



Efficientamento energetico di una applicazione
Android Open-Source: RoboDrink

Corso di Operating systems for mobile, cloud and IoT,
Informatica

Prof. Porfirio Tramontana, Anno Accademico 2022/2023
DIETI - Università Degli Studi di Napoli Federico II

Erasmus Prosciutto, N86003546
Biagio Scotto di Covella N86003605

September 30, 2023

Contents

1	Introduzione	3
1.1	Obiettivi	3
1.2	Struttura	3
2	Related work	4
3	Tools	5
3.1	Android Studio Profiler	5
3.2	Android Battery Historian	5
3.3	PowDroid	6
4	Best Practices per l'ottimizzazione energetica	7
4.1	Ottimizzazione del Codice	7
4.2	Gestione delle Risorse	8
4.3	Ottimizzazione della GUI	8
4.4	Gestione della Batteria	9
4.5	Ottimizzazione della Rete	9
4.6	Gestione dei Sensori	9
5	Modalità di risparmio energetico	10
5.1	Doze Mode	10
5.2	App Standby Buckets	10
5.3	App Background Restrictions	10
5.4	App Battery Optimization	10
6	Descrizione dell'applicativo	11
7	Analisi del consumo energetico	12
7.1	Setup e dipendenze	12
7.2	Dispositivo di Test e pre-condizioni	12
7.3	Identificazione degli scenari	12
7.4	Risultati	14
8	Ottimizzazioni e confronti	18
9	Replicazione degli esperimenti	25
10	Conclusioni	26

1 Introduzione

Le applicazioni mobile sono ormai parte integrante della nostra vita, fornendo una vasta gamma di servizi e funzionalità che semplificano molte attività quotidiane. Tuttavia, il continuo aumento della potenza di elaborazione e delle capacità grafiche nei dispositivi mobili ha portato a un consumo energetico significativo. Questo ha importanti implicazioni sia per gli utenti che per l'ambiente. Gli utenti desiderano dispositivi che abbiano una durata della batteria più lunga e che non si scarichino rapidamente durante l'uso, mentre l'aumento del consumo energetico ha un impatto negativo sul nostro pianeta, contribuendo al cambiamento climatico. Uno studio del 2013 ha riportato che il 18% delle applicazioni ha un feedback da parte degli utenti in relazione al consumo di energia [12].

Nei sistemi informatici in generale, l'efficientamento energetico è fondamentale per garantire un funzionamento sostenibile e redditizio. I data center, ad esempio, che ospitano una vasta gamma di servizi online, richiedono enormi quantità di energia per alimentare i server e per il raffreddamento. Ridurre il consumo energetico di questi data center non solo aiuta a risparmiare costi, ma contribuisce anche a ridurre l'impronta di carbonio dell'industria IT.

Vari sono gli approcci possibili per migliorare questi aspetti, tra cui l'ottimizzazione del codice, l'uso di hardware a basso consumo energetico e lo sviluppo di algoritmi efficienti. Inoltre, la consapevolezza degli sviluppatori e degli utenti sull'importanza di questo problema sta crescendo, spingendo verso soluzioni più sostenibili.

1.1 Obiettivi

Nelle evoluzioni di Android si è curato sempre più il consumo energetico e di risorse, come ad esempio la "Doze Mode", una modalità di risparmio energetico che si attiva quando il telefono è inattivo e che permette di applicare delle restrizioni come: ignorare i wake locks, sospendere l'accesso alla rete, ecc. In generale attualmente, una applicazione che non viene utilizzata in un certo arco temporale viene categorizzata e in base a questa classificazione avrà diversa priorità nell'utilizzo delle risorse.

Data l'importanza che ha l'efficientamento energetico nei dispositivi mobile, il nostro lavoro si propone di analizzare, ottimizzare e testare il consumo energetico di una applicazione Android, utilizzando tecniche e strumenti allo stato dell'arte. Ci baseremo sulla letteratura scientifica per approfondire quali sono gli strumenti che permettono l'analisi di applicazioni mobile dal punto di vista dell'efficienza energetica, quali sono le differenze che contraddistinguono un applicativo efficiente da uno che non lo è, le migliorie che possono essere effettuate a vari livelli di astrazione, i risultati prima e dopo le ottimizzazioni.

1.2 Struttura

Il documento è strutturato come segue: nella sezione 2 viene data una panoramica sui principali studi e pratiche legate all'ottimizzazione energetica di applicazioni Android; nella sezione 3 sono descritti i principali tools utilizzati nelle analisi; nella sezione 4 sono indicate le best practices generali per l'ottimizzazione energetica; nella sezione 5 sono descritte le varie modalità di risparmio energetico offerte da Android; nella sezione 6 è descritta l'applicazione sulla quale verranno svolti i test; nella sezione 7 viene analizzato il consumo energetico dell'applicativo; nella sezione 8 sono descritte le ottimizzazioni effettuate, unitamente a dei confronti rispetto alle analisi fatte nella sezione precedente; nella sezione 9 sono indicati tutti i passaggi per ripetere tutti i test svolti; infine nella sezione 10 traiamo le conclusioni sul lavoro svolto e sui risultati ottenuti.

2 Related work

Nella ricerca di soluzioni per l'efficientamento energetico delle applicazioni Android, è fondamentale considerare le conoscenze e gli studi precedenti in questo campo. Questa sezione fornirà una panoramica delle principali scoperte e pratiche legate all'ottimizzazione del consumo energetico delle applicazioni Android.

Numerose ricerche si sono concentrate sull'ottimizzazione del codice per ridurre il consumo energetico delle applicazioni Android. Ad esempio, lo studio condotto in [2] ha dimostrato che l'analisi e l'ottimizzazione del codice possono portare a significativi risparmi energetici.

Studi inerenti alla gestione efficiente delle risorse e ai "Memory-Leaks" come il [4] hanno evidenziato che la mancata chiusura corretta delle risorse, come cursori del database o connessioni di rete, può comportare un consumo eccessivo di energia. L'uso di blocchi "try-with-resources" in Java è stato raccomandato come pratica per garantire una corretta gestione delle risorse.

Un altro aspetto molto spesso sottovalutato è rappresentato dall'interfaccia grafica. Ricerche come la [11] hanno fornito linee guida dettagliate per la progettazione di interfacce utente a basso consumo energetico. L'adozione di tecniche come l'uso di ViewStub per il caricamento ritardato di elementi dell'interfaccia può ridurre il consumo energetico.

Come approfondito in [1], è estremamente importante utilizzare Wake Locks in modo intelligente per impedire che lo schermo si spenga durante l'utilizzo dell'app. Questa pratica di gestione della batteria può migliorare l'esperienza dell'utente e limitare gli sprechi energetici.

Ogni dispositivo inoltre, è quotidianamente connesso ad Internet ed è importante limitare le comunicazioni allo stretto necessario. Ricerche come la [8] hanno analizzato come molte applicazioni Android possono essere ottimizzate dal punto di vista energetico avendo una migliore gestione dei servizi di rete, specialmente quelli in background, molto spesso utilizzati senza che ve ne sia un reale bisogno.

In conclusione, un altro aspetto importante riguarda la gestione dei sensori, come ad esempio quelli utilizzati per i servizi di localizzazione. Studi come [6] hanno esaminato l'ottimizzazione energetica dei sensori GPS. L'attivazione e la disattivazione intelligente dei sensori in base alle esigenze dell'app possono ridurre significativamente il consumo energetico.

3 Tools

3.1 Android Studio Profiler

Oltre all'introduzione di tecniche per il risparmio energetico, nelle ultime versioni di Android sono stati messi a disposizione strumenti per il monitoraggio dell'utilizzo di risorse ed in particolare del consumo energetico, anche per gli emulatori. Parliamo di Android Studio Profiler, uno strumento molto potente che utilizzeremo per effettuare tutte le analisi del caso. Di seguito vi è una breve descrizione delle potenzialità di questo strumento.

- **Utilizzo della CPU:** il grafico mostrerà un profilo dell'utilizzo della CPU nel tempo. Si possono identificare picchi di utilizzo e trovare parti del codice che richiedono una quantità eccessiva di risorse CPU. Inoltre, è possibile vedere le tracce dei metodi per individuare specifiche chiamate di funzioni che causano problemi.
- **Consumo energetico:** il grafico mostrerà come il consumo energetico varia nel tempo. Si possono individuare i picchi di consumo energetico e le relative cause, come servizi in background o chiamate di rete in eccesso.
- **Allocazione della memoria Java:** il grafico mostrerà come la memoria viene allocata e deallocata nel tempo. Si possono individuare eventuali aumenti anomali dell'allocazione di memoria e identificare le parti del codice responsabili.
- **Traffico di rete:** il grafico mostrerà le richieste di rete in entrata e in uscita, i tempi di risposta e la quantità di dati scambiati. Si possono identificare richieste in eccesso o inefficienze nella gestione delle chiamate di rete.

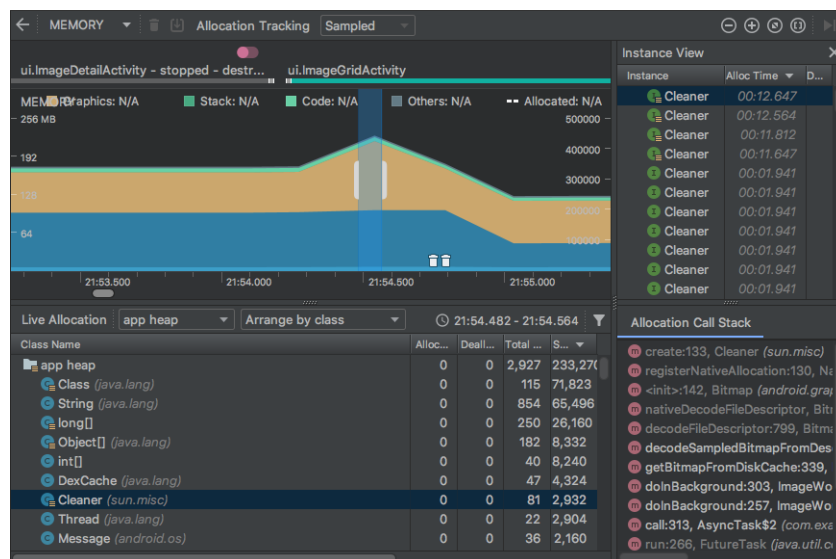


Figure 1: Android Studio Profiler: esempio di monitoraggio

3.2 Android Battery Historian

Android Battery Historian è uno strumento di analisi delle prestazioni sviluppato da Google per esaminare il consumo energetico delle applicazioni Android. Questo strumento è particolarmente utile per gli sviluppatori e i tester che vogliono comprendere come un'applicazione influenza il consumo della batteria di un dispositivo Android.

- **Raccolta dei dati:** Per utilizzare Android Battery Historian, è necessario raccogliere un registro (log) della batteria del dispositivo Android. Questo registro può essere acquisito da un dispositivo fisico o da un emulatore Android in esecuzione.
- **Formato del log:** Il registro della batteria deve essere nel formato bugreport di Android. Puoi ottenerlo utilizzando il comando `adb bugreport` o utilizzando strumenti di raccolta dei dati delle prestazioni, come il Battery Historian Collector.

- **Caricamento dei dati:** Una volta che hai ottenuto il registro della batteria, puoi caricarlo nell'interfaccia web di Android Battery Historian. Questa interfaccia è accessibile attraverso un browser web.
- **Visualizzazione dei dati:** Android Battery Historian analizza il registro e genera una serie di grafici e report che mostrano il consumo energetico dell'applicazione nel tempo. Questi dati includono informazioni dettagliate sulle applicazioni in esecuzione, i wakelock, le connessioni di rete, i sensori attivati, il consumo CPU e altro ancora.
- **Identificazione dei problemi:** Con Android Battery Historian, è possibile identificare con precisione quali parti dell'applicazione contribuiscono in modo significativo al consumo energetico. Ad esempio, potresti scoprire che un wakelock non rilasciato è responsabile del consumo eccessivo della batteria e risolverlo per migliorare le prestazioni dell'app.
- **Strumento di diagnostica:** Oltre a mostrare i dati di consumo energetico, Android Battery Historian offre strumenti di diagnostica per individuare e risolvere i problemi relativi al consumo energetico nelle applicazioni Android.
- **Integrazione con Android Studio:** E' possibile integrare Android Battery Historian con Android Studio per semplificare il processo di raccolta dei dati di consumo energetico e di analisi delle prestazioni.
- **Uso avanzato:** Android Battery Historian può essere utilizzato per analizzare i dati di consumo energetico in modo più avanzato, come la creazione di profili di consumo energetico su misura per le app, il confronto delle prestazioni tra diverse versioni dell'app e altro ancora.

In sintesi, Android Battery Historian è uno strumento potente per analizzare e ottimizzare il consumo energetico delle applicazioni Android. Aiuta gli sviluppatori a identificare e risolvere i problemi di prestazioni legati alla batteria, contribuendo a migliorare l'esperienza dell'utente e prolungare la durata della batteria dei dispositivi Android.

3.3 PowDroid

PowDroid è uno strumento basato su software progettato per misurare e profilare il consumo energetico delle applicazioni Android.

I dati estratti da PowDroid sono ottenuti dal sistema Android stesso e fungono da base di riferimento nel nostro approccio. Questo strumento sfrutta tool già esistenti nel framework Android, tra cui:

1. **Batterystats:** Un'utility inclusa nel framework Android che raccoglie dati grezzi sulla batteria di un dispositivo. Il comando corrispondente in Android Debug Bridge (ADB) è `adb shell batterystats`. Per evitare l'accumulo di dati tra le sessioni di test, è possibile pulire la cronologia utilizzando il comando `adb shell batterystats reset`. I dati risultanti sono memorizzati nel dispositivo in un file chiamato `data/local/tmp/battery.txt`.
2. **Bugreport:** Un altro strumento del framework Android che genera un file di report in formato ZIP sul dispositivo basato sui dati di `battery.txt` sopra menzionato. Il comando corrispondente è `adb bugreport [nome file].zip`. Il formato di un file "bugreport" è compatibile con Battery Historian.
3. **Battery Historian:** Battery Historian2 di Google converte il report di Bugreport in una visualizzazione basata sul web, che può essere visualizzata tramite un browser web. È possibile utilizzare uno script Go chiamato `local_history_parse.go` per convertire un file ZIP in un file CSV leggibile dall'utente. È importante notare che l'argomento `-summary=totalTime` viene utilizzato per produrre risultati basati sul tempo anziché sull'evoluzione della carica della batteria.
4. **Script di elaborazione energetica:** Sono stati sviluppati diversi script Python per gestire il flusso di lavoro di PowDroid. Tra questi, `PowDroid.py` è il programma principale, `split.py` suddivide un file CSV in base alle diverse metriche, e `Merge.py` unisce le metriche in sincronia con le finestre temporali.

4 Best Practices per l'ottimizzazione energetica

L'ottimizzazione energetica delle applicazioni Android è una componente essenziale nella progettazione e nello sviluppo di software per dispositivi mobili. Le applicazioni che consumano troppa energia possono avere un impatto negativo sull'esperienza dell'utente e sulla durata della batteria dei dispositivi, influenzando la loro adozione e la soddisfazione dell'utente.

In questo contesto, esamineremo una serie di pratiche e strategie per ridurre il consumo energetico delle app Android. Queste pratiche si basano su ricerche scientifiche e linee guida sviluppate dalla comunità degli sviluppatori Android ed hanno dimostrato di essere efficaci nell'ottimizzare il consumo energetico.

4.1 Ottimizzazione del Codice

- **Thread e Background Tasks:** Gestire attentamente l'utilizzo dei thread e dei processi in background. Eseguire operazioni intensive sul thread principale solo quando è necessario, altrimenti utilizzare thread separati o AsyncTask per mantenere l'interfaccia utente reattiva e risparmiare energia.

```

1 // Esempio di AsyncTask per operazioni in background
2 private class MyAsyncTask extends AsyncTask<Void, Void, Void> {
3     @Override
4     protected Void doInBackground(Void... params) {
5         // Esegui il lavoro in background qui
6         return null;
7     }
8
9     @Override
10    protected void onPostExecute(Void result) {
11        // Aggiorna l'interfaccia utente dopo il completamento del
12        // lavoro
13    }
14 }

```

- **Risorse Efficienti:** Chiudere e rilasciare correttamente le risorse quando non sono più necessarie. Ad esempio, se si sta utilizzando un'istanza di InputStream, assicurarsi di chiuderla dopo l'utilizzo per evitare potenziali perdite di memoria e sprechi di risorse.
- **Ottimizzazione delle Query al Database:** Se l'app utilizza un database, ottimizzare le query in modo da limitare l'accesso frequente al database. Utilizzare le operazioni di indicizzazione e caching per ridurre la quantità di dati letti e scritti dal database

```

1 // Esempio di query efficiente utilizzando SQLite
2 String query = "SELECT * FROM table WHERE column = ?";
3 Cursor cursor = database.rawQuery(query, new String[] { "value" });
4 // Gestisci il risultato della query

```

Come dimostrato in studi precedenti come [10] e [3], apportare modifiche alle convenzionali pratiche di programmazione può avere un impatto positivo sul consumo energetico delle applicazioni Android. Nel nostro lavoro, abbiamo deciso di eseguire un'analisi simile utilizzando le medesime pratiche precedentemente studiate per valutare eventuali cambiamenti sull'impatto energetico.

- **Eliminazione dei getter e setter:** Evidenze scientifiche dimostrano che l'omissione dei metodi get/set porta a un codice più veloce ed energeticamente più efficiente rispetto a un codice che li include. Esperimenti condotti hanno registrato una riduzione dei tempi di esecuzione compresa tra il 24% e il 30%, insieme a un calo dei consumi energetici dal 24% al 27%. [10].
- **Gestione delle strutture dati:** Secondo uno studio sperimentale [7], l'adozione di specifiche strutture dati del Java Collection Framework (JCF) può influenzare positivamente il consumo energetico complessivo. Quindi in una applicazione che fa un ampio uso di strutture dati come HashMap e ArrayList, è possibile sostituire HashMap con SparseArray, una

collezione introdotta in Android. `SparseArray` mostra prestazioni superiori in termini di consumo energetico e utilizzo della memoria rispetto a `HashMap` [9]. Inoltre, studi come [3], rilevano che è possibile sostituire le classi del JCF che estendono la classe `Queue` con altre opzioni più efficienti dal punto di vista energetico. Ad esempio, è possibile sostituire gli `ArrayList` con la classe `LinkedBlockingDeque`.

- **Sostituzione del Binding dinamico con quello statico:** Ricerche hanno evidenziato che le chiamate di metodi con binding statico hanno un consumo energetico inferiore del 15% rispetto alle chiamate di metodi con binding dinamico. Tale efficienza è probabilmente attribuibile alla riduzione del carico di ricerca associato alle chiamate di metodi con binding dinamico [5].

4.2 Gestione delle Risorse

- **Cache Efficienti:** Implementare cache per archiviare temporaneamente dati o risorse grafiche frequentemente utilizzate. Questo ridurrà la necessità di recuperare dati da fonti esterne come una rete o un database, risparmiando energia.
- **Ottimizzazione delle Risorse Grafiche:** Utilizzare immagini con risoluzione appropriata e formati di immagine efficienti (come WebP) per ridurre le dimensioni dei file e il consumo di memoria. Adattare le risoluzioni delle immagini alle diverse densità di pixel dei dispositivi Android per evitare il ridimensionamento.

```

1      <!-- Esempio di risorse grafiche per densita di pixel diverse -->
2  res/
3      drawable-mdpi/
4          my\textunderscore image.png
5      drawable-hdpi/
6          my\textunderscore image.png
7      drawable-xhdpi/
8          my\textunderscore image.png

```

- **Controllo delle Risorse in Background:** Ridurre al minimo l'uso delle risorse quando l'app è in background o non è visibile all'utente. Interrompere o ridurre l'attività di background come aggiornamenti, servizi e notifiche quando non sono necessari.

4.3 Ottimizzazione della GUI

- **Ottimizzazione dei Layout:** L'ottimizzazione dei layout è fondamentale poiché un layout complesso o mal progettato può richiedere notevoli risorse CPU e GPU per essere elaborato. L'utilizzo di layout semplici e leggeri riduce la quantità di calcoli necessari per il rendering, migliorando l'efficienza energetica e la risposta dell'app all'utente.
- **Adattatori Efficienti:** Gli adattatori efficienti, come `RecyclerView` o `GridView`, sono cruciali perché riducono il consumo di memoria e CPU durante la visualizzazione di elenchi o griglie di elementi. Questi adattatori riciclano le viste esistenti anziché crearne di nuove, contribuendo a mantenere bassi i costi di rendering e a migliorare la fluidità dell'app.
- **TextureView per Rendering:** L'utilizzo di `TextureView` invece di `SurfaceView` è consigliato perché `TextureView` offre un'implementazione basata su texture che può essere incorporata facilmente in un layout XML. Ciò consente un rendering più efficiente, poiché sfrutta al meglio le capacità hardware del dispositivo, riducendo il consumo energetico.
- **Rendering Hardware Accelerato:** Abilitare il rendering hardware accelerato è consigliato poiché sfrutta la potenza della GPU, riducendo il carico sulla CPU e migliorando l'efficienza del rendering grafico. Ciò si traduce in un minor consumo energetico durante l'esecuzione delle operazioni grafiche.
- **Ottimizzazione delle Animazioni:** L'uso di animazioni leggere e fluente è fondamentale poiché le animazioni complesse o pesanti possono richiedere molte risorse di calcolo e grafiche. Le animazioni ben ottimizzate migliorano l'esperienza dell'utente e riducono il consumo energetico complessivo.

4.4 Gestione della Batteria

- **Wake Locks:** Evitare di mantenere il dispositivo in uno stato di "wake" più del necessario. Assicurarsi di rilasciare i Wake Locks non appena non sono più necessari tramite il metodo *release*. Utilizzare i Wake Lock Parziali, che consentono al dispositivo di risparmiare energia mantenendo attiva solo la CPU, consentendo al display di spegnersi quando non è in uso
- **AlarmManager:** Se si ha necessità di eseguire attività periodiche o pianificate in background, è bene considerare l'utilizzo di AlarmManager anziché mantenere il dispositivo in uno stato di wake costante. Con AlarmManager, è possibile programmare il dispositivo per eseguire il lavoro in determinati intervalli e quindi rilasciare i "Wake Locks" dopo che l'attività è stata completata. In questo modo, il dispositivo può tornare in modalità di risparmio energetico tra le esecuzioni pianificate.

```

1 // Creazione di un Intent per l'attività da eseguire
2 Intent intent = new Intent(context, MyScheduledService.class);
3 PendingIntent pendingIntent = PendingIntent.getService(context, 0,
4     intent, 0);
5
6 // Impostazione di un allarme periodico con AlarmManager
7 AlarmManager alarmManager = (AlarmManager) getSystemService(Context.
8     ALARM\textunderscore SERVICE);
9 long intervalMillis = 60 * 1000; // Esempio: 1 minuto
10 long startTime = System.currentTimeMillis() + intervalMillis;
11 alarmManager.setInexactRepeating(AlarmManager.RTC\textunderscore
12     WAKEUP, startTime, intervalMillis, pendingIntent);

```

4.5 Ottimizzazione della Rete

- **Comunicazione Efficiente:** Utilizzare protocolli di comunicazione efficienti come HTTP/2 o HTTP/3 che consentono il multiplexing delle richieste, riducendo così la latenza e il consumo di energia.
- **Limitazione delle Richieste:** Evitare richieste di rete eccessive. Ad esempio, utilizzare una politica di "backoff" per ritentare le richieste solo dopo un certo intervallo in caso di errori. Limitare il polling frequente dei dati se non è necessario.
- **Compressione:** Comprimere i dati prima di inviarli dal server all'app e decomprimerli sul dispositivo. L'utilizzo della compressione può ridurre notevolmente il consumo di dati e la velocità di trasmissione.

4.6 Gestione dei Sensori

- **Rilevamento della Posizione:** Utilizzare il rilevamento della posizione in modo intelligente. E' possibile ridurre la frequenza di aggiornamento della posizione o utilizzare servizi di geolocalizzazione in background solo quando l'applicazione è attiva. Utilizzare le API di geolocalizzazione in modo efficiente per ottenere una posizione approssimata quando possibile.
- **Uso del Sensore di Prossimità:** Utilizzare il sensore di prossimità per determinare se il dispositivo è vicino a un oggetto o all'orecchio dell'utente. Ad esempio, spegnere il display quando il dispositivo è vicino all'orecchio durante una chiamata telefonica per risparmiare energia.
- **Sensore di Luminosità:** Utilizzare il sensore di luminosità per regolare automaticamente la luminosità dello schermo in base alle condizioni ambientali. In questo modo, è possibile risparmiare energia riducendo la luminosità quando non è necessaria.

5 Modalità di risparmio energetico

Oltre alle pratiche sopra descritte, Android ha introdotto diverse modalità e funzionalità di risparmio energetico progettate per ottimizzare l'uso delle risorse del sistema e minimizzare il consumo di energia delle applicazioni.

Queste modalità e funzionalità, consentono ai dispositivi di gestire in modo intelligente l'attività delle applicazioni, limitando l'uso delle risorse e il consumo energetico quando non è necessario.

5.1 Doze Mode

Il Doze Mode è una modalità di risparmio energetico introdotta in Android 6.0 (Marshmallow). Quando il dispositivo Android è inattivo e non viene utilizzato per un certo periodo di tempo, entra automaticamente in questa modalità. Durante il Doze Mode, il sistema operativo Android limita l'attività in background delle app per ridurre il consumo energetico. Le app vengono messe in uno stato di "sonno profondo" e vengono rallentate le attività in background come la sincronizzazione dei dati e gli aggiornamenti delle notifiche. Questa modalità è particolarmente efficace per estendere la durata della batteria quando il dispositivo è in stand-by, come quando non viene utilizzato durante la notte.

5.2 App Standby Buckets

Le App Standby Buckets sono state introdotte in Android 9 (Pie). Questa funzionalità classifica le app in diverse "secchielle" in base al loro utilizzo. Le app che vengono utilizzate attivamente vengono collocate in secchielle superiori, mentre quelle meno utilizzate o non utilizzate da molto tempo vengono spostate in secchielle inferiori. Le app nelle secchielle inferiori subiscono limitazioni nell'accesso alle risorse di sistema e alle notifiche in background per ridurre il consumo energetico.

5.3 App Background Restrictions

Questa funzionalità permette agli utenti di Android di impostare restrizioni specifiche per le app in background. Gli utenti possono limitare l'accesso delle app a risorse come la posizione GPS, i dati in background e l'uso della connessione Internet mentre sono in background. Questo aiuta a prevenire che le app consumino energia in modo eccessivo quando non sono in primo piano.

5.4 App Battery Optimization

L'ottimizzazione della batteria è una caratteristica di Android che permette di ottimizzare il consumo energetico delle app. Android identifica automaticamente le app che consumano energia in modo eccessivo e le mette in uno stato di ottimizzazione della batteria. Durante questa fase, il sistema limita l'attività in background delle app e riduce la loro frequenza di aggiornamento per conservare la carica della batteria.

6 Descrizione dell'applicativo

Dopo questa breve introduzione al campo dell'ottimizzazione energetica, ci sposteremo ora alla fase pratica, in particolare al testing di applicazioni open source. L'applicazione che verrà oggetto di test è denominata "RoboDrink-App" ed è stata sviluppata nell'ambito del progetto di Laboratorio di Sistemi Operativi.

L'applicazione "RoboDrink-App" è stata sviluppata per simulare l'interazione tra un robot e gli utenti attraverso una "state machine" che gestisce le diverse fasi dell'interazione. Gli utenti possono accedere, registrarsi o utilizzare l'app come ospiti. Una volta autenticati, possono interagire con il robot, scegliere drink, partecipare a quiz e altro ancora. L'obiettivo finale è quello di fornire ai clienti una bevanda personalizzata basata sulle loro preferenze.

L'applicazione è strutturata in diversi stati, ognuno dei quali rappresenta una fase dell'interazione tra il robot e l'utente. Alcuni stati rilevanti includono "Out of Sight", "New", "Welcome", "Ordering", "Serving", "ChatBot", "Sala d'attesa", "Farewelling" e "Gone". Ogni stato ha un compito specifico nell'interazione complessiva dell'utente con l'applicazione. Inoltre, l'applicazione utilizza una architettura Client-Server basata sul protocollo TCP/IP. Il server è stato implementato in C e utilizza PostgreSQL come database per gestire le informazioni sugli utenti e i drink preferiti. La comunicazione tra client e server avviene attraverso socket, e il server può gestire più client contemporaneamente tramite l'uso di thread. Ogni stato dell'applicazione è gestito da funzioni specifiche nel server, che comunicano con il client utilizzando messaggi significativi. La comunicazione tra il client e il server avviene tramite scambio di messaggi. I messaggi vengono inviati dal client al server per richiedere operazioni specifiche, come l'accesso, la registrazione, la scelta di un drink, ecc. Il server risponde con messaggi che indicano l'esito delle richieste dell'utente, ad esempio confermando un accesso riuscito o fornendo la descrizione di un drink selezionato.

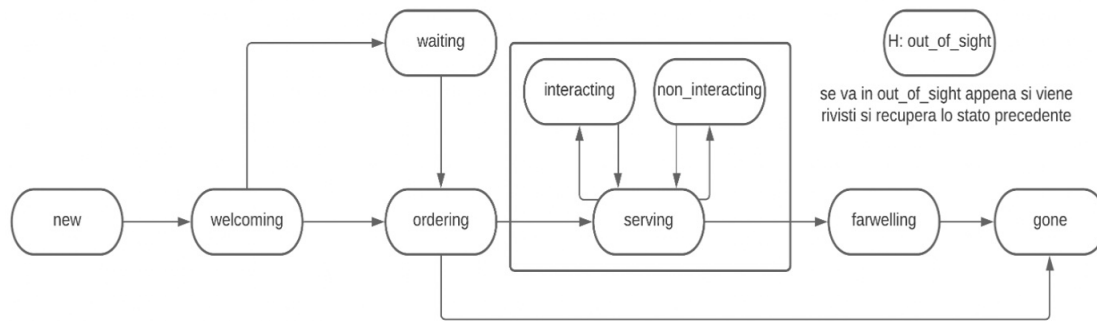


Figure 2: Descrizione degli stati dell'applicativo tramite NDFSM

7 Analisi del consumo energetico

Per effettuare una analisi completa del consumo energetico dell' applicazione descritta nella sezione 6, usufruiremo dei tool illustrati nella sezione 3.

Di seguito è descritto il setup necessario per svolgere l'analisi.

7.1 Setup e dipendenze

- Android Studio
- Android SDK platform tools
- Python 3.10 o versioni inferiori
- Pandas module
- Go runtime

E' poi necessario inserire il comando *adb* (Android Debug Bridge) presente nell'SDK, all' environment PATH (Python e Go dovrebbero essere già stati inseriti tramite il processo di installazione; in caso contrario è necessario aggiungerli manualmente):

- **Procedura Windows:** Modificare la variabile d'ambiente PATH in Impostazioni di sistema avanzate, poi Proprietà del sistema, quindi Variabili d'ambiente, infine scegliere Percorso e modificarla aggiungendo il nuovo percorso (la posizione in cui è stato installato platform-tools).
- **Procedura Unix:** esportare *PATH=/il/percorso/al/target/:\$PATH* nel file .profile o .bashrc. o .zshrc

Utilizzare il comando seguente per verificare la corretta esportazione:

1

```
adb --version
```

Successivamente, attivare il **Debug USB** sul dispositivo Android nelle opzioni sviluppatore. Sul telefono dovrebbe apparire una richiesta di autorizzazione al debug. Se il computer è un computer personale e sicuro, è necessario selezionare **Consenti sempre da questo computer**. Ripetere gli stessi passaggi per attivare il **Debug Wireless**. Nella sezione 9 verranno illustrati i passaggi per replicare gli esperimenti fatti.

7.2 Dispositivo di Test e pre-condizioni

Il dispositivo utilizzato per i Test è un Samsung Galaxy S10+, con sistema operativo Android 12, versione One UI 4.1.

Di seguito sono indicate le pre-condizioni:

1. Modalità risparmio batteria disabilitata.
2. Timeout dello schermo disabilitato.
3. Livello di luminosità e suono impostato al 50%.
4. Applicazioni in esecuzione e servizi in background disattivati.
5. Durata media di tutti i test di circa 1 minuto e 30 secondi.

7.3 Identificazione degli scenari

L'applicativo prevede diversi scenari descritti nella sezione 6 da un automa non deterministico. In un automa non deterministico una relazione di transizione può avere uno o più stati di destinazione. Non essendoci dunque un percorso univoco è necessario identificare i vari tipi di percorsi al fine di determinare con precisione il consumo energetico dell'applicazione e permettere una corretta gestione dei casi medi.

Provvediamo dunque ad evidenziare i punti decisionali che formeranno il rispettivo albero decisionale [Fig. 3] per poter successivamente elaborare vari tipi di scenari.

- **Punto decisionale 1:** l'utente è accolto nella schermata di welcoming, dove un bottone stabilirà il suo posizionamento in waiting (in caso vi siano almeno due utenti in ordering o serving) oppure in ordering.
- **Punto decisionale 2:** l'utente sta ordinando il suo drink scegliendo tra un suggerimento e una lista completa di bevande disponibili. Saranno le esigenze dell'utente a stabilire se continuare ed essere servito nello stato di serving oppure se uscire dall'applicazione, posizionandosi nello stato di gone.
- **Punto decisionale 3:** il drink dell'utente è in preparazione e quest'ultimo può scegliere se interagire con il robot tramite risposte a dei quiz, oppure se attendere in maniera passiva. I due rispettivi pulsanti posizioneranno l'utente nello stato di Interacting o di Non_Interacting.

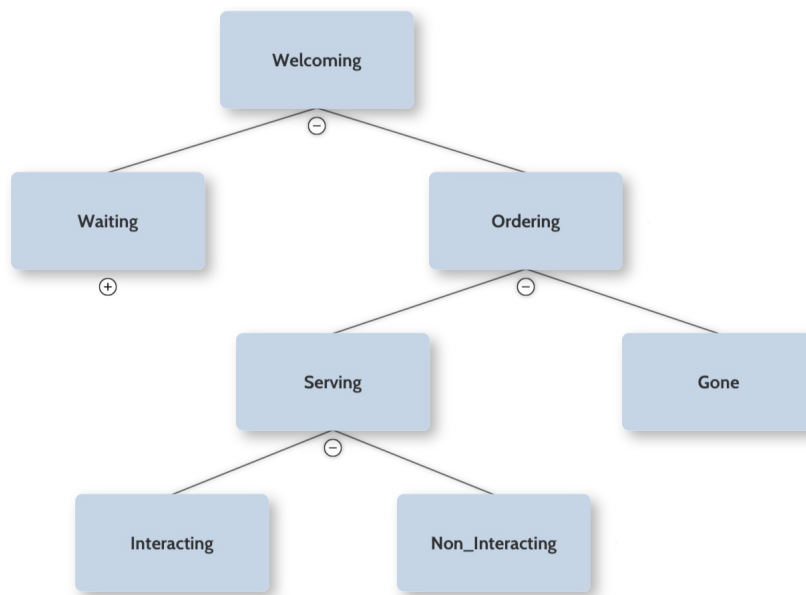


Figure 3: Albero decisionale

Questi tre punti ci permettono di individuare i seguenti sei scenari:

- **Scenario 1:** new → welcoming → waiting → ordering → serving → interacting
- **Scenario 2:** new → welcoming → ordering → serving → interacting
- **Scenario 3:** new → welcoming → ordering → gone
- **Scenario 4:** new → welcoming → waiting → ordering → serving → non_interacting
- **Scenario 5:** new → welcoming → ordering → serving → non_interacting
- **Scenario 6:** new → welcoming → waiting → ordering → gone

7.4 Risultati

Per ogni scenario saranno svolte un numero di prove N : $1 \leq N \leq 5$ in base alle differenze riscontrate tra i vari test.

Sebbene gli scenari totali dell'applicativo siano sei, al fine di rendere ripetibili i test effettuati, siamo costretti a limitarci agli scenari in cui non è presente lo stato di Waiting, stato che prevede risposte non determinabili a priori (e dunque variabili nel tempo) da parte del Server. Si prenda dunque in considerazione che i risultati ottenuti sono relativi a test effettuati con un stato in meno e sulla metà degli scenari, rispettivamente: scenario 2, scenario 3, scenario 5.

Si mette in evidenza inoltre che in tutti i test, l'utente utilizzato è già registrato alla piattaforma e passa direttamente per la fase di Log-In, che corrisponde allo stato di New.

Scenario 2	Duration (S)	Energy (J)	
Prova 1	135,147	190,883029	
Prova 2	134,849	153,690384	
Prova 3	131,483	188,336545	
Prova 4	135,319	157,655112	
Prova 5	132,857	202,394231	
	Durata	Joule	Joule/Minuti
Media	133,93	178,59	1,333461709
Mediana	134,85	188,34	1,396647695
Dev. Stand.	1,509576364	19,34432997	/

Table 1: Risultati scenario n. 2

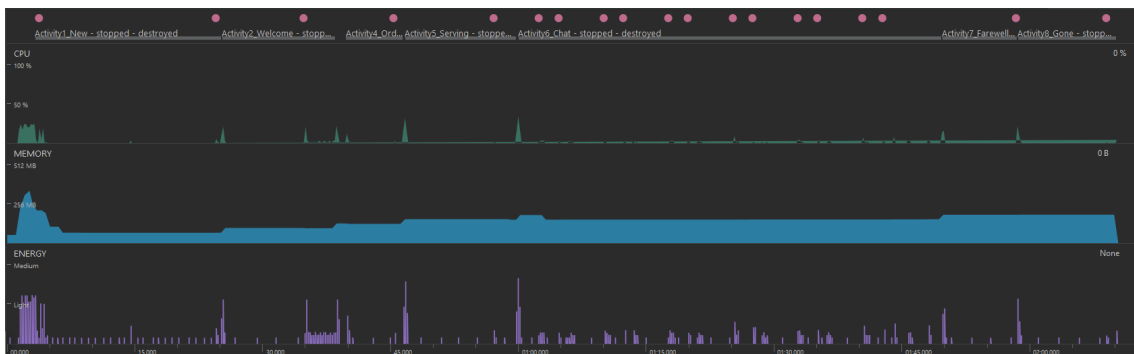
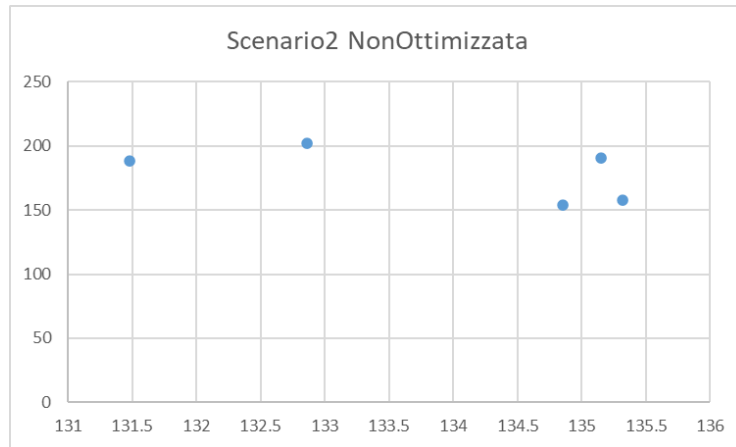


Figure 4: CPU, memoria e consumo energetico tramite Android Studio Profiler

Scenario 3	Duration (S)	Energy (J)	
Prova 1	59,753	71,509658	
Prova 2	38,305	67,098873	
Prova 3	55,305	48,402012	
Prova 4	43,412	70,12687	
Prova 5	52,951	92,315173	
	Durata	Joule	Joule/Minuti
Media	49,95	69,89	1,399344025
Mediana	52,95	70,13	1,324372911
Dev. Stand.	7,901040296	13,96489742	/

Table 2: Risultati scenario n. 3

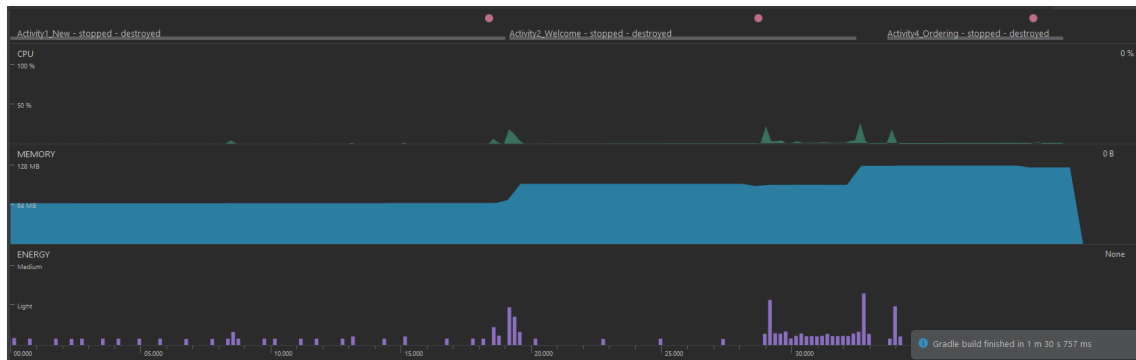
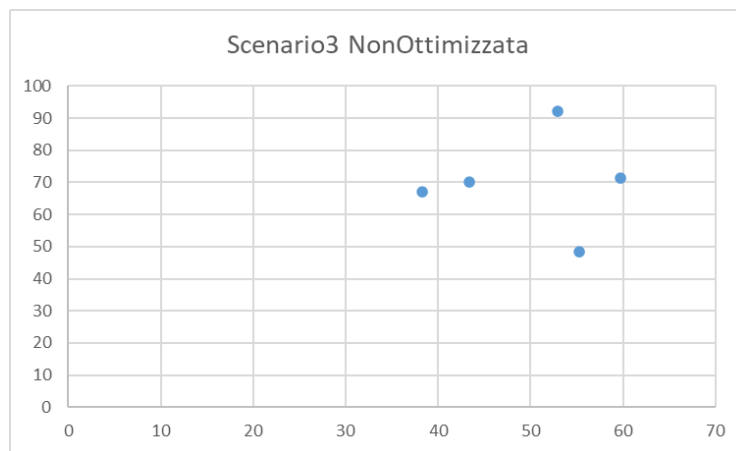


Figure 5: CPU, memoria e consumo energetico tramite Android Studio Profiler

Scenario 5	Duration (S)	Energy (J)	
Prova 1	101,743	133,066329	
Prova 2	94,454	89,647871	
Prova 3	103,216	158,199432	
Prova 4	99,418	146,145983	
Prova 5	103,505	98,755549	
	Durata	Joule	Joule/Minuti
Media	100,47	125,16	1,245809904
Mediana	101,74	133,07	1,307867165
Dev. Stand.	3,336800587	26,65645093	/

Table 3: Risultati scenario n. 5

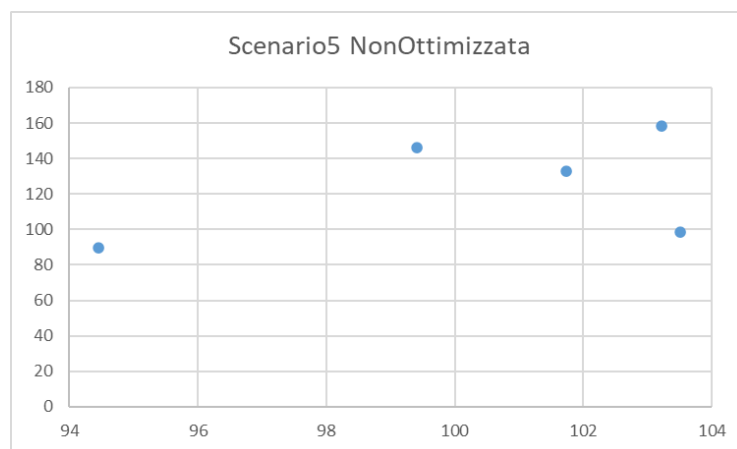
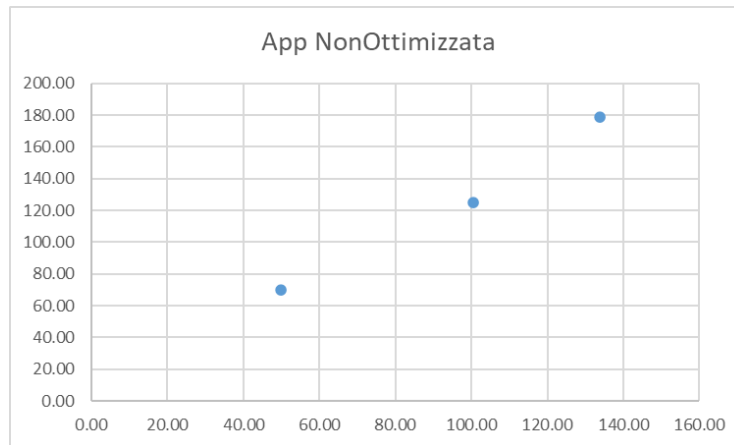


Figure 6: CPU, memoria e consumo energetico tramite Android Studio Profiler

Scenari	Duration (S)	Energy (J)	
Scenario2	133,93	178,59	
Scenario3	49,95	69,89	
Scenario5	100,47	125,16	
	Durata	Joule	Joule/Minuti
Media	94,78	124,55	1,314063946
Mediana	100,47	125,16	1,245809904
Dev. Stand.	34,52199459	44,37926511	/

Table 4: Risultati scenari totali app non ottimizzata



8 Ottimizzazioni e confronti

Di seguito sono illustrati alcuni esempi di ottimizzazioni effettuate. Le modifiche più importanti hanno riguardato gli utilizzi impropri di `runOnUiThread` e la costante creazione di nuovi `Handler` e `OnTouchListeners`. Sono poi stati migliorati i tentativi di riconnessione, introdotte strutture dati più efficienti e ottimizzato il codice per i Timer dell'inattività. Inoltre sono state eliminate parti di codice duplicate e ridondanze che potevano naturalmente avere un impatto negativo a livello energetico.

- **Rimossi alcuni usi di `Thread.sleep()`:** La chiamata a `Thread.sleep()` fa sì che il thread corrente si metta in attesa per un periodo di tempo specificato, consumando risorse inutilmente. Rimuovendo queste chiamate, si riduce il tempo in cui il dispositivo è attivo senza fare nulla, risparmiando energia.
- **Rimozione di codice duplicato:** Ridurre la duplicazione del codice rende il programma più pulito e facile da mantenere. Un buon esempio è rappresentato dalla gestione dei topics.

```

1  if("Guest".equals(user)){
2      String[] allTopics = {"Storia", "Attualita", "Sport", "Scienza", "
        Informatica", "Letteratura", "Musica", "Geografia"};
3      selectedTopics = new String[2];
4      Random random = new Random();
5      for (int i = 0; i < 2; i++) {
6          int randomIndex = random.nextInt(allTopics.length);
7          selectedTopics[i] = allTopics[randomIndex];
8      }
9  } else if("Nessuno".equals(selectedTopics[0])){
10     String[] allTopics = {"Storia", "Attualita", "Sport", "Scienza", "
        Informatica", "Letteratura", "Musica", "Geografia"};
11     selectedTopics = new String[2];
12     Random random = new Random();
13     for (int i = 0; i < 2; i++) {
14         int randomIndex = random.nextInt(allTopics.length);
15         selectedTopics[i] = allTopics[randomIndex];
16     }
17 }

```

Listing 1: Codice precedente

```

1  if ("Guest".equals(user) || "Nessuno".equals(selectedTopics[0])) {
2      selectRandomTopics();
3  }

```

Listing 2: Codice ottimizzato

```

1  private void selectRandomTopics() {
2      String[] allTopics = {"Storia", "Attualita", "Sport", "Scienza", "
        Informatica", "Letteratura", "Musica", "Geografia"};
3      for (int i = 0; i < 2; i++) {
4          int randomIndex = random.nextInt(allTopics.length);
5          selectedTopics[i] = allTopics[randomIndex];
6      }
7  }

```

Listing 3: Codice ottimizzato

- **Aumentato il tempo tra i tentativi di riconnessione al server:** Tentare una riconnessione ogni volta che quest'ultima fallisce potrebbe portare a un consumo elevato di energia, specialmente se la connessione fallisce ripetutamente. Aumentando il tempo tra i tentativi o limitando il numero di tentativi, si riduce il consumo energetico.
- **Rimossi tutti i callback Handler quando non sono più necessari:** Se si utilizzano Handler e Runnable per eseguire azioni dopo un ritardo, è importante rimuovere tutti i

callback quando non sono più necessari. Questo previene l'esecuzione inutile di codice e riduce il consumo di energia.

- **Introdotte strutture dati efficienti:** Sono state inserite strutture `HashSet`, molto efficienti per operazioni quali inserimento, eliminazione e ricerca, che mediamente vengono svolte in tempo costante $O(1)$.

```

1
2 private String[] selectedTopics;
3
4 private boolean isTopicSelected(String topic) {
5     for (String selectedTopic : selectedTopics) {
6         if (selectedTopic.equals(topic)) {
7             return true;
8         }
9     }
10    return false;
11 }

```

Listing 4: Codice precedente

```

1 private Set<String> selectedTopicsSet;
2
3 selectedTopicsSet = new HashSet<>(Arrays.asList(selectedTopics));
4
5 private boolean isTopicSelected(String topic) {
6     return selectedTopicsSet.contains(topic);
7 }

```

Listing 5: Codice ottimizzato

- **Limitati gli aggiornamenti dell'interfaccia utente:** L'aggiornamento frequente della UI, come il cambiamento di testo o l'animazione, può consumare energia, ed è opportuno porre un occhio di riguardo in questi termini.
- **Utilizzo di una sola istanza di Handler:** Creare molte istanze di oggetti può essere costoso in termini di memoria e prestazioni. Utilizzando una sola istanza, si riduce l'overhead e si migliora l'efficienza energetica.

```

1 private void applyButtonAnimation(View v) {
2     v.startAnimation(buttonAnimation);
3     new Handler().postDelayed(v::clearAnimation, 100);
4 }

```

Listing 6: Codice precedente

```

1 private final Handler handler = new Handler();
2
3 private void applyButtonAnimation(View v) {
4     v.startAnimation(buttonAnimation);
5     handler.postDelayed(v::clearAnimation, 100);
6 }

```

Listing 7: Codice ottimizzato

- **Implementazione di un View.OnTouchListener centralizzato:** Evitando la creazione ripetuta di nuovi oggetti OnTouchListener, abbiamo ridotto il numero di oggetti che vengono creati. Questo riduce la pressione sul garbage collector, migliorando l'efficienza energetica.

```

1 private void setTouchListenerForAnimation(View view) {
2     view.setOnTouchListener(new View.OnTouchListener() {
3         @Override
4         public boolean onTouch(View v, MotionEvent event) {
5             if (event.getAction() == MotionEvent.ACTION_DOWN) {
6                 resetInactivityTimer();
7                 applyButtonAnimation(v);
8             }
9             return false;
10        }
11    });
12 }

```

Listing 8: Codice precedente

```

1 private final View.OnTouchListener animationTouchListener = new View.
    OnTouchListener() {
2     @Override
3     public boolean onTouch(View v, MotionEvent event) {
4         if (event.getAction() == MotionEvent.ACTION_DOWN) {
5             resetInactivityTimer();
6             applyButtonAnimation(v);
7         }
8         return false;
9     }
10 };

```

Listing 9: Codice ottimizzato

- **Rimossi runOnUiThread superflui:**

```

1 int atIndex = user.indexOf("@");
2 if (atIndex != -1) {
3     String username = user.substring(0, atIndex);
4     runOnUiThread(() -> textViewLoggedIn.setText(username));
5 } else {
6     runOnUiThread(() -> textViewLoggedIn.setText(user));
7 }

```

Listing 10: Codice precedente

```

1 int atIndex = user.indexOf("@");
2 if (atIndex != -1) {
3     String username = user.substring(0, atIndex);
4     textViewLoggedIn.setText(username);
5 } else {
6     textViewLoggedIn.setText(user);
7 }

```

Listing 11: Codice ottimizzato

Le ottimizzazioni effettuate hanno effettivamente apportato dei benefici in termini energetici in tutti gli scenari, con diminuzioni in termini di energia totale, media, mediana e deviazione standard. Di seguito sono mostrati i dati e i grafici dei test dopo le ottimizzazioni.

Scenario 2	Duration (S)	Energy (J)	
Prova 1	138,566	192,952869	
Prova 2	138,817	205,800584	
Prova 3	139,885	199,972415	
Prova 4	139,6	150,849993	
Prova 5	137,891	151,176001	
	Durata	Joule	Joule/Minuti
Media	138,95	180,15	1,296495421
Mediana	138,82	192,95	1,389980111
Dev. Stand.	0,718795492	24,13618478	/

Table 5: Risultati dello scenario n. 2 ottimizzato

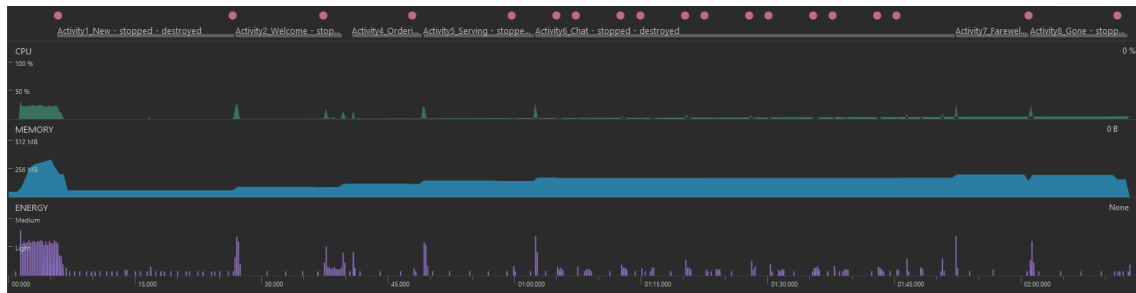
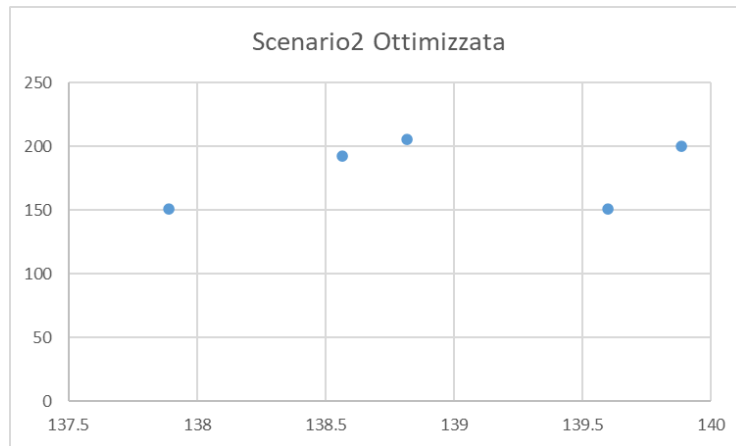


Figure 7: CPU, memoria e consumo energetico tramite Android Studio Profiler

Scenario 3	Duration (S)	Energy (J)	
Prova 1	40,329	82,498932	
Prova 2	39,984	41,610184	
Prova 3	40,356	35,400557	
Prova 4	39,929	35,813852	
Prova 5	39,135	75,86251	
	Durata	Joule	Joule/Minuti
Media	39,95	54,24	1,357742762
Mediana	39,98	41,61	1,040670868
Dev. Stand.	0,441416176	20,59155134	/

Table 6: Risultati dello scenario n. 3 ottimizzato

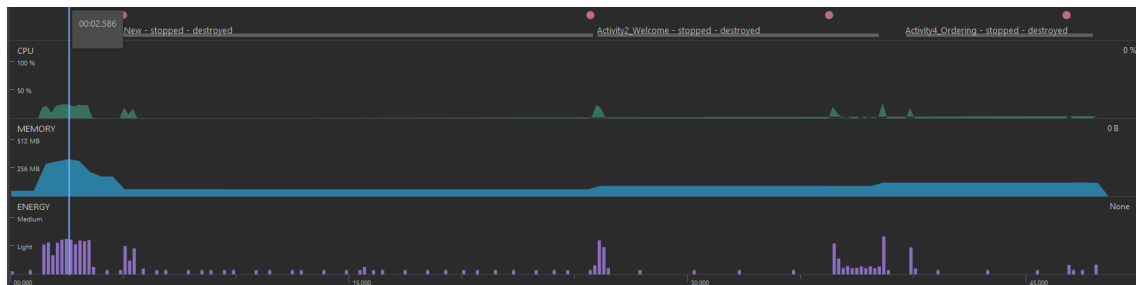
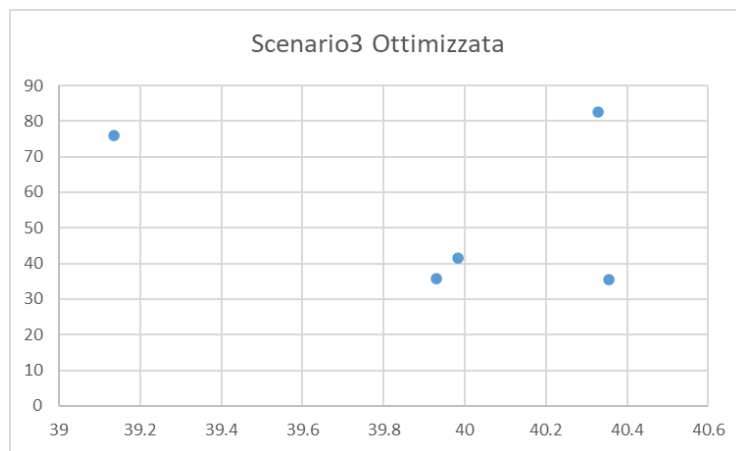


Figure 8: CPU, memoria e consumo energetico tramite Android Studio Profiler

Scenario 5	Duration (S)	Energy (J)	
Prova 1	102,97	107,099188	
Prova 2	101,68	79,198444	
Prova 3	106,717	150,24098	
Prova 4	103,814	146,27462	
Prova 5	103,205	91,627951	
	Durata	Joule	Joule/Minuti
Media	103,68	114,89	1,10813406
Mediana	103,21	107,10	1,037732552
Dev. Stand.	1,671586719	28,67191305	/

Table 7: Risultati dello scenario n. 5 ottimizzato

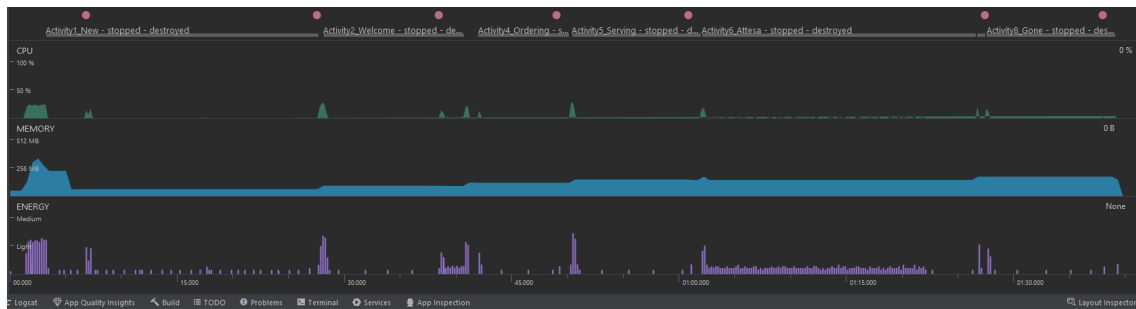
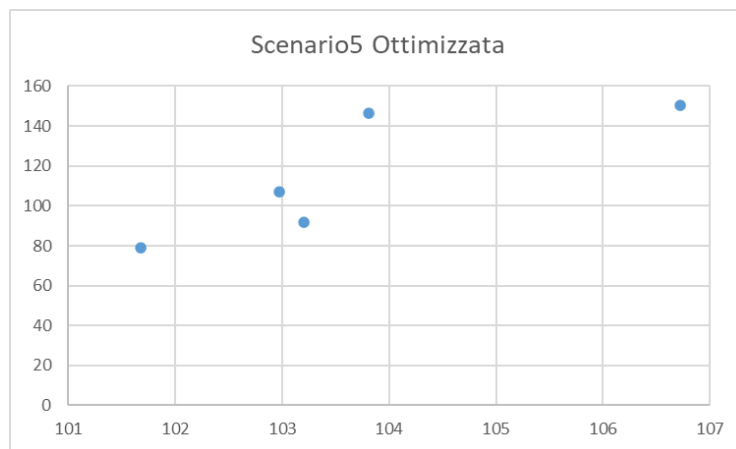
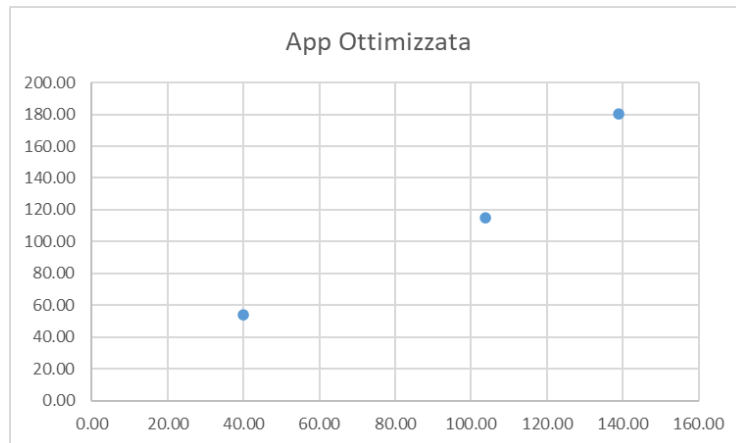


Figure 9: CPU, memoria e consumo energetico tramite Android Studio Profiler

Scenari	Duration (S)	Energy (J)	
Scenario 2	138,95	180,15	
Scenario 3	39,95	54,24	
Scenario 5	103,68	114,89	
	Durata	Joule	Joule/Minuti
Media	94,19	116,43	1,236043791
Mediana	103,68	114,89	1,10813406
Dev. Stand.	40,97142149	51,41532303	/

Table 8: Risultati degli scenari totali app ottimizzata



Riassumendo i risultati ottenuti e confrontandoli con i risultati senza ottimizzazioni, otteniamo:

- **Scenario 5:** Miglioramenti in termini di energia. Passiamo da una media di costo energetico di 125,16 J a 114,89 (miglioramento dell' 8,21%). Notiamo invece un leggero aumento della durata, che passa da 100,47 secondi di media a 103,68 secondi (peggioramento del 3,19%).
- **Scenario 3:** Significativi miglioramenti per entrambi i valori di durata ed energia; rappresenta lo scenario che più di tutti ha ottenuto miglioramenti. Si passa da una durata media di 49,95 secondi a 39,95 secondi (più veloce del 20,02%) e da un costo energetico medio di 69,89 J a 54,24 J (miglioramento del 22,39%).
- **Scenario 2:** Questo è uno scenario che ha invece presentato dei lievi peggioramenti in media, sia in termini di durata che di energia. Passiamo da 133,93 secondi a 138,95 secondi (peggioramento del 3,75%) e da 178,59 J a 180,15 J (peggioramento del 0,87%).
- **Scenari totali:** Complessivamente troviamo un miglioramento medio in durata che passa da 94,78 secondi a 94,19 e un costo energetico medio che passa da 124,55 J a 116,43 J (rispettivamente 0,62% più veloce e 6,52% più efficiente in termini energetici).

9 Replicazione degli esperimenti

Per replicare con successo gli esperimenti, è necessario seguire attentamente i seguenti passaggi:

1. Installazione dell'APK sul Dispositivo

Prima di tutto, è necessario installare l'APK sul dispositivo per entrambe le versioni dell'applicazione (non ottimizzata e ottimizzata). Questo può essere fatto trasferendo il file APK sul dispositivo e poi aprirlo per avviare l'installazione. Assicurati di avere abilitato l'installazione da fonti sconosciute nelle impostazioni di sicurezza del tuo dispositivo.

2. Abilitazione dell'Opzione Sviluppatore

Per abilitare l'opzione sviluppatore sul tuo dispositivo Android:

- (a) Vai su `Impostazioni > Informazioni sul telefono` (o `Informazioni sul dispositivo`).
- (b) Trova la voce `Numero build` e toccala ripetutamente (circa 7 volte) fino a quando non vedrai un messaggio che indica che sei ora uno sviluppatore.

3. Abilitazione del Debug USB

Dopo aver abilitato l'opzione sviluppatore:

- (a) Torna al menu principale delle `Impostazioni` e seleziona `Opzioni sviluppatore`.
- (b) Cerca e attiva l'opzione `Debug USB`.

4. Abilitazione del Debug Wireless e Annotazione dell'Indirizzo IP

Ancora nelle `Opzioni sviluppatore`:

- (a) Cerca e attiva l'opzione `Debug wireless`.
- (b) Una volta attivato, il dispositivo mostrerà un valore nel formato `ipaddress:port`. Annota questo valore, poiché ti servirà per i passaggi successivi.

5. Avvio dello Script Python

- (a) Sul tuo computer, naviga nella directory dove si trova lo script `testApp.py`.
- (b) Avvia lo script eseguendo il comando `python testApp.py` nel terminale o prompt dei comandi.
- (c) Segui attentamente i passaggi richiesti dallo script.

6. Visualizzazione dei File CSV

Dopo aver eseguito lo script:

- (a) Naviga nella cartella `output` nella stessa directory dello script.
- (b) Qui troverai i file `.csv` creati. Puoi aprirli con qualsiasi software di elaborazione dati, come Excel o LibreOffice Calc, per visualizzare i risultati.

10 Conclusioni

L'analisi energetica di un'applicazione è un aspetto fondamentale nella progettazione e sviluppo di software, specialmente in un'era in cui l'efficienza energetica è diventata una priorità. L'applicazione "RoboDrink-App", analizzata in questo documento, ha fornito un esempio concreto di come un'applicazione possa essere ottimizzata per ridurre il suo consumo energetico.

Dalla nostra analisi, è emerso che l'applicazione presentava diverse aree di miglioramento. L'uso improprio di funzioni come `runOnUiThread`, la creazione frequente di nuovi oggetti e la gestione non ottimale delle connessioni sono solo alcuni degli aspetti che hanno contribuito a un consumo energetico elevato. Grazie alle ottimizzazioni apportate, siamo stati in grado di contribuire di 6 punti percentuali alla riduzione del consumo energetico degli scenari totali.

È interessante notare come piccoli cambiamenti nel codice, come la rimozione di codice duplicato o l'uso di strutture dati più efficienti, possano avere un impatto significativo sul consumo energetico. Questo sottolinea l'importanza di una programmazione attenta e consapevole, soprattutto quando si tratta di applicazioni destinate a dispositivi mobile, dove la durata della batteria è una preoccupazione primaria per gli utenti.

L'analisi e l'ottimizzazione dell'applicazione "RoboDrink" hanno dimostrato che, con il metodo giusto e gli strumenti adeguati, è possibile realizzare applicazioni che non solo soddisfano le esigenze degli utenti, ma lo fanno in modo efficiente e rispettoso dell'ambiente.

References

- [1] Faisal Alam, Preeti Ranjan Panda, Nikhil Tripathi, Namita Sharma, and Sanjiv Narayan. Energy optimization in android applications through wakelock placement. In *2014 Design, Automation & Test in Europe Conference & Exhibition (DATE)*, pages 1–4, 2014.
- [2] Luis Cruz and Rui Abreu. Performance-based guidelines for energy efficient mobile applications. In *2017 IEEE/ACM 4th International Conference on Mobile Software Engineering and Systems (MOBILESoft)*, pages 46–57, 2017.
- [3] Stefanos Georgiou, Stamatia Rizou, and Diomidis Spinellis. Software development lifecycle for energy efficiency: Techniques and tools. Anno non specificato.
- [4] Chaorong Guo, Jian Zhang, Jun Yan, Zhiqiang Zhang, and Yanli Zhang. Characterizing and detecting resource leaks in android applications. In *2013 28th IEEE/ACM International Conference on Automated Software Engineering (ASE)*, pages 389–398, 2013.
- [5] Ding Li and William G. J. Halfond. An investigation into energy-saving programming practices for android smartphone app development. In *Anno non specificato*, 2014.
- [6] Jeongyeup Paek, Joongheon Kim, and Ramesh Govindan. Energy-efficient rate-adaptive gps-based positioning for smartphones. In *Proceedings of the 8th International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services, MobiSys '10*, page 299–314, New York, NY, USA, 2010. Association for Computing Machinery.
- [7] Rui Pereira, Marco Couto, João Saraiva, Jácome Cunha, and João Paulo Fernandes. The influence of the java collection framework on overall energy consumption. In *Anno non specificato*.
- [8] Sanae Rosen, Ashkan Nikraves, Yihua Guo, Z. Morley Mao, Feng Qian, and Subhabrata Sen. Revisiting network energy efficiency of mobile apps: Performance in the wild. In *Proceedings of the 2015 Internet Measurement Conference, IMC '15*, page 339–345, New York, NY, USA, 2015. Association for Computing Machinery.
- [9] Ruben Saborido, Rodrigo Morales, Foutse Khomh, Yann-Gael Gu, and Giuliano Antoniol. Getting the most from map data structures in android. In *Anno non specificato*.
- [10] A. R. Tonini, L. M. Fischer, J. C. B. d Mattos, and L. B. d Brisolara. Analysis and evaluation of the android best practices impact on the efficiency of mobile applications. In *Proceedings of the 2013 III Brazilian Symposium on Computing Systems*, 2013.
- [11] K.S. Vallerio, Lin Zhong, and N.K. Jha. Energy-efficient graphical user interface design. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 5(7):846–859, 2006.
- [12] Claas Wilke, Sebastian Richly, Sebastian Götz, Christian Piechnick, and Uwe Aßmann. Energy consumption and efficiency in mobile applications: A user feedback study. In *2013 IEEE International Conference on Green Computing and Communications and IEEE Internet of Things and IEEE Cyber, Physical and Social Computing*, pages 134–141, 2013.