

ALMA MATER STUDIORUM · UNIVERSITÀ DI  
BOLOGNA

---

SCUOLA DI SCIENZE  
Corso di Laurea in Informatica

**Un Oracolo per la scelta  
location-based dell'interfaccia di rete  
nei dispositivi mobili**

**Tesi di Laurea in Reti di Calcolatori**

**Relatore:  
Chiar.mo Prof.  
Vittorio Ghini**

**Presentata da:  
Michele Corazza**

**Sessione 2  
Anno Accademico 2012-13**



# Introduzione

Questa tesi si pone come obiettivo l'implementazione di uno strumento (l'oracolo) che riesca a discriminare quali interfacce di rete (UMTS/3G o Wi-Fi) mantenere attive, a partire dalle informazioni sulla posizione geografica del dispositivo. Lo studio di tale soluzione trova le sue ragioni negli sviluppi degli ultimi anni, che hanno reso possibile l'utilizzo di veri e propri PC con dimensioni fortemente ridotte, i dispositivi mobili. Oltre a tale sviluppo, sono sempre più diffuse le reti wireless, come le reti WiFi e 3G, grazie alle quali è possibile avere accesso ad internet in aree sempre più estese e persino all'aperto. È in questo contesto che è stato proposto un approccio per uno switch seamless, invisibile al livello applicativo, fra tipologie di reti eterogenee, denominato Always Best Package Switching (ABPS) [1].

D'altro canto, seppure si siano fatti dei progressi nella riduzione dei consumi energetici delle componenti hardware dei dispositivi mobili e nella capacità delle batterie, essi hanno un'autonomia limitata e l'aumento dell'autonomia è un aspetto chiave per l'utilizzo di tali dispositivi. La tecnologia ABPS ha purtroppo dei costi energetici elevati, in quanto trasmette su entrambe le interfacce presenti sul dispositivo, aumentandone i consumi. È stato per questo proposto un oracolo che utilizzi le informazioni geografiche, che sono accessibili ai dispositivi mobili moderni mediante un ricevitore GPS, per limitare i consumi del dispositivo, mantenendo accese solo le interfacce necessarie per garantire la continuità della connessione.

Seppure esistano strumenti simili all'oracolo qui proposto, essi si basano su una fase di apprendimento, che determina quali interfacce siano utili in un

dato momento. L'oracolo qui proposto, invece, necessita solo in parte di un periodo di training, in quanto sfrutta un database di Access Point(AP) WiFi preesistente, estrapolando da esso le informazioni necessarie a compiere le scelte più appropriate. Esso utilizza inoltre un approccio per la valutazione quantitativa della disponibilità di connettività WiFi, basato su una misura del rapporto fra la superficie in cui è disponibile il segnale e un orizzonte spaziale che circonda il dispositivo.

L'implementazione di tale oracolo è dunque l'oggetto di studio di questa tesi, nella quale analizzeremo dapprima le tendenze e lo scenario di utilizzo che hanno portato alla creazione del software, quali lo sviluppo di reti WiFi e dispositivi mobili. Si specificheranno poi gli obiettivi e le priorità del progetto rispetto ai consumi, alla disponibilità di connessione e al comportamento desiderato rispetto agli eventi possibili. Verranno poi specificati gli strumenti utilizzati, quali il sistema operativo Linux e una serie di librerie, nonché le ragioni per il loro utilizzo qualora necessario. Si passerà dunque a descrivere le componenti fondamentali necessarie all'oracolo e il processo di progettazione che ha condotto alla loro realizzazione. Verranno poi descritte e motivate alcune scelte implementative significative che realizzano le finalità individuate in fase di progettazione. Infine, verranno fornite delle valutazioni sulla validità dell'approccio adottato, sia tramite un'analisi delle problematiche relative all'implementazione proposta, sia tramite test per valutare l'efficienza dell'oracolo.

# Indice

<b>Introduzione</b>	<b>i</b>
<b>1 Scenario</b>	<b>1</b>
1.1 ABPS e la proposta dell'oracolo . . . . .	1
1.2 I dispositivi mobili . . . . .	2
1.3 Le reti mobili . . . . .	3
1.4 Le reti WiFi pubbliche . . . . .	4
<b>2 Obiettivi</b>	<b>7</b>
2.1 Effetti desiderati . . . . .	7
2.2 La scelta: priorità e modalità . . . . .	8
2.3 La disponibilità del WiFi . . . . .	9
<b>3 Strumenti e tecnologie utilizzate</b>	<b>11</b>
3.1 Il sistema operativo . . . . .	11
3.2 Una fonte di informazioni sugli AP: WiGLE . . . . .	12
3.3 Le librerie C . . . . .	13
3.3.1 Richieste HTTP e cookie: libcurl . . . . .	13
3.3.2 Comunicazione con il ricevitore GPS: libgps . . . . .	14
3.3.3 Informazioni dalla NIC WiFi:iwlib . . . . .	14
3.3.4 La base di dati: sqlite . . . . .	14
3.3.5 Linked list: cpan . . . . .	15
3.3.6 Gli strumenti di testing . . . . .	15

---

<b>4</b>	<b>Progettazione</b>	<b>17</b>
4.1	Panoramica . . . . .	17
4.2	Stimare la disponibilità . . . . .	18
4.3	Stimare la portata degli AP . . . . .	19
4.4	Tables del database e query . . . . .	22
<b>5</b>	<b>Implementazione</b>	<b>23</b>
5.1	I cambiamenti di stato . . . . .	23
5.2	Il calcolo dell'area coperta da segnale . . . . .	24
5.3	Le operazioni di geometria sferica . . . . .	27
5.3.1	Distanza fra punti: la Great Circle Distance . . . . .	27
5.3.2	Determinare lo stato dei (sotto)quadrati . . . . .	28
5.4	La qualità del segnale WiFi . . . . .	30
5.5	Aggiornamenti del database . . . . .	30
5.6	Costanti e scelte implementative . . . . .	31
<b>6</b>	<b>Valutazione e sviluppi futuri</b>	<b>33</b>
6.1	Considerazioni preliminari . . . . .	33
6.2	Problematicità . . . . .	34
6.2.1	La precisione della stima di disponibilità . . . . .	34
6.2.2	L'oracolo e i consumi . . . . .	35
6.2.3	WiGLE e i dati sugli AP Wifi . . . . .	37
6.3	I test . . . . .	38
6.3.1	Test con gpsfake . . . . .	38
6.3.2	Test con ricevitore GPS . . . . .	40
6.4	Sviluppi futuri . . . . .	40
6.4.1	Un'altra fonte di dati per effettuare scelte . . . . .	40
6.4.2	Migliorare la gestione del WiFi . . . . .	41
6.4.3	La gestione delle NIC . . . . .	42
<b>7</b>	<b>Conclusioni</b>	<b>43</b>
	<b>Bibliografia</b>	<b>47</b>

# Elenco delle figure

1.1	Consumo delle varie interfacce di rete mobili . . . . .	4
1.2	AP di Iperbole a Bologna . . . . .	5
5.1	Intersezione di cerchi . . . . .	25
5.2	Visualizzazione dell'approccio dei sotto-quadrati utilizzato per calcolare l'unione fra aree di cerchi . . . . .	26
6.1	Consumi di una scansione WiFi . . . . .	36
6.2	Test con gpsfake . . . . .	39





# Elenco delle tabelle

1.1	Quote di mercato per classe di dispositivi . . . . .	3
-----	--	---



# Elenco degli Algoritmi

4.1	Eventi e azioni dell'oracolo . . . . .	18
5.1	Implementazione dello switch fra stati . . . . .	24



# Capitolo 1

## Scenario

In questo capitolo affronteremo lo scenario in cui è stato affrontato lo studio dell'oracolo, in particolare rispetto alla crescita dispositivi mobili, alla disponibilità crescente di reti WiFi pubbliche. Si discuterà inoltre di ABPS, poiché la proposta e gli obiettivi dell'oracolo sono derivanti da un articolo, che propone l'utilizzo di un software per ridurre i consumi derivanti da una trasmissione contemporanea di due interfacce di rete.

### 1.1 ABPS e la proposta dell'oracolo

La proposta di un oracolo in grado di selezionare la Network Interface Card (NIC) più appropriata viene da un articolo [2] nel quale viene proposto un software che selezioni le reti a partire dalle informazioni geografiche. Lo scenario proposto riguarda una tecnologia chiamata ABPS, che consente di mantenere attiva una connessione di rete anche durante il passaggio della connessione fra interfacce diverse. Per effettuare tale operazione, tuttavia, è necessario trasmettere da entrambe le interfacce contemporaneamente, provocando un consumo energetico non trascurabile per i dispositivi mobili. Da ciò deriva la proposta di utilizzare un oracolo, in modo da accendere entrambe le interfacce solo quando si debba passare da un'interfaccia all'altra, riducendo i consumi. Sempre nell'articolo viene proposto un modello per valutare

tale approccio basato sulle catene di Markov, che mostra come i consumi del sistema ABPS coadiuvato da un oracolo siano ridotti in modo significativo e non vi siano effetti collaterali sulla disponibilità di connessione. Sebbene sia questo lo scenario fondamentale per lo studio dell'oracolo proposto, vi sono altre ragioni che rendono un tale software interessante, quali la diffusione di reti WiFi e dei dispositivi mobili.

## 1.2 I dispositivi mobili

Negli ultimi anni si è assistito a una crescente diffusione di dispositivi mobili per l'utilizzo quotidiano. Tali dispositivi, sempre più potenti, sono ormai dei veri e propri Personal Computer, in grado non solo di offrire una piattaforma per il consumo di contenuti multimediali di vario tipo, ma anche di fornire funzioni un tempo esclusive ai PC tradizionali, grazie a una potenza di calcolo sempre crescente. Secondo i dati forniti da IDC (si veda tabella 1.1) la vendita di smartphone e tablet sorpassa ormai quelle di PC desktop e portatili combinate, rendendo i dispositivi mobili le piattaforme di computing di maggior successo degli ultimi anni. Tali dispositivi dispongono di hardware che spesso non è presente nei pc tradizionali, quali interfacce 2G/3G per l'utilizzo di reti telefoniche e scambio di dati a pacchetto, un ricevitore GPS e altri sensori di varia natura. La presenza di tali sensori, oltre a fornire nuovi paradigmi di interazione uomo/macchina, può essere sfruttata per ottenere informazioni sull'ambiente circostante, aspetto che può essere utilizzato per automatizzare scelte o operazioni sulla base della locazione geografica o di altri fattori quali pressione, temperatura, orientamento del dispositivo, etc. È grazie a questi ed altri aspetti che è stata possibile l'implementazione dell'oracolo oggetto di questa Tesi, che utilizza le informazioni geografiche come dato fondamentale.

<i>Tipo di dispositivo</i>	2012( <i>dati</i> )	2013( <i>stima</i> )	2014( <i>stima</i> )
PC (Desktop e Portatili)	341, 273	305, 178	289, 239
Ultramobile	9, 787	20, 301	39, 824
Tablet	120, 203	201, 825	276, 178
Telefonini e smartphone	1.746.177	1.821.193	1901, 188

Tabella 1.1: Quote di mercato per classe di dispositivi. [3]

## 1.3 Le reti mobili

Parallelamente alla diffusione dei dispositivi mobili, anche prima che essi si trasformassero in PC veri e propri, è nata l'esigenza di costruire reti per lo scambio di pacchetti che fossero adatte all'utilizzo in un contesto di mobilità. Con l'avvento degli smartphone tale sviluppo è accelerato, per far fronte alla necessità di connessione da parte di una sempre maggiore quantità di utenti che utilizzano dispositivi mobili. Se le prime reti GPRS/EDGE fornivano velocità dell'ordine della decina di Kbps, le prime reti 3g/UMTS hanno portato a velocità dell'ordine del centinaio di Kbps, sufficienti per la fruizione di contenuti testuali e di immagini sul web. Più recentemente le reti HSPA hanno portato la velocità di trasmissione teorica al Mbps, rendendo possibile per gli utenti dai dispositivi mobili il consumo di contenuti multimediali. L'asticella tecnologica è stata ulteriormente alzata con l'avvento delle tecnologie 4G/LTE, che permettono velocità teoriche dell'ordine del centinaio di Mbps, rendendo di fatto la tecnologia superiore alle ADSL che utilizzano un doppino telefonico per la trasmissione.

Tuttavia questa crescita delle velocità di trasmissione ha un prezzo. Con tale crescita aumentano anche i consumi della Network Interface Card (NIC) associata (figura 1.1). La figura rende evidente come il consumo di un'interfaccia 3G e una più tradizionale GSM sia comparabile per alte quantità di dati trasmessi. Tale differenza, tuttavia, diventa più evidente per piccole quantità di dati e quando le interfacce non trasmettono o trasmettono dati

telefonici o SMS. La figura non riporta i consumi delle NIC 4G/LTE, che non sono oggetto di studio per l'oracolo, ma hanno consumi energetici maggiori di 3G e di WiFi, seppure presentino un consumo per quantità di dati minore rispetto al 3G al crescere della quantità di dati trasmessi [5]. A differenza di un'interfaccia WiFi, inoltre, le interfacce GSM e 3G rimangono attive anche quando non trasmettono né ricevono dati, poiché sono responsabili delle trasmissioni telefoniche tradizionali e non possono pertanto interrompere il collegamento con la rete. Dalla figura è facile notare, inoltre, come un'interfaccia WiFi sia più efficiente di qualsiasi interfaccia mobile, 3G o GSM che sia, oltre a fornire stati di powersave ben codificati che ne minimizzano i consumi quando non viene utilizzata. È quindi sempre preferibile utilizzare una rete WiFi quando essa sia disponibile, spegnendo l'interfaccia 3G ed affidando per lo scambio di chiamate telefoniche ed SMS all'interfaccia 2G.

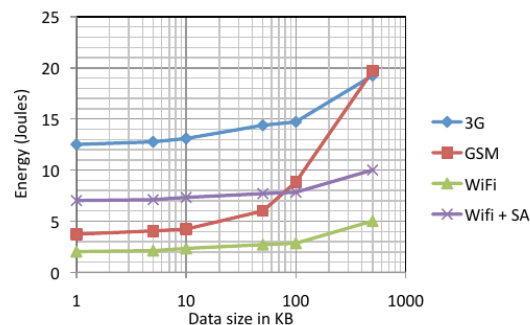


Figura 1.1: Il consumo delle interfacce di rete GSM, 3G e WiFi. [4]

## 1.4 Le reti WiFi pubbliche

Oltre al suddetto sviluppo di reti cellulari per la trasmissione di dati, la crescente diffusione di dispositivi mobili ha portato, nelle aree urbane, alla creazione di AP WiFi pubblicamente accessibili, sia offerti da istituzioni pubbliche, sia da commercianti, hotel e in generale enti privati. Tali AP consentono, di solito previa una registrazione, di accedere alla rete anche all'aperto



senza alcun costo. Esempi di tali reti sono presenti nei maggiori aeroporti, nelle biblioteche, nelle sedi universitarie. Per quanto riguarda la città di Bologna, ad esempio, esistono due reti fornite rispettivamente dal Comune e dall'Università, che consentono l'accesso ai cittadini registrati, coprendo grosse porzioni del centro storico. ALMAWIFI, la rete di ateneo, fornisce connettività wireless per gran parte della zona universitaria, da via Zamboni fino a porta S.Donato, oltre che al Lazzaretto e nelle vicinanze di varie sedi universitarie dentro e fuori porta. Iperbole, la rete pubblica comunale, copre invece il centro cittadino, piazza Maggiore, piazza Verdi, la Montagnola, il parco del Cavaticcio, piazza Liber Paradisus, etc (si veda figura 1.2). Il comune offre inoltre la possibilità agli esercizi commerciali di partecipare all'iniziativa aggiungendo un router WiFi che fornisce accesso pubblico in cambio di un contributo monetario, in modo da ampliare ulteriormente la disponibilità della rete nell'area urbana.

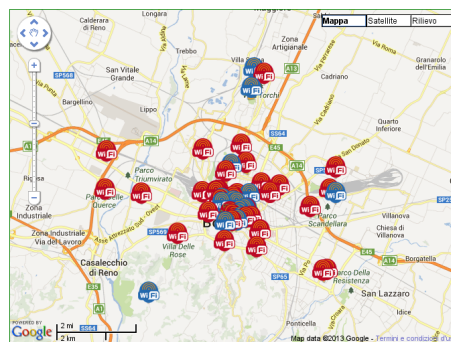


Figura 1.2: Gli AP pubblicamente accessibili di Iperbole: in rosso quelli del Comune, in blu quelli dei privati. [6]

Sebbene la situazione bolognese non sia che un esempio, sono sempre di più le città che adottano una strategia al fine di fornire AP pubblici ai cittadini e turisti, rendendo di fatto possibile la connettività wifi su porzioni crescenti del territorio. La legislazione italiana, in particolare, che prevedeva dal 2005 una stretta politica di controllo degli accessi, rendendo di fatto obbligatorio l'assegnamento di un account ad ogni utente autorizzato [7], è

oggi più lasciva e rende possibili ulteriori sviluppi in tale settore [8]. Oltre a queste iniziative, è interessante segnalare anche il progetto Fon, nato per condividere la propria connessione WiFi in modo sicuro e senza eccessive ripercussioni sulla banda disponibile tramite un router dedicato.

È dunque chiaro come la disponibilità di reti pubblicamente accessibili nelle aree urbane sia in costante crescita. Partendo dalle considerazioni della sezione precedente sui consumi delle varie interfacce di rete, è dunque interessante chiedersi se sia necessario mantenere attive tutte le interfacce disponibili o se sia possibile in qualche modo discriminare, sulla base della posizione geografica dell'utente, quale interfaccia sia la più appropriata. È proprio questo l'oggetto di studio di questa Tesi, che fornisce anche una prima implementazione di tale meccanismo.

# Capitolo 2

## Obiettivi

In questo capitolo tratteremo gli obiettivi dell'oracolo oggetto di questa Tesi. In generale il software dovrà essere in grado di scegliere lo stato più appropriato rispetto alle NIC necessarie, in particolare discriminando fra tre stati possibili:

**Tutto Acceso** : Sia la NIC UMTS che quella WiFi sono accese;

**WiFi Acceso** : Solo la NIC WiFi è accesa;

**UMTS Acceso** : Solo la NIC UMTS è accesa;

### 2.1 Effetti desiderati

L'oracolo di cui si fornisce un'implementazione ha la finalità di effettuare una scelta fra le NIC disponibili in un contesto di mobilità, valutando la scelta più coerente in considerazione di due principali effetti desiderati:

- Massimizzare la disponibilità della connessione;
- Minimizzare i consumi delle varie NIC;

È da subito chiaro come tali finalità siano fundamentalmente in contrasto: tanto più si spengono le interfacce inutilizzate in modo aggressivo, quanto

più si minimizza la disponibilità di connettività in caso di scelte errate e viceversa. Nel contesto mobile è lecito considerare la disponibilità di una qualsivoglia connessione come il fattore più importante, poiché la mancanza di un accesso ad internet ha un effetto immediatamente riscontrabile dall'utente, mentre i consumi hanno sì ripercussioni sull'utilizzo quotidiano, ma più a lungo termine. Sebbene si desideri ridurre i consumi del device, nel contesto dell'oracolo si è tentato di effettuare scelte quanto più possibile conservative, in modo da minimizzare le disconnessioni causate da scelte errate.

## 2.2 La scelta: priorità e modalità

Uno dei nodi centrali della ricerca del miglior trade-off fra le finalità suddette è la scelta di priorità data alle NIC, effettuata sulla base di due fattori fondamentali:

- La velocità di trasmissione delle NIC;
- I consumi delle NIC.

Per quanto riguarda la velocità di trasmissione, non è purtroppo possibile discriminare in modo efficace le reti cellulari di ultima generazione e le reti WiFi. Se, infatti, le velocità teoriche di entrambe le tecnologie possono essere comparate, non è possibile conoscere a priori la banda disponibile in un dato momento. Un semplice esempio può essere fatto considerando un AP WiFi 802.11n e una rete cellulare HDSPA+. Se la velocità teorica dell'AP (senza considerare interferenze e perdite di pacchetti) raggiungerebbe 600 Mbit/s, non vi è garanzia che la banda in uscita dall'AP non sia anche di molto inferiore a tale valore, fino a rendere l'AP una scelta svantaggiosa. Viceversa, se la velocità teorica di HDSPA+ è di 168 Mbit/s, gli stessi problemi di banda disponibile ed interferenze potrebbero renderla la scelta più svantaggiosa. Pertanto, sebbene vi sia un vantaggio teorico in termini di banda nell'utilizzo di tecnologie WiFi, la scelta non può essere fondata su tale fattore, troppo

dipendente dalla situazione particolare. Per quanto riguarda i consumi, invece, la situazione è molto più chiara. Le NIC WiFi sono molto più efficienti dal punto di vista energetico e consentono modalità di standby impossibili alle NIC cellulari.

Per queste considerazioni si è scelto di preferire una connessione WiFi ogni qualvolta essa sia disponibile, utilizzando la NIC cellulare come dispositivo di riserva per garantire connettività in ogni situazione. È inoltre importante considerare come, nella maggior parte dei dispositivi mobili moderni sia possibile far operare la NIC cellulare anche in modalità GSM, riducendo in modo sostanziale i consumi in stato di idle, pur consentendo l'utilizzo della rete telefonica.

## 2.3 La disponibilità del WiFi

Abbiamo dunque visto come la disponibilità di AP WiFi di cui sia possibile ricevere il segnale sia il parametro più importante per discriminare fra i vari stati possibili. È quindi a partire da tale dato che si effettua la scelta sullo stato selezionato, tenendo conto delle priorità discusse in precedenza. Pertanto è auspicabile accendere la NIC WiFi ogni qual volta sia disponibile un AP nelle vicinanze, eventualmente mantenendo accesa la NIC UMTS in caso di dubbio, e spegnere la prima interfaccia solo in caso di assenza di segnale. Per effettuare tale scelta è necessario valutare la disponibilità di connettività WiFi in un dato momento. Tale valore, però, è conoscibile a priori solamente attivando la NIC associata e compiendo una scansione delle reti disponibili. È a questo punto, tuttavia, che ci viene in aiuto la presenza di un ricevitore GPS sul dispositivo. Tramite tale ricevitore, infatti, è possibile, conoscendo gli AP di una data zona, effettuare una valutazione sulla disponibilità della connessione. Tale valutazione, però, non può però semplicemente considerare ogni AP disponibile in loco, in quanto la maggior parte di essi è protetta da chiave di cifratura non in nostro possesso.

Un altro dato fondamentale riguarda la portata degli AP, un valore che

dipende da molti fattori, la maggior parte dei quali non è possibile conoscere in modo esaustivo, un problema su cui torneremo in seguito.

Pertanto è indispensabile mantenere un elenco di AP, legati alle proprie posizioni geografiche, alla portata e alla possibilità di connessione. Tale possibilità può dipendere dalla conoscenza dei dati d'accesso, dalla assenza di cifratura o dalla possibilità di accesso pubblico, casi che pertanto devono essere considerati.

Per compilare tale elenco in maniera esaustiva sarebbe necessario triangolare la posizione e valutare la portata dell'AP durante gli spostamenti. Ciò porterebbe a un lungo periodo di training, durante il quale l'oracolo non sarebbe in grado di effettuare alcuna scelta sensata e dovrebbe mantenere accese tutte le interfacce disponibili, memorizzando le aree già visitate.

# Capitolo 3

## Strumenti e tecnologie utilizzate

Nel seguente capitolo tratteremo le tecnologie che sono state utilizzate per la creazione. In particolare verranno discusse le necessità che hanno portato alla scelta del sistema operativo e delle librerie utilizzate.

### 3.1 Il sistema operativo

È stato già chiarito nei capitoli precedenti come lo scenario di utilizzo per l'oracolo proposto sia nel contesto dei dispositivi mobili. Sarebbe quindi lecito selezionare un sistema operativo comunemente installato su tali dispositivi. Vi sono tuttavia una serie di problematiche che hanno portato a una scelta differente. Se un'implementazione su piattaforma IOS sarebbe stata molto complessa se non impossibile, a causa delle forti restrizioni poste sia sulla possibilità di sviluppo e testing su sistemi operativi ed hardware arbitrari, sia sulla facoltà di accendere e spegnere direttamente le interfacce di rete. Per quanto riguarda Android, le cui politiche sono meno restrittive riguardo gli aspetti sopra citati, vi è un altro problema. Il software in questione è stato strutturato come un demone, sempre attivo, che pertanto beneficia fortemente di una codifica di basso livello. La libreria bionic, imple-

mentazione della libreria C di sistema per Android, appare poco utilizzata e la documentazione ad essa associata è scarsa, per non parlare delle complessità delle interazioni con service provider quali LocationService per ottenere la posizione geografica.

Si è pertanto selezionato come sistema operativo per la realizzazione dell'oracolo Linux in senso più tradizionale, utilizzando il linguaggio C e le librerie di sistema GNU. Questo ha portato anche a forti benefici per quanto riguarda la disponibilità di librerie di terze parti per gestire vari aspetti del sistema. Non è da escludere che in futuro vi siano un maggior numero di dispositivi mobili che utilizzano Linux, né la possibilità di un porting su Android.

## 3.2 Una fonte di informazioni sugli AP: WiGLE

Come esplicitato in precedenza, l'oracolo necessita di una grande mole di informazioni sulla posizione e sullo stato degli AP. Raccogliendo tali dati durante l'utilizzo sarebbero necessari forti tempi di apprendimento, che di fatto renderebbero l'oracolo inutile se il dispositivo si trova in luoghi mai visitati in precedenza. Per ovviare a questo problema si è cercata una fonte di informazioni da complementare a quelle raccolte a runtime, individuando WiGLE<sup>1</sup> come migliore alternativa. Si tratta di un database di AP globale, i cui dati vengono caricati dagli utenti. Il sistema fornisce delle API REST per scaricare e caricare dati, con la possibilità di filtrare i risultati sulla base della loro posizione geografica o di altri parametri.

Tali risultati vengono utilizzati dall'oracolo per ottenere più informazioni possibili sugli AP circostanti. Fra i dati rilevanti vi sono le informazioni identificative di un AP, le coordinate geografiche e un flag "free", che indica se la rete sia pubblicamente accessibile. Tali informazioni permettono all'oracolo di conoscere a priori lo stato dell'area circostante, compiendo scelte

---

<sup>1</sup>Wireless Geographic Logging Engine, [www.wigle.net](http://www.wigle.net)



anche prima di aver effettuato scansioni e di aver determinato le reti per cui si conoscono le credenziali di accesso. Purtroppo il flag “free” non sempre è settato correttamente, almeno nelle zone della città di Bologna su cui sono stati effettuati test.

Vi sono però due aspetti di WiGLE che, pur non impedendo il suo utilizzo nel contesto dell’oracolo, hanno delle ripercussioni sulla disponibilità del servizio. Le query remote sono disponibili solamente agli utenti registrati. Sebbene la registrazione sia gratuita e non abbia alcun prerequisito, è dunque necessario memorizzare un cookie per effettuare richieste al di fuori del browser. Il numero di richieste per utente in un lasso di tempo è inoltre fortemente limitato. Non vi sono indicazioni più specifiche sui limiti imposti agli utenti, ma dopo qualche decina di richieste l’utente viene bannato per un tempo imprecisato, venendo rimandato a una pagina di errore ad ogni richiesta. Discuteremo in seguito come si sia tentato di mitigare l’impatto di tale restrizione. La licenza di utilizzo di WiGLE non permette, infine, di redistribuire i dati, rendendo impossibile la distribuzione di eventuali database precompilati.

## 3.3 Le librerie C

In questa sezione descriveremo brevemente le librerie C utilizzate dall’oracolo e il loro ruolo.

### 3.3.1 Richieste HTTP e cookie: libcurl

Al fine di semplificare la gestione delle query remote a WiGLE, si è scelto di utilizzare la libreria libcurl, che fornisce, tra le svariate funzioni, un’interfaccia semplice per effettuare richieste HTTP. In precedenza si è discussa la necessità di utilizzare un cookie di autenticazione per poter accedere ai servizi REST di WiGLE. La libreria libcurl permette il salvataggio e l’utilizzo di cookie in formato Netscape, nonché di settare uno user-agent personalizzato (necessario per effettuare le query a WiGLE).

### 3.3.2 Comunicazione con il ricevitore GPS: libgps

Sulle distribuzioni Linux tradizionali è presente un demone, chiamato `gpsd`, per fornire ai software che lo richiedono la possibilità di accedere ai dati di un ricevitore GPS. Al fine di accedere ai dati forniti dal ricevitore, viene fornita una libreria C chiamata `libGPS`, in grado di esportare i dati letti dal device in una struttura dati di facile utilizzo.

### 3.3.3 Informazioni dalla NIC WiFi: iwlib

Sebbene venga fornita un'interfaccia di basso livello per la comunicazione con la NIC WiFi (`wireless.h`), nell'oracolo si è utilizzata una libreria di più alto livello, chiamata `iwlib`, che viene fornita con i cosiddetti `wireless tools` (`iwlist`, `iwconfig`, etc). Tali strumenti sono stati recentemente sostituiti dal software `iw`, che utilizza nuove interfacce per la comunicazione con il kernel. Sebbene l'utilizzo di suddetti software sia scoraggiato poichè fa uso dell'antiquata interfaccia `Wireless Extension` per la comunicazione con il kernel, la libreria ad essi associata permette di semplificare fortemente la richiesta di dati riguardanti l'interfaccia di rete e la scansione delle reti disponibili. Non si era, in un primo momento, reperita un'alternativa valida a `iwlib`; si è successivamente trovata una libreria promettente, `wapi`. Sebbene sia possibile, in prospettiva, sostituire `iwlib` con `wapi`. Quest'ultima però fa ancora uso di `iwlib` per il parsing dei risultati di uno scan. Inoltre, sebbene il feature set sia sufficiente per le necessità dell'oracolo, la libreria appare poco diffusa e le ultime modifiche al codice risalgono al 2010.

### 3.3.4 La base di dati: sqlite

Per memorizzare i dati relativi agli AP si è scelto di utilizzare il noto database `sqlite`, che fornisce convenienti interfacce di programmazione per il linguaggio C tramite la libreria `sqlite3`. Tale database ha il vantaggio di non richiedere alcuna configurazione e alcun server per le comunicazioni

con il database, utilizzando semplici letture-scritture su file direttamente dal processo che ne fa uso.

### 3.3.5 Linked list: cpan

Al fine di utilizzare linked list con sentinella, si è scelta una piccola libreria fornita da CCAN, che fornisce le principali primitive per la scansione, l'aggiunta e la rimozione di nodi, nonché per ottenere l'elemento che contiene il nodo della lista, in modo simile a quanto fornito dalle liste di Linux.

### 3.3.6 Gli strumenti di testing

Al fine di testare le performance del software senza la necessità di reali spostamenti e di un ricevitore GPS, si è scelto di utilizzare gpsfake. Tale software, scritto in python, leggendo file NMEA consente di simulare un ricevitore GPS e il demone gpsd ad esso associato, fornendo alle applicazioni informazioni relative alla posizione, al tempo del fix e all'altitudine. Sfortunatamente tale software non è in grado di rispettare i delta temporali fra le sentence NMEA. Per ovviare a tale problema si è spesso imposto un ritardo fra le sentence NMEA a gpsfake. Ciò può causare l'assenza dell'altitudine nella posizione triangolata o l'assenza di un fix temporale, fatti che hanno imposto una particolare attenzione in alcune porzioni del programma. Al fine di utilizzare un GPS reale si è inoltre usato shareGPS per Android, che consente di utilizzare il ricevitore di uno smartphone e trasmetterne i dati via bluetooth emulando una porta seriale.

Al fine di produrre file NMEA si è utilizzato routeconverter, un software grafico in grado di produrre un percorso a partire dai punti di partenza ed arrivo su una mappa, esportando i risultati in svariati formati.

Infine, per visualizzare i dati di gpsfake, si è utilizzato xgps, un'interfaccia grafica per l'utility testuale gpsmon, in grado di stabilire una connessione con gpsd e mostrare i vari parametri da esso esportati, quali posizione, tempo, altitudine, stime degli errori di posizione.



# Capitolo 4

## Progettazione

Segue una descrizione approfondita dei problemi fondamentali coinvolti nella progettazione dell'oracolo, delle soluzioni possibili e di quelle effettivamente implementate.

### 4.1 Panoramica

Occorre innanzitutto individuare la struttura fondamentale dell'oracolo, in particolare gli eventi che scatenano un mutamento di stato. Possiamo immediatamente individuare un algoritmo che rappresenti la struttura dell'oracolo rispetto al sopraggiungere degli eventi fondamentali:

Se la struttura di base dell'algoritmo è chiara e semplice, bisogna ora considerare come possano essere generati gli eventi sopra descritti. Come abbiamo più volte specificato i dati fondamentali a nostra disposizione riguardano la posizione corrente del dispositivo e la posizione di una serie di AP WiFi, reperiti tramite WiGLE. È pertanto necessario studiare delle metriche che misurino la disponibilità di connettività WiFi nelle vicinanze a partire dalla posizione degli AP.

---

**Algorithm 4.1** Eventi e azioni dell'oracolo

---

```
1: Upon EV_NO_WIFI
2:   activeWIFI = FALSE
3:   activeUMTS = TRUE
4:
5: Upon EV_SHORT_WIFI
6:   activeWIFI = TRUE
7:   activeUMTS = TRUE
8:
9: Upon EV_LONG_WIFI
10:  activeWIFI = TRUE
11:  activeUMTS = FALSE
12:
```

---

## 4.2 Stimare la disponibilità

Durante la progettazione del software si sono cercate delle metriche in grado di dare una stima della disponibilità del WiFi per l'utente. Si sono in questo contesto individuati tre approcci possibili. Il primo approccio prevede una previsione dei successivi spostamenti del device, in particolare considerando una posizione stimata nel futuro prossimo, basata sugli spostamenti e sulla lunghezza del ciclo dell'oracolo. Una volta ottenuta tale posizione, è possibile determinare, lungo il percorso fra essa e l'ultima posizione nota, quale sia la disponibilità del WiFi. In particolare, questa quantità è esprimibile tramite una percentuale, misurando l'intersezione fra il segmento fra i due punti e le zone coperte da WiFi.

Un altro approccio prevede di stimare la percentuale di zone coperte dal segnale WiFi nelle vicinanze del dispositivo, entro una superficie la cui dimensione varia a seconda della velocità di spostamento del device.

Un ultimo approccio, indubbiamente il più semplice, prevede di osservare lo stato del segnale nella posizione attuale del dispositivo, non effettuando alcuna previsione.

Le tre soluzioni proposte hanno problemi e vantaggi le une rispetto alle altre, è pertanto sensato discuterne l'accuratezza e il loro effetto sulla disponibilità di connessione. Nel caso di una scelta basata sulla previsione della posizione futura, si pone il problema di prevedere gli spostamenti, un problema non certo banale. Se esistono approcci basati sul machine learning per risolvere tale problema [9], essi richiedono un tempo di apprendimento, che renderebbe vano l'utilizzo dell'oracolo per lunghi periodi prima di avere risultati sensati. Si potrebbe pensare a un approccio probabilistico, in cui si calcolano la direzione e la velocità media, magari applicando un peso crescente ai dati più recenti. Questo approccio tuttavia non dà grandi garanzie di precisione. Il terzo approccio, pur essendo molto semplice, non è in grado di stimare le azioni da intraprendere nel futuro e non fornirebbe abbastanza informazioni per conoscere la durata della connessione WiFi, non permettendo di discriminare fra gli eventi `EV_WIFISHORT` ed `EV_WIFILONG` discussi in precedenza. Inoltre quando viene intrapresa una scelta il dispositivo potrebbe già essersi mosso ulteriormente, per esempio allontanandosi dalla zona con disponibilità WiFi. La seconda soluzione è probabilmente quella che fornisce il miglior compromesso, tuttavia non è in grado di stimare in modo granulare la disponibilità di WiFi, causando effetti negativi sui consumi energetici ma risultando la più conservativa. È stata per questo selezionata quest'ultima come metrica fondamentale per implementare l'oracolo. Scelta una metrica per la disponibilità, resta da risolvere la scelta di un approccio per quantificare la portata del singolo AP, al fine di calcolarne la superficie.

### 4.3 Stimare la portata degli AP

La stima della portata di un AP è un problema complesso, che coinvolge sia le caratteristiche degli apparati di trasmissione e ricezione, sia le interferenze introdotte da altre sorgenti radio e gli ostacoli presenti fra trasmettitore e ricevente.

Una prima formula utile ad approssimare il problema è la attenuazione

dello spazio libero, che calcola la perdita di potenza di un segnale attraverso lo spazio, senza considerare le interferenze, i guadagni delle antenne, né la presenza di oggetti solidi lungo il percorso:

$$FSPL = \left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2 \quad (4.1)$$

Dove:

- FSPL è la attenuazione dello spazio libero o Free-Space Path Loss;
- $d$  è la distanza fra le due antenne in metri;
- $\lambda$  è la lunghezza d'onda del segnale in metri (data dalla frequenza di trasmissione diviso la velocità della luce).

Tale formula, tuttavia, non tiene conto della potenza di trasmissione, che invece viene presa in considerazione dal bilancio di collegamento, che è dato da:

$$P_r = P_t * G_t * G_r / (FSPL * L) \quad (4.2)$$

Dove:

- $P_t$  è la potenza del segnale trasmesso;
- $P_r$  è la potenza del segnale ricevuto;
- $G_t$  è il guadagno dell'antenna del trasmettitore;
- $G_r$  è il guadagno dell'antenna del ricevitore;
- $L$  sono le perdite di segnale;
- $FSPL$  è la attenuazione di segnale nello spazio libero;

Questa formula, pur non considerando interferenze e ostacoli, non è di fatto utilizzabile dall'oracolo, poiché sono ignoti i guadagni dell'antenna dell'AP e la potenza di trasmissione. Sarebbe possibile invece utilizzare la formula



applicando valori predefiniti al guadagno dell'antenna e considerando il valore di sensibilità della NIC del dispositivo mobile, ma tale approccio non è certo applicabile a un contesto urbano, in cui le barriere architettoniche e le interferenze sono numerose e renderebbero la stima inutile ai nostri scopi. Si potrebbe allora creare una mappa a runtime, rilevando la qualità del segnale ogni qual volta sia possibile. Questo approccio richiederebbe però la conoscenza dei luoghi prima di poter effettuare stime sensate, rendendo l'oracolo inutile per lunghi periodi di training.

Viste le precedenti considerazioni, si è deciso di approssimare la portata di un AP nel modo seguente: nel caso non si sia visitata l'area coperta dal segnale, si utilizza un valore arbitrario, in caso contrario a runtime si aggiorna un campo del database per stimare la portata massima, considerando una soglia di sicurezza di qualità del segnale per evitare problemi. Mediante queste assunzioni è possibile ridurre la portata dell'AP a una zona circolare che lo circonda, che dipende dalla qualità (non dalla potenza) del segnale nelle zone in cui lo si è osservato.

Questo approccio, che semplifica notevolmente anche le operazioni di calcolo, può tuttavia creare problemi. Poiché si utilizza la qualità del segnale, che considera anche pacchetti persi e valore di fondo, si potrebbe riscontrare il caso in cui due AP molto vicini trasmettano sullo stesso canale (sulla stessa frequenza) creando forti interferenze nelle loro vicinanze. Il device, passando in una zona in cui le interferenze sono meno forti, aggiornerebbe il valore della portata massima. Nella zona con forti interferenze si avrebbe dunque una stima errata della portata che porterebbe l'oracolo a compiere scelte sbagliate, per esempio spegnendo l'interfaccia UMTS. La stessa situazione si ha con antenne direzionali, che trasmettono il segnale in modo asimmetrico, per le quali una stima circolare non è applicabile.

## 4.4 Tables del database e query

Vale la pena a questo punto descrivere brevemente la struttura della base di dati utilizzata dall'oracolo. Per quanto riguarda gli AP, viene prevista una tabella che contiene le informazioni necessarie alla loro identificazione e geolocalizzazione, inclusa la portata massima, che viene aggiornata quando necessario. Poiché, come evidenziato in precedenza, WiGLE limita fortemente il numero di query effettuabili da uno stesso utente, si devono limitare al massimo le richieste di dati. Per questa ragione il sistema calcola i vertici di una regione quadrata che inscrive un cerchio con raggio di 1000m e centro nella posizione attuale, ottenendo poi da WiGLE gli Ap di tale zona. Al fine di mantenere una traccia delle zone per cui si conoscono i dati, viene memorizzato nel database un querypoint per ogni richiesta a WiGLE che abbia successo. Tale querypoint contiene la posizione geografica del centro della zona analizzata e un timestamp. Ogni ciclo successivo causerà una query a WiGLE solo se non vi sono dati nelle vicinanze, altrimenti verranno semplicemente recuperati gli AP necessari dal database.

# Capitolo 5

## Implementazione

In questo capitolo tratteremo le scelte implementative più rilevanti nell'ambito dell'oracolo.

### 5.1 I cambiamenti di stato

Abbiamo definito nella fase di progettazione gli eventi che portano a un mutamento di stato dell'oracolo, tuttavia non abbiamo ancora definito quali siano i parametri che vengono utilizzati per rilevare tali situazioni. Tratteremo anche il comportamento dell'oracolo in alcuni casi particolari, quali la mancanza di segnale GPS o l'impossibilità di ricevere dati da WiGLE. Per discriminare fra i vari stati vengono usate la percentuale dell'area, la qualità e la presenza di un segnale WiFi a cui si è connessi. Viene inoltre incrementato un contatore, per determinare se si sia connessi a uno stesso AP da molti cicli. La struttura fondamentale dell'oracolo diventa dunque la seguente:

**Algorithm 5.1** Implementazione dello switch fra stati

---

```

1: if status == ALL_ON then                                ▷ Tutte le interfacce accese
2:   if covered == 100 OR connected for a while then
3:     status = WIFI_ON
4:   end if
5:   if covered == 0 AND WiFi not connected then
6:     status = UMTS_ON
7:   end if
8: else if status == WIFI_ON then  ▷ Solo l'interfaccia WiFi è accesa
9:   if wifi not connected OR covered < 100
10: OR signal < threshold then
11:   status = ALL_ON
12: end if
13: else if status == UMTS_ON then ▷ Solo l'interfaccia UMTS è accesa
14:   if covered > 0 then
15:     status = ALL_ON
16:   end if
17: end if

```

---

Bisogna inoltre considerare i casi particolari in cui non sia possibile ottenere un fix GPS o risposte da WiGLE. In tali casi il sistema si cautela in vari modi: se non si hanno dati sulla posizione, a meno di non essere connessi a uno stesso AP da tempo, si preferisce accendere tutte le interfacce, in modo da non causare interruzioni della connessione. Lo stesso approccio si ha in caso di problemi di varia natura nella comunicazione con WiGLE, accendendo tutte le interfacce se non si hanno risultati.

## 5.2 Il calcolo dell'area coperta da segnale

In precedenza abbiamo esaminato le varie assunzioni che sono state effettuate per approssimare l'area con segnale WiFi sufficientemente potente da consentire una connessione. Consideriamo tale area come un cerchio con al

centro l'AP. A questo punto per ottenere la copertura del segnale è necessario calcolare l'area dell'unione dei cerchi. Per effettuare tale operazione è necessario computare le intersezioni fra i cerchi. Se per l'intersezione esclusiva di  $n$  cerchi esistono soluzioni deterministiche quadratiche nel numero di cerchi [11], il problema sorge nel nostro caso, in cui devono essere considerate anche tutte le intersezioni non esclusive fra due o più cerchi (si veda figura 5.1). Tale problema non è di semplice soluzione. Un articolo del 2012 sull'argomento [10] fornisce un algoritmo deterministico di complessità esponenziale nel numero di cerchi. Tale soluzione non è pertanto applicabile al contesto di un oracolo, che deve minimizzare il suo impatto sulle performance di sistema e che può potenzialmente lavorare su centinaia di cerchi nel caso ci si trovi nelle zone urbane con un gran numero di AP.

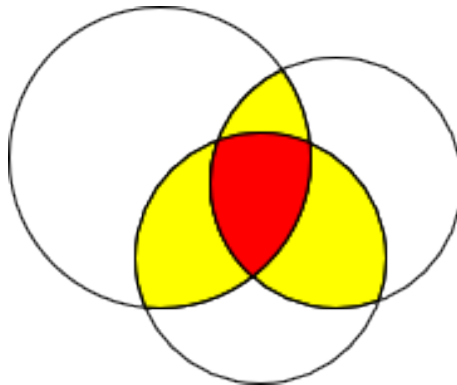


Figura 5.1: Intersezione fra cerchi. In rosso le intersezioni esclusive, in giallo quelle non esclusive

Altre soluzioni al problema utilizzano i cosiddetti metodi di Monte Carlo per approssimare la soluzione, di cui il più banale consiste nel utilizzare un certo numero di numeri random e controllare quanti di essi siano inclusi in un cerchio. Tali metodi richiedono un tempo di computazione più ridotto nella dimensione dell'input, mentre il numero di numeri casuali da utilizzare è elevato e cresce all'aumentare dell'area considerata. Oltretutto nel caso di utilizzo di numeri random di buona qualità (es da `/dev/random`) si avrebbero

senza dubbio impatti sulla performance del dispositivo, mentre per numeri pseudorandom (es `/dev/urandom`) sarebbe necessario effettuare il cosiddetto sampling sui numeri pseudorandom ottenuti per garantire la distribuzione numerica richiesta [12].

Si è scelta pertanto una soluzione che sia in grado di dare un'approssimazione certa del problema ma che risulti di semplice implementazione. Si procede dividendo l'area quadrata in quattro sotto-quadrati uguali. Si determina poi lo stato di ciascun sotto-quadrato rispetto ai cerchi (gli AP):

- Se il quadrato è interamente contenuto in almeno un cerchio, lo marchiamo come pieno;
- Se il quadrato non interseca alcun cerchio, lo marchiamo come vuoto;
- Altrimenti, lo marchiamo come sconosciuto.

In questo modo abbiamo una limitazione inferiore della superficie occupata dai cerchi, data dal numero di quadrati marcati come pieni per la loro area. La limitazione superiore è invece data dall'area occupata dai quadrati marcati come vuoti. L'incertezza è infine l'area dei quadrati con stato sconosciuto. Grazie a queste proprietà è possibile selezionare una precisione considerata sufficiente e procedere ricorsivamente dividendo ogni sotto-quadrato con stato sconosciuto fino a raggiungere l'errore desiderato (si veda figura 5.2).

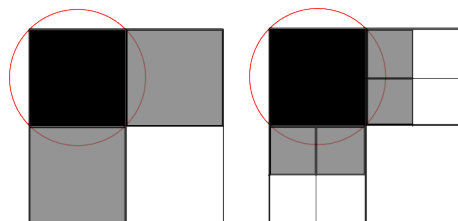


Figura 5.2: Una visualizzazione del metodo utilizzato per approssimare le aree coperte dai cerchi. In nero le aree "piene" del quadrato, in grigio quelle con stato incerto. A destra vediamo l'ulteriore suddivisione del quadrato per aumentare la precisione

L'implementazione pratica di tale approccio avviene tramite una particolare struttura dati chiamata quadtree, costituita da un albero i cui nodi posseggono esattamente quattro figli. La radice di tale albero è il quadrato di partenza, i figli sono i sotto-quadrati da esso contenuti. Ogni qual volta si passi al caso ricorsivo il sotto-quadrato viene diviso ulteriormente fino a raggiungere i risultati desiderati.

Si sono effettuati una serie di test nei quali si popolava un'area quadrata con lato di 2000m con mille AP di raggio variabile da 10 a 150 m. Il tempo per calcolare l'area occupata con una confidenza del 3% (su un unico thread di un processore Intel Core i7 con frequenza massima di 3GHz) è stato inferiore al minuto in tutti i casi. Per contrasto, il metodo deterministico proposto in precedenza avrebbe richiesto  $O(2^{1000})$  operazioni. Si segnala inoltre come sia indubbiamente possibile ottimizzare il processo di calcolo, ad esempio utilizzando un approccio parallelo nel quale ogni thread si occupa di scomporre un singolo sotto-quadrato.

## 5.3 Le operazioni di geometria sferica

Per effettuare i calcoli richiesti dalla misura dell'area descritta in precedenza è stato necessario implementare una serie di funzioni che compissero una serie di operazioni fondamentali sulla superficie terrestre in modo sufficientemente preciso.

### 5.3.1 Distanza fra punti: la Great Circle Distance

Per calcolare la distanza fra due punti, date le loro latitudini e longitudini, si utilizza una formula detta legge sferica dei coseni:

$$d = r \arccos(\sin(\phi_1) \sin(\phi_2) + \cos(\phi_1) \cos(\phi_2) \cos(\Delta\lambda)) \quad (5.1)$$

Dove:

- $r$  è il raggio terrestre

- $\phi_1$ ,  $\phi_2$  e  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  sono rispettivamente le latitudini e le longitudini dei due punti
- $\Delta\phi$  e  $\Delta\lambda$  sono i valori assoluti delle differenze fra le latitudini e le longitudini dei due punti

In ambito computazionale, però, vi sono formule che risultano meglio condizionate dal punto di vista numerico. Nel contesto dell'oracolo si è scelto di utilizzare un caso particolare della formula di Vincenty, che è un metodo per calcolare le distanze fra punti su un ellissoide, di cui una sfera è un caso particolare:

$$d = r \arctan\left(\frac{\sqrt{(\cos \phi_2 \sin \Delta\lambda)^2 - (\cos \phi_1 \sin \phi_2 - \sin \phi_1 \cos \phi_2 \cos \Delta\lambda)^2}}{\sin \phi_1 \sin \phi_2 + \cos \phi_1 \cos \phi_2 \cos \Delta\lambda}\right) \quad (5.2)$$

Dove vengono usati gli stessi nomi enunciati in precedenza.

### 5.3.2 Determinare lo stato dei (sotto)quadrati

Per determinare lo stato di un sotto-quadrato rispetto ad un cerchio bisogna distinguere tre casi:

- Se tutti i vertici del quadrato sono contenuti nel cerchio: il quadrato è pieno;
- Altrimenti se il cerchio interseca i lati del quadrato o è contenuto nel quadrato: stato sconosciuto;
- Altrimenti il quadrato è vuoto.

Il primo caso è dunque di banale verifica, basta applicare la formula per la great circle distance fra i vertici e il centro del cerchio e confrontarla con il raggio del cerchio. Il secondo caso risulta invece più complesso. Poiché il quadrato è costituito da linee di latitudine o di longitudine, per controllare se sia presente un cerchio all'interno del quadrato è sufficiente confrontare le



coordinate del centro con gli estremi di latitudine e longitudine forniti dai segmenti. Per controllare se vi sia intersezione con i lati, occorre invece calcolare la minima distanza fra i singoli lati e il centro del cerchio e compararla con il raggio. Per effettuare tale operazione si utilizzano due approcci differenti. Nel caso in cui la proiezione del centro del cerchio cada sul segmento, è sufficiente utilizzare la formula della cross-track distance d:

$$d = \arcsin(\sin(d_{AC}/r) * \sin(\theta_{AC} - \theta_{BC})) * r \quad (5.3)$$

Dove:

- A e B sono gli estremi del segmento;
- C è il punto da cui calcolare la distanza;
- $d_{XY}$  è la distanza fra i punti X e Y;
- $\theta_{XY}$  è l'azimuth iniziale fra i punti X e Y;

Occorre quindi calcolare anche l'azimuth  $\theta_{12}$ , ovvero la direzione iniziale in un percorso fra due punti rispetto al nord magnetico:

$$\theta_{12} = \arctan\left(\frac{\sin \Delta\lambda \cos \phi_2}{\cos \phi_1 \sin \phi_2 - \sin \phi_1 \cos \phi_2 \cos \Delta\lambda}\right) \quad (5.4)$$

Dove:

- $\phi_{1,2}$  e  $\lambda_{1,2}$  sono le latitudini e le longitudini dei due punti;
- $\Delta\lambda$  è il valore assoluto della differenza delle longitudini dei due punti

Nel caso in cui, viceversa, la proiezione del centro del cerchio non cada sul segmento, viene calcolato il minimo fra le distanze dei due estremi del segmento con il centro del cerchio.

## 5.4 La qualità del segnale WiFi

Come abbiamo visto in precedenza, l'oracolo utilizza una qualità del segnale percentuale per determinare eventuali cambi di stato. Il valore scelto è dunque una metrica qualitativa, che i singoli driver forniscono al kernel, e che dipende da vari fattori, quali la potenza di ricezione, il numero di pacchetti persi, il livello di rumore. La libreria `iwlib` fornisce per ciascuna rete individuata da una scansione una struttura `iw_statistics`, che contiene un'ulteriore struttura `iw_quality`, all'interno della quale viene salvato tale valore.

Poiché il valore è un numero assoluto, vengono inizialmente richiesti tramite la libreria una serie di parametri utili alla scansione, fra i quali è contenuto il valore massimo che la qualità possa assumere. In tal modo è semplice calcolare il valore percentuale e utilizzarlo per i nostri scopi.

Si noti che, poiché la scansione delle reti è un'operazione che richiede di default i permessi di root, essa non viene scatenata ad ogni ciclo dell'oracolo (se questo viene eseguito con permessi di utente non privilegiato). Vengono invece restituiti i valori già presenti nella cache del sistema. Questo dettaglio può causare problemi al range, che potrebbe non essere aggiornato. Per ovviare a tale problema è sufficiente eseguire l'oracolo come superutente.

## 5.5 Aggiornamenti del database

Abbiamo già spiegato quali siano le table e i campi memorizzati dal database. Ci occupiamo ora di come vengano aggiornate le entry e del flag `canaccess`. Qualora si riscontri durante l'esecuzione una connessione a una rete presente nel database, essa viene marcata come accessibile e viene aggiornato il flag `canaccess` del database per tutte le reti che possiedono il medesimo SSID. Nel caso di nuove inserzioni di reti con SSID già noto, si controlla se le altre reti memorizzate siano accessibili, settando appropriatamente il flag.

Nel caso del range, invece, questo viene inizialmente settato a -1 nel database. Se successivamente durante una scansione si ottiene come risultato la rete e questa ha una qualità di ricezione percentuale maggiore di una certa

soglia, si compara la distanza con il range noto e si aggiorna il valore con il massimo fra i due.

Si è inoltre previsto, per quanto riguarda la tabella dei punti da cui si sono effettuate query, un valore temporale, in modo da potere, in future iterazioni del software, aggiornare i dati qualora essi siano obsoleti. Tale funzione non è però parte delle funzioni attualmente implementate nell'oracolo.

## 5.6 Costanti e scelte implementative

Vi sono una serie di costanti che influenzano in maniera fondamentale il comportamento dell'oracolo. L'impatto di tali costanti verrà ora discusso, considerando le ragioni della scelta di default implementata. Una prima costante fondamentale è la durata dello `sleep()` nel ciclo principale dell'oracolo. Tale costante, infatti, influenza il tempo medio fra i fix GPS ottenuti, un valore che viene poi utilizzato per selezionare le dimensioni dell'area attorno all'utente da selezionare. A causa del meccanismo di valutazione della disponibilità della connessione, quanto più aumenta la lunghezza media del ciclo, tanto più cala la validità del dato sulla disponibilità. Per avere un valore affidabile ma non tenere continuamente sveglio il processore, si è optato per uno `sleep` di 1 secondo, che da origine a un'area da considerare di circa 2-3  $m^2$  nel caso in cui la velocità di percorso sia quella di una persona che si muove a piedi.

Un'altra costante importante riguarda la scelta della percentuale minima di segnale (utilizzata anche nell'algoritmo 5.1), impostata di default al 30%. Questa percentuale viene utilizzata sia nel ciclo, per stabilire quando il segnale WiFi inizia a essere debole, sia nel calcolo del range per determinare quale sia il valore minimo per cui considerare un AP a portata. Quanto più tale valore aumenta, tanto più cala il range massimo per gli AP osservati. Ciò ha due effetti: da una parte aumenta la confidenza con cui affermiamo che nel range osservato è possibile la ricezione del segnale, d'altro canto ciò riduce sostanzialmente l'area stimata come coperta da segnale, rendendo ra-

ro il caso in cui si possa spegnere l'interfaccia WiFi a causa di una completa copertura dell'area circostante.

Viene utilizzata inoltre una costante per stimare i valori di range massimo ignoti, per gli AP che non sono ancora stati osservati. Tale valore viene settato dall'oracolo a 30m, un valore che viene considerato una stima della portata massima di un AP che utilizza il protocollo 802.11b/g in un contesto in cui siano presenti ostacoli solidi. Si era pensato in un primo momento di utilizzare un raggio diverso per gli AP 802.11n, che hanno una portata teorica doppia rispetto alle versioni precedenti del protocollo. Questo, tuttavia, non è risultato possibile utilizzando i dati derivanti da WiGLE. Si è effettuata pertanto una scelta che, seppur conservativa rispetto agli AP che utilizzino tecnologie più recenti, è una buona stima massima per quelli più datati.

Una menzione merita anche la superficie per la quale viene effettuato il caching di dati da WiGLE. Tale superficie non può essere troppo estesa, sia per non rallentare troppo il ciclo, sia perché WiGLE non permette di restituire gli AP di un'area troppo grande. Si è pertanto scelta una superficie quadrata che inscrive un cerchio di raggio 1000m, in modo da avere, sempre considerando il caso di una persona che procede a piedi, una cache che copre circa 8 minuti di percorso (ammesso che si proceda sempre nella stessa direzione).

Un'ultima costante rilevante è la precisione desiderata (in percentuale) per quanto riguarda il calcolo della superficie occupata da segnale WiFi. Tale costante ha ripercussioni per quanto riguarda la durata del ciclo. È stata settata, dopo qualche test sulle performance, al 3%.

# Capitolo 6

## Valutazione e sviluppi futuri

In questo capitolo avvieremo una discussione sull'efficacia dell'oracolo in un contesto reale.

### 6.1 Considerazioni preliminari

Nel caso di un software come l'oracolo, la complessità delle valutazioni finali è molto alta. Esistono infatti un'infinità di fattori che possono causare errori anche grossolani dell'oracolo e l'unico modo per poterli testare è una test sul campo, in cui si attraversano varie zone e si memorizzano vari parametri dell'oracolo. Tali test risultano dunque non solo complessi, ma anche inevitabilmente parziali, in quanto non si possono effettuare in luoghi distanti e differenti fra loro. Perciò in questo capitolo utilizzeremo sia test con dati GPS simulati, senza reali spostamenti, sia test con un reale ricevitore e tenteremo di valutarne i risultati.

È ora necessario discutere in pratica come valutare l'efficacia dell'oracolo, a partire dagli obiettivi e dalle priorità indicati al capitolo 1. Come abbiamo specificato i parametri più significativi sono il consumo energetico e la disponibilità di connessione. Per stimare tali risultati nel contesto dei test sul campo, considereremo la percentuale di tempo in cui una NIC è attiva ma non utilizzata e la percentuale di tempo in cui a causa dell'oracolo perderem-

mo la connettività. Come si vede, poiché non si è studiato un metodo per simulare le reti lungo un percorso, tali valori sono sensati solo nel caso dei test reali. Nel caso dei test simulati invece forniremo le caratteristiche dell'area attraversata e confronteremo il comportamento dell'oracolo con quello più auspicabile.

## 6.2 Problematicità

Prima di analizzare i risultati dei test, verranno considerate una serie di criticità note dell'oracolo. Alcune strategie per mitigare tali problemi verranno studiate poi fra gli sviluppi futuri.

### 6.2.1 La precisione della stima di disponibilità

Seppur corredata di correzioni sullo stato attuale della rete, la stima di disponibilità di segnale WiFi è certamente poco efficace. Anche nel caso di aree molto piccole, la stima della disponibilità del segnale non è certo ideale. Perciò molto spesso l'oracolo ritiene sensato tenere attive entrambe le NIC, con un conseguente spreco di corrente. Inoltre, sebbene vi siano delle contromisure in atto per evitarlo, è certamente possibile perdere una connessione ad un AP WiFi prima di aver acceso l'interfaccia UMTS.

Inoltre, poiché vi è un'incertezza del fix del GPS, tale problema diviene ancora più evidente nel caso si abbiano errori nella posizione molto elevati, che portano ad un aumento dell'area da considerare ed a una conseguente diminuzione della superficie circostante coperta da segnale.

Un ulteriore problema riguarda l'altitudine. Se il ricevitore GPS è perfettamente in grado di fornire una posizione tridimensionale, in cui sia presente anche l'altitudine del dispositivo (sebbene l'altitudine abbia errori molto ampi), il database di WiGLE non contiene tale valore. Questo potrebbe condurre, ad esempio, ad uno scenario in cui viene accesa un'interfaccia di rete anche se l'AP associato è parecchi metri sopra il device e pertanto non è a portata. Fortunatamente questo problema è mitigato dal fatto che il databa-

se di WiGLE viene per lo più aggiornato da utenti che camminano al livello del suolo con un dispositivo mobile, che quindi non rilevano AP posizionati ad altitudini diverse.

Vi è poi un problema intrinseco nell'approccio utilizzato per stimare l'area percorsa in un dato tempo. Se l'indicazione della velocità è una stima valida, a meno di improvvise accelerazioni o decelerazioni, vi è un valore la cui stima precisa è impossibile. Si tratta della durata del prossimo ciclo, che come per ogni programma è inconoscibile. La durata oltretutto è fortemente influenzata dal numero di AP trovati, dal numero di richieste a WiGLE necessarie, dal tempo per avere un fix GPS. Tale problematica purtroppo non può essere evitata ed ogni tentativo di stima, anche diverso da quello implementato nell'oracolo, non può essere preciso e pertanto influenza le valutazioni sulla disponibilità.

Un ulteriore difetto dell'approccio utilizzato riguarda la possibilità, per quanto riguarda gli AP di una stessa WLAN, di supportare il cosiddetto roaming involontario. Tramite tale meccanismo, analogo a quello usato dalle reti cellulari, consente alla NIC di effettuare un passaggio orizzontale, senza richiedere una nuova associazione, all'AP che offra miglior qualità del segnale. L'oracolo, nel caso in cui ci si trovi in una zona con molti AP eterogenei accessibili, accende l'interfaccia WiFi senza curarsi dei passaggi da una rete all'altra. Nel caso in cui si utilizzi ABPS ciò condurrebbe a perdite di connessione non desiderate.

### 6.2.2 L'oracolo e i consumi

Un'altra criticità dell'oracolo riguarda i consumi di energia legati alle operazioni da esso eseguite, tra cui l'utilizzo costante del GPS e le scansioni WiFi. Nel caso si utilizzi l'oracolo in concomitanza al sistema ABPS si avrebbero indubbiamente dei vantaggi in termini di consumi energetici, in quanto si evitano in parte i consumi derivanti dall'utilizzo contemporaneo di due NIC in trasmissione. Se, invece, ABPS non viene utilizzato, è lecito chiedersi se sia conveniente utilizzare l'oracolo, visti i consumi aggiuntivi che

esso provoca. Il consumo di un ricevitore GPS è abbastanza elevato [13] e ha effetti nefasti sull'utilizzo di un dispositivo mobile. Tuttavia non vi sono strategie in grado di minimizzare tale impatto, se non quella di aumentare il timeout fra i cicli dell'oracolo. Così facendo, però, si riduce di molto l'efficacia del software.

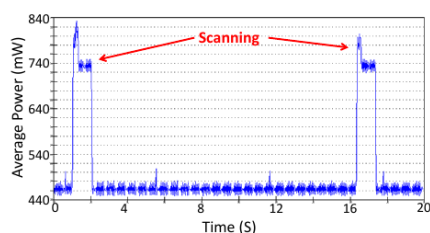


Figura 6.1: Il consumo di una scansione WiFi in un dispositivo mobile con schermo attivo [14]

Un altro aspetto da considerare è il consumo di una NIC WiFi durante la scansione di rete. Tale processo è energeticamente dispendioso (vedi 6.1) e viene effettuato ad ogni ciclo ogni qual volta il WiFi è attivo se l'oracolo viene eseguito con privilegi di superutente. Questo effetto può tuttavia essere mitigato eseguendo il software senza privilegi particolari. In questo modo verranno usati i risultati in cache rilevati dalle scansioni passate. Tali risultati, però, potrebbero non essere accurati. Se nel caso dell'AP a cui si è associati non si rilevano problemi per quanto riguarda la rilevazione della qualità del segnale, essa può risultare errata per gli altri AP nelle vicinanze. Il sistema, infatti, mantiene in cache i risultati finché l'ultimo beacon frame ricevuto non sia distante 30 secondi, un tempo piuttosto ampio. Tali scansioni vengono tuttavia effettuate periodicamente dal kernel anche nel caso si sia associati a una rete, si potrebbero pertanto studiare strategie per non svegliare l'interfaccia e utilizzare i dati delle scansioni automatiche.



### 6.2.3 WiGLE e i dati sugli AP Wifi

Per quanto sia innegabile l'importanza di WiGLE nell'implementazione dell'oracolo, esso ha purtroppo delle limitazioni che creano dei problemi per l'utilizzo pratico dell'oracolo. Prima di tutto occorre evidenziare come l'utilità dell'oracolo sia vincolata in parte alla possibilità di accedere ad internet per richiedere dati a WiGLE. Con i moderni dispositivi mobili la maggior parte dei contratti impone forti limitazioni alla quantità di dati che è possibile scaricare. Per quanto le query a WiGLE non abbiano dimensioni elevatissime, esse possono raggiungere facilmente il MB. Se si effettuano di frequente, dunque, esse possono portare a un esaurimento del traffico in breve tempo.

Abbiamo in precedenza affermato come esista un limite al numero di richieste effettuabili in un dato tempo a WiGLE. Questo, seppure vengano adottate delle strategie per mitigare questa situazione, causa inevitabilmente una diminuzione dell'efficacia dell'oracolo, che non è più in grado di determinare la situazione circostante qualora la velocità di spostamento lungo il percorso sia troppo elevata.

Un altro problema riguarda la presenza di AP pubblicamente accessibili (o perché senza chiave di cifratura o perché con chiave nota) che richiedono però un'autenticazione tramite una pagina di benvenuto HTTP. Tali reti, che verrebbero considerate dall'oracolo come accessibili, di fatto interromperebbero la possibilità di connessione, reindirizzando ogni richiesta alla pagina di login iniziale.

Un'ulteriore criticità riguarda la modalità con cui vengono individuate le reti note. Esse vengono marcate come accessibili qualora vi si connetta, aggiornando di conseguenza il database a partire dal loro SSID. Questa è la strategia adottata dalla maggior parte di gestori di reti WiFi (es NetworkManager), che determinano se una rete sia accessibile dall'SSID ad essa associato. Ciò però conduce inevitabilmente ad errori, sia a causa di SSID generici impostati dai vendor degli AP (LINKSYS, Sitecom, etc), sia per eventuali nomi che risultano casualmente uguali. Purtroppo a tale problema non esiste una soluzione completa, tanto che esso affligge ciascun software

che gestisca la connessione a reti WiFi.

Occorre infine considerare il caso di un'area non precedentemente visitata e che non contiene AP marcati come "free" da WiGLE, ma di cui si possiedono le credenziali d'accesso. Tale situazione, poiché l'oracolo, allo stato attuale, non è in grado di discriminare lo stato delle interfacce di rete, porta l'oracolo a passare allo stato UMTS\_ON. In tale modo, esso non utilizza i risultati delle scansioni WiFi e non apprende la situazione delle reti circostanti. Affronteremo più tardi come si sia mitigato tale problema durante i test, sia quelli con posizione virtuale, sia quelli con posizione reale ed eventuali altre soluzioni. Sarebbe sensato pensare che basti far riconoscere all'oracolo lo stato dell'interfaccia di rete WiFi per cambiare lo stato in modo coerente. Tuttavia, poiché non sono stati implementati metodi per spegnere le interfacce realmente, ciò condurrebbe a una grande difficoltà nell'effettuare test, che si svolgono con l'interfaccia WiFi sempre accesa per poter avere un riscontro della connessione ad un qualche AP.

## 6.3 I test

Riportiamo ora i risultati dei test effettuati, in parte utilizzando posizioni gps fittizie, in parte con un GPS vero e proprio.

### 6.3.1 Test con gpsfake

Per effettuare test significativi con gpsfake si sono dovute effettuare semplici modifiche al codice per permettere i test in modo coerente. Poiché i test vengono effettuati da una stessa zona, si sono rimossi dallo switch fra stati tutti i riferimenti alla presenza di una connessione e al caso in cui si sia connessi da un certo numero di cicli allo stesso AP, che avrebbero influenzato i risultati. Come area per il testing si è scelta via Zamboni, per tutto il suo percorso, da Piazza di Porta Ravegnana a porta San Donato. Si sono inoltre impostati nel database come accessibili gli AP di Iperbole ed ALMAWIFI. Poiché i range di tali AP sono ignoti, essi vengono stimati a

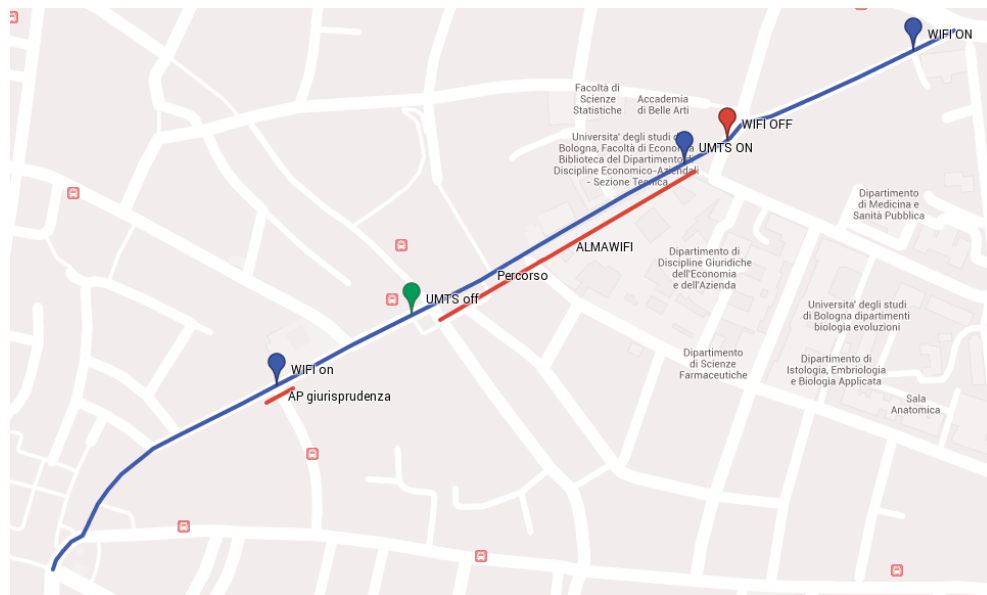


Figura 6.2: Una visualizzazione del risultato del test utilizzando gpsfake su via Zamboni. I marcatori segnalano i mutamenti di stato

30m dall'oracolo. Come si vede da 6.2 il comportamento dell'oracolo è quello atteso. La NIC WiFi viene spento fino a via S.Giacomo, di fronte alla sede della Scuola di Giurisprudenza, dove secondo WiGLE è presente un AP. A questo punto sorge un piccolo problema nel test e si riscontra una velocità molto più alta del dovuto a causa delle limitazioni di gpsfake, che non è in grado di interpretare i timestamp delle sentence NMEA. A causa di ciò il WiFi rimane acceso fino a piazza Verdi. Qui viene disattivata l'interfaccia UMTS finché è disponibile ALMAWIFI, poco prima di piazza Puntoni. Viene spento successivamente il WiFi fino alla porta, quando si passa di fronte al Dipartimento di Matematica.

Sebbene WiGLE non sembri contenere i dati relativi alle reti Iperbole Wireless presenti, il risultato di questo test è incoraggiante: il comportamento dell'oracolo, a parte un piccolo problema della suite di test prima di piazza Verdi, appare perfettamente in linea con l'output atteso, con uno spreco di energia minimo e la massima disponibilità di rete possibile.

### 6.3.2 Test con ricevitore GPS

Il test condotto con un GPS reale è stato effettuato utilizzando un sensore contenuto in uno smartphone Android e trasmesso tramite bluetooth al PC. Tale test è stato effettuato sempre su via zamboni da via Giuseppe Petroni fino a poco dopo piazza Puntoni. A causa dell'incertezza dei dati trasmessi via bluetooth, misurata da gspd in circa 100m sia per la latitudine che per la longitudine, la totalità del tragitto è avvenuta con entrambe le interfacce di rete attive. Seppure non si siano verificati mutamenti di stato, per la totalità del percorso le scansioni WiFi hanno evidenziato la presenza di reti ALMAWIFI, alcune delle quali non sono presenti sul database di WiGLE. Inoltre sono stati aggiornate correttamente le portate massime di alcuni AP. Seppure incompleto, tale test mostra la validità dell'approccio anche in un caso d'uso reale, nel quale l'incertezza nel fix GPS porta l'oracolo a compiere scelte meno drastiche rispetto ai test teorici. Se si è certamente sprecata energia, si consideri tuttavia il fatto che non si era predisposta una connessione automatica alle reti, che avrebbe portato, in caso di lunghi periodi di connessione, allo spegnimento della NIC UMTS. La disponibilità di connessioni WiFi è stata invece massimizzata.

## 6.4 Sviluppi futuri

Si affrontano ora le prospettive di sviluppo per l'oracolo con particolare attenzione ai problemi segnalati nel capitolo precedente.

### 6.4.1 Un'altra fonte di dati per effettuare scelte

Al fine di migliorare l'efficacia dell'oracolo sarebbe interessante l'implementazione di un ulteriore fonte di dati, in particolare quella descritta nel capitolo riguardante la progettazione. Si potrebbe, stimando la direzione futura sulla base di quelle precedenti, effettuare una valutazione più precisa della disponibilità di connessioni WiFi lungo il percorso, mantenendo comun-

que la misura dell'area con segnale come principale indicatore. Si potrebbe in questo modo, ad esempio, spegnere la NIC UMTS se il percorso non esce mai dalla zona coperta dal segnale e l'area percentuale con connettività WiFi disponibile è piuttosto alta (ES maggiore dell'80%). Si potrebbe, viceversa, spegnere la NIC WiFi in caso di un percorso interamente non coperto da segnale e una percentuale di disponibilità bassa (es minore del 20%). Questo approccio porterebbe certamente a una maggior efficienza energetica, riducendo il numero di interfacce accese e inutilizzate. Gli effetti sulla disponibilità dovrebbero essere invece limitati, ammesso venga effettuato uno studio sui parametri percentuali da utilizzare per effettuare gli switch.

Un altro beneficio di un tale approccio riguarda la possibilità da parte dell'oracolo di rilevare i casi di roaming involontario per quanto riguarda la NIC WiFi (le cui problematiche sono state discusse in precedenza). Si potrebbe controllare se il percorso previsto per l'utente attraversa reti eterogenee e in caso affermativo accendere per pochi istanti la NIC UMTS, in modo da non avere perdita di connessione nel caso in cui si usi ABPS.

### 6.4.2 Migliorare la gestione del WiFi

Poiché non vi è garanzia che i dati di WiGLE siano sufficientemente aggiornati, si potrebbero triangolare le posizioni degli AP non presenti sul database tramite una serie di osservazioni e memorizzare tali informazioni. Una volta ottenuti i dati necessari a identificare un AP e la sua posizione, essi potrebbero venire trasmessi a WiGLE stesso, al fine di aumentare il numero di AP ad esso noti.

Si è inoltre discusso come l'oracolo non abbia inizialmente cognizione dell'eventuale conoscenza delle credenziali d'accesso per una determinata rete. Per utilizzare l'oracolo sarebbe dunque necessario allo stato attuale aggiornare la maggior parte dei dati sugli AP noti in modo manuale. Si potrebbe invece pensare un periodo di training più o meno lungo, in cui entrambe le NIC rimangono accese al fine di memorizzare eventuali reti note nella zona. Questo meccanismo potrebbe venire implementato utilizzando i query point:

nel momento in cui si giunge in una zona per cui non si conoscono dati, si avvia il periodo di training per la zona circostante.

Parallelamente, sarebbe appropriato implementare dei metodi per conoscere lo stato reale della NIC WiFi. In questo modo l'utente potrebbe attivare l'interfaccia al momento del bisogno e l'oracolo memorizzerebbe le reti note. Basterebbe dunque passare allo stato in cui tutte le interfacce sono accese nel momento in cui lo stato dell'oracolo sia di WiFi spento ma esso venga acceso dall'utente.

Per quanto riguarda i consumi della scansione, sarebbe auspicabile investigare metodi per leggere i risultati dell'ultima scansione e controllare quanto siano recenti, in modo da ridurre il numero di scansioni causate dall'oracolo.

Si potrebbe poi pensare di utilizzare la geolocalizzazione fornita da vari provider, fra i quali Google, a partire dai dati sulle reti WiFi circostanti, nel caso in cui la NIC sia accesa, in modo da ridurre i consumi derivanti dall'utilizzo continuo del GPS.

### 6.4.3 La gestione delle NIC

Sarebbe poi naturalmente auspicabile l'implementazione di metodi per la reale accensione e lo spegnimento delle NIC, al momento non implementati nell'oracolo. La difficoltà di tale meccanismo risiede nella possibilità di dongle USB come NIC, per i quali la procedura di spegnimento risulterebbe differente.

Per quanto riguarda l'interfaccia UMTS la situazione sarebbe più complessa, in quanto essa non è nota all'oracolo e sarebbe necessario implementare metodi per estrapolare informazioni e controllarla.

Si potrebbe poi pensare di accodare opzionalmente le query a WiGLE mentre si è connessi alla rete 3G, in modo da evitare un utilizzo eccessivo del traffico dati, spesso limitato da parte degli operatori di rete mobile.

# Capitolo 7

## Conclusioni

Abbiamo dunque fornito un'implementazione dell'oracolo, che mostra i limiti e i vantaggi di un approccio location-based alla scelta delle NIC attive fra quelle disponibili. Con la diffusione di reti WiFi pubblicamente accessibili e di dispositivi mobili, la possibilità di una connettività ubiqua, che abbia le migliori prestazioni possibili, è sempre più concreta. In un tale contesto l'utilizzo di tecnologie quali ABPS potrebbe portare a nuovi standard per quanto concerne la disponibilità di connettività, con disconnessioni sempre meno frequenti. Sempre a causa della crescente disponibilità di reti mobili e WiFi, l'oracolo risulta uno strumento utile per consentire un'ottimizzazione dei consumi dei dispositivi mobili, pur non compromettendo la disponibilità di connessioni. Si è scelto infatti di massimizzare per quanto possibile la disponibilità, che è indispensabile in un contesto di mobilità, pur cercando di ridurre i consumi energetici del dispositivo. Per implementare l'oracolo si sono individuati tre eventi che determinano il comportamento dell'oracolo: WiFi disponibile per un lungo periodo, WiFi disponibile per un breve periodo e WiFi non disponibile. A tali eventi corrispondono tre stati differenti per quanto riguarda le NIC, rispettivamente: solo WiFi acceso, WiFi e UMTS accesi e solo UMTS acceso. Le scelte effettuate dall'oracolo sono quindi state vincolate alla disponibilità di reti WiFi, che viene stimata grazie all'utilizzo di WiGLE per conoscere la posizione degli AP circostanti.

Per predire la disponibilità di WiFi nelle vicinanze si sono esaminati tre approcci possibili, uno basato sul rapporto dell'area con WiFi disponibile rispetto a un orizzonte che circonda il dispositivo, uno che tenta di prevedere gli spostamenti futuri comparando la previsione con le reti disponibili ed un approccio che non tenta alcuna previsione ma controlla la posizione attuale e la compara con le reti disponibili. Si è selezionata la prima alternativa, che appare la più efficace nel limitare i periodi di disconnessione dal WiFi e che non necessita di alcuna previsione complessa sulla natura degli spostamenti futuri. Al fine di calcolare l'area in cui è presente segnale WiFi si è utilizzato un metodo che approssimi con precisione arbitraria tale valore, basato su una suddivisione dell'area quadrata esaminata in sotto-quadrati, che possono essere ulteriormente scomposti per raggiungere la precisione desiderata. Tale approccio consente buoni risultati e fornisce una limitazione inferiore della disponibilità di rete che viene poi utilizzata per compiere i mutamenti di stato rispetto alle NIC.

Si sono inoltre dovute compiere delle approssimazioni riguardo al range massimo degli AP, giacché WiGLE non fornisce dati immediatamente utilizzabili per effettuare stime più precise. Ci si è dovuti affidare a successivi aggiornamenti del range, effettuati durante l'utilizzo del programma, mentre inizialmente ogni AP viene stimato con una portata massima arbitraria di 30 metri. Non è stato infatti possibile fornire stime più precise del range degli AP, in quanto esso dipende da fattori variegati, quali il guadagno delle antenne (in ricezione e in trasmissione), la potenza di trasmissione, le interferenze di oggetti fisici e sorgenti elettromagnetiche circostanti. Tali dati non sono purtroppo accessibili dall'oracolo, che conosce solo i valori di sensibilità della NIC sul dispositivo mobile e della frequenza di trasmissione dell'AP, non sufficienti a effettuare stime valide.

L'oracolo evidenzia inoltre la scarsa freschezza dei dati presenti su WiGLE, che contengono lacune soprattutto quando si considerano le reti pubbliche, che dovrebbero essere evidenziate come "free" nel database. Per questa ragione l'utilizzo dell'oracolo richiede, almeno nelle prove effettua-



te, un apprendimento, sia esso un aggiornamento manuale del database o un aggiornamento a runtime delle reti a cui si è effettuato un accesso.

Si sono compiuti una serie di test con l'oracolo, sia utilizzando un simulatore (gpsfake) sia utilizzando un ricevitore GPS vero e proprio. I risultati di tali prove sono stati incoraggianti e hanno mostrato una buona affidabilità di un approccio basato sulla posizione alla scelta di reti, che in particolare è risultato efficace nel massimizzare la disponibilità di connessione WiFi, pur non essendo altrettanto efficace nella riduzione dei consumi. Purtroppo a causa dell'utilizzo di un ricevitore GPS contenuto in un dispositivo mobile, che passa poi i dati a gpsd tramite bluetooth, si sono riscontrati grandi errori di posizione, che degradano il comportamento dell'oracolo nei casi di utilizzo reali.

A causa dei problemi citati e della generale immaturità del progetto, vi sono varie migliorie che potrebbero migliorare l'efficacia dell'oracolo nell'utilizzo reale. Si è proposto ad esempio di migliorare la stima della disponibilità adottando un approccio ibrido, che utilizzi anche la direzione stimata per effettuare scelte. Altre proposte riguardano l'aggiornamento da parte dell'oracolo dei dati di WiGLE, l'utilizzo di geolocalizzazione WiFi per ridurre i consumi causati dal ricevitore GPS, il miglioramento dell'apprendimento delle reti note sul campo e l'implementazione dell'accensione e spegnimento effettivi delle NIC. Tali modifiche potrebbero rendere l'oracolo utilizzabile in un contesto reale, senza alcun intervento da parte dell'utente, con discreti risultati.

Abbiamo quindi evidenziato come l'oracolo non sia ancora maturo per un uso quotidiano, la sua efficacia mostra tuttavia come sia possibile utilizzare la posizione per individuare, con relativa accuratezza, la disponibilità di connessioni nell'area circostante ed effettuare la scelta di NIC corretta. Rimane però da discutere quali siano gli impatti dell'oracolo sui consumi del dispositivo, un fattore che non è stato possibile esaminare a causa della mancanza di NIC UMTS e di un ricevitore GPS vero e proprio, nonché di un'intrinseca complessità di tali valutazioni. È tuttavia lecito affermare che,

in caso si utilizzi la tecnologia ABPS, che è alla base dell'implementazione dell'oracolo, il software avrebbe benefici dal punto di vista dei consumi, nonostante l'utilizzo intensivo del GPS, evitando la trasmissione simultanea su entrambe le interfacce, che causerebbe consumi elevati.

# Bibliografia

- [1] V. Ghini, G. Lodi, F. Panzieri. "Always Best Packet Switching: the Mobile VoIP Case Study". Journal of communications, 2009, 4.9: 700-713.
- [2] S. Ferretti, V. Ghini, M. Marzolla, F. Panzieri. Walking with the Oracle: Efficient Use of Mobile Networks through Location-Awareness. In: *Wireless Days (WD) 2012 IFIP*. IEEE, 2012. pp. 1-6.
- [3] Gartner, *Gartner Says Worldwide PC, Tablet and Mobile Phone Shipments to Grow 5.9 Percent in 2013 as Anytime-Anywhere-Computing Drives Buyer Behavior*, 2013, <https://www.gartner.com/newsroom/id/2525515>, 10 Ottobre 2013
- [4] N. Balasubramanian, A. Balasubramanian, A. Venkataramani. Energy Consumption in Mobile Phones: A Measurement Study and Implications for Network Applications, in: *Proceedings of the 9th ACM SIGCOMM conference on Internet measurement conference*, ACM, 2009. pp. 280–293.
- [5] J. Huang, F. Qian, A. Gerber, Z. Morley Mao, S. Sen, O. Spatscheck. A close examination of performance and power characteristics of 4G LTE networks. In: *Proceedings of the 10th international conference on Mobile systems, applications, and services*, ACM, 2012. pp. 225-238.
- [6] Comune di Bologna, *Mappa degli AP Iperbole Wireless*, 2013, <http://www.comune.bologna.it/wireless/>, 12 Ottobre 2013.

- 
- [7] D.L. 27 Luglio 2005, n. 144, art. 6, comma 2.
- [8] D.L. 21 Giugno 2013, n. 69, art. 10.
- [9] T. Anagnostopoulos, C. Anagnostopoulos, S. Hadjiefthymiades, M. Kyriakakos, A. Kalousis. Predicting the location of mobile users: a machine learning approach. In: *Proceedings of the 2009 international conference on Pervasive services*. ACM, 2009. pp. 65-72.
- [10] F. Librino, M. Levorato, M. Zorzi. "An algorithmic solution for computing circle intersection areas and its applications to wireless communications". *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2012.
- [11] Paul Spirakis. "Very fast algorithms for the area of the union of many circles". Technical report, Computer Science Department, Courant Institute, New York University, 1984.
- [12] Shlomo S. Sawilowsky . "You Think You've Got Trivials?.*Journal of Modern Applied Statistical Methods*", 2003. 2.1, pp 218-225.
- [13] Aaron Carroll, Gernot Heiser. An analysis of power consumption in a smartphone. In: *Proceedings of the 2010 USENIX conference on USENIX annual technical conference*. 2010. pp 271-284.
- [14] S. Fan, M. Gowda, R. Roy Choudhury. Poster: saving power for mobile phones with partial Wi-Fi scans. In: *Proceedings of the 10th international conference on Mobile systems, applications, and services*. ACM, 2012. p. 509-510.