 1998.
- [4] Yoon Hwan Byun and Chul-Kee Park. Classification and diagnosis of adult glioma: A scoping review. *Brain Neurorehabilit.*, 15(3):e23, November 2022.
- [5] Jacob G Ellen, Florian W Boele, Bruce Hellman, Kelli Duprey, Lakshmi Nayak, and Jessica Morris. Pilot study of smartphone-based health outcome tracking (OurBrainBank) for glioblastoma patients. *Neurooncol. Pract.*, 8(6):684–690, December 2021.
- [6] FACIT.org. Facit-fatigue scale. <https://www.facit.org/measures/facit-fatigue>, 2025. Accesso: 16 giugno 2025.

-
- [7] Patricia Goncalves Leite Rocco, C Mahony Reategui-Rivera, and Joseph Finkelstein. Telemedicine applications for cancer rehabilitation: Scoping review. *JMIR Cancer*, 10:e56969, Aug 2024.
 - [8] David N Louis, Arie Perry, Pieter Wesseling, Daniel J Brat, Ian A Cree, Dominique Figarella-Branger, Cynthia Hawkins, H K Ng, Stefan M Pfister, Guido Reifenberger, Riccardo Soffietti, Andreas von Deimling, and David W Ellison. The 2021 WHO classification of tumors of the central nervous system: A summary. *Neuro. Oncol.*, 23(8):1231–1251, August 2021.
 - [9] Pavel Palička, Lukáš Jakubec, and Jan Zvoníček. Mobile apps that support physical activities and the potential of these applications in physical education at school, 2016.
 - [10] Sarah Travers and N Scott Litofsky. Daily lifestyle modifications to improve quality of life and survival in glioblastoma: A review. *Brain Sci.*, 11(5):533, April 2021.
 - [11] Winnie M. C. van den Boogaard, Daphne S. J. Komninos, and Wilbert P. Vermeij. Chemotherapy side-effects: Not all dna damage is equal. *Cancers*, 14(3), 2022.
 - [12] Sophie D van der Linden, Margriet M Sitskoorn, Geert-Jan M Rutten, and Karin Gehring. Feasibility of the evidence-based cognitive telerehabilitation program remind for patients with primary brain tumors. *J. Neurooncol.*, 137(3):523–532, May 2018.
 - [13] Guanghui Wu, Yisheng Chen, Chong Chen, Jianling Liu, Qiaowu Wu, Yazhen Zhang, Runqiong Chen, Jianzhong Xiao, Yusheng Su, Haojun Shi, Chunsheng Yu, Miao Wang, Yifan Ouyang, Airong Jiang, Zhengzhou Chen, Xiao Ye, Chengwan Shen, Aikebaier Reheman, Xianjun Li, Ming Liu, and Jiancheng Shen. Role and mechanisms of exercise therapy in enhancing drug treatment for glioma: a review. *Front. Immunol.*, 16:1576283, April 2025.

Ringraziamenti

Al termine di questo percorso, ci tengo a ribadire la mia gratitudine a chi ha permesso il raggiungimento di questo obiettivo.

Un ringraziamento particolare al Professore Federico Montori, per avermi dato la possibilità di svolgere questo lavoro, che mi ha coinvolto con passione durante tutta la sua durata. Lo ringrazio per la disponibilità mostrata in ogni fase del progetto, dimostrando sempre attenzione e grande supporto.

Un sentito grazie alla Professoressa Laura Dallolio e alla sua famiglia, per l'ospitalità e la fiducia mostrate. Il confronto con loro non ha arricchito soltanto il progetto, ma anche me come persona.

Grazie a Daniel, Altea, Anna, Martina, Noemi, Jennifer e Lucia che hanno alleggerito le giornate di lezione con la loro amicizia e con le infinite partite a carte. Li ringrazio per tutte le volte che mi sono stati d'aiuto, senza loro non sarei arrivato a questo traguardo.

A Enzo, cugino e compagno di shopping, immancabile compagnia di questi anni.

A Dorothy, cugina, amica, ma ormai come una sorella. Felice di aver condiviso con lei momenti che, in questi anni, non hanno fatto altro che rafforzare il nostro legame. Grazie.

A Dario, detto ormai Gino. Compagno di banco, amico, coinquilino, gymbro, ma ancor di più: fratello. Presenza costante e sincera, capace di esserci nei momenti belli e, soprattutto, in quelli più difficili. Abbiamo iniziato questo percorso insieme, e saper di poter contare su di lui ha sempre fatto la differenza, motivo per cui gli sono grato. Il bene che gli voglio va oltre le semplici parole.

Grazie alla mia seconda famiglia: i miei amici.

A Filippo, perché ciò che ci lega va oltre ogni parola o definizione. Non è solo amicizia, non è solo fratellanza, è un legame raro, che va oltre il tempo e le circostanze. Ti voglio bene, all'infinito.

A Salvo, l'amico con cui ho costruito il legame più forte negli ultimi anni. Più di un fratello, presente ogni giorno, in ogni momento. So di poter sempre contare su di lui perché sa sempre come esserci, anche a chilometri di distanza. Spero di riuscire a ricambiare quell'affetto incondizionato, che senza rendersi conto, riesce sempre a trasmettermi.

A Giuseppe, l'amico sincero, schietto, ironico e divertente, quello che sa sempre trovare le parole giuste quando servono. Anche se siamo molto diversi, il nostro legame è cresciuto con il tempo, diventando un qualcosa a cui difficilmente potrei rinunciare. Ti voglio bene, anche se sono sicuro che mi dirai che lo sai già.

A Dario A. , il mio amico più giovane.

A Litterio, il "brooo".

Ad Alessio C, il mio dottore.

Ad Alessio A, amico da sempre.

A Lorenzo, la sua persona.

Grazie a tutti loro, con cui in questi anni ho condiviso viaggi, vacanze e momenti preziosi. Grazie perché ci sono sempre stati, e perché ogni mio ritorno è stato accolto con gioia, facendomi sentire più che a casa.

Alle mie nonne, Carolina e Dia, esempi di dolcezza, forza, generosità e amore nei miei confronti. A nonna Dia, che con la sua presenza discreta e piena d'amore, ha saputo trasmettere affetto in ogni gesto. A nonna Carolina, un ringraziamento speciale: insieme a mio nonno, con il loro sostegno hanno reso possibile questo traguardo. Ma soprattutto grazie per l'affetto costante. A entrambe va la mia più profonda gratitudine.

A Carola, che ha saputo esserci quando ne avevo più bisogno. Per lei spero di riuscire a fare altrettanto. A lei auguro di raggiungere ogni suo obiettivo, anche se non alcun dubbio sul fatto che riuscirà.

A Mamma e Papà,
questo percorso è iniziato con tante difficoltà, un qualcosa di nuovo per tutti noi. Ci siete sempre stati, in ogni momento. Mi avete sempre supportato, avete sempre fatto il tifo per me, e vi siete spesi ogni giorno con amore e sacrificio affinché non mi mancasse nulla. Siete stati la mia forza (a volte anche il mio stress, ciao mamma <3), e senza di voi oggi non sarei qui a festeggiare questo traguardo, che considero tanto mio quanto vostro. Perché ogni sacrificio, ogni gesto, l'amore che inconsciamente mi avete dato, vive in questo risultato. Grazie, vi voglio bene

E infine un pensiero ai miei nonni, Gaetano e Vincenzo. A loro ho voluto dedicare questo percorso, segnato a fondo dalla loro scomparsa. Nonostante tutto non credo di averli mai persi, perché si dice che perdiamo le persone soltanto quando le dimentichiamo, e io non li dimenticherò mai. Li sento sempre con me, nel cuore e nell'anima. Spero, oggi più che mai, di averli resi felici e fieri di me.