

## **Introduzione**

### **Capitolo 1: Le Reti Wireless**

#### **1.1 Introduzione**

#### **1.2 Le reti Cellulari**

##### **1.2.1 Struttura di una rete cellulare**

##### **1.2.2 Stabilimento e mantenimento di una chiamata**

#### **1.3 Panoramica sulle diverse generazioni di reti cellulari**

#### **1.4 WPAN e Standard IEEE 802.15**

##### **1.4.1 Architettura protocollare 802.15**

##### **1.4.2 Architettura Core System**

#### **1.5 Wireless Local Area Networks**

### **Capitolo 2: Quality of Service**

#### **2.1 Introduzione**

#### **2.2 QoS: principi fondamentali**

#### **2.3 Architettura a Servizi Integrati**

##### **2.3.1 Il protocollo RSVP**

##### **2.3.2 Le classi di servizio CLS e GS**

#### **2.4 L'architettura a Servizi Differenziati**

##### **2.4.1 Prenotazione delle risorse nell'architettura DiffServ**

#### **2.5 Un approccio ibrido IntServ-DiffServ**

#### **2.6 Un approccio alla QoS in ambiente mobile**

## **Capitolo 3: La previsione della mobilità utente nelle reti senza fili**

### **3.1 Introduzione**

#### **3.1.1 Processi di rinnovo di Markov**

#### **3.1.2 Applicazione dei processi di rinnovo nella mobilità utente**

#### **3.1.3 Predizione e confidence**

##### **3.1.3.1 Applicazione nelle WLAN**

###### **3.1.3.1.1 Analisi di mobilità**

###### **3.1.3.1.2 Predizione a singolo passo e sua accuratezza**

###### **3.1.3.1.3 Predizione a passo multiplo**

###### **3.1.3.1.4 Stima del traffico globale**

###### **3.1.3.1.5 Ulteriori applicazioni**

### **3.2 Knowledge Grid-based Mobility Prediction**

#### **3.2.1 Algoritmo A-priori**

#### **3.2.2 Regole di mobilità**

#### **3.2.3 Mobility prediction**

#### **3.2.4 Valutazione delle prestazioni**

## **Capitolo 4: Simulatore per tecniche di previsione della mobilità**

### **4.1 Introduzione**

### **4.2 Architettura del sistema**

#### **4.2.1 Strato dati**

##### **4.2.1.1 Acquisizione dati**

##### **4.2.1.2 Caricatore Dati**

#### **4.2.1.3 Preprocessing Dati**

#### **4.2.1.4 Gestione Test**

#### **4.2.1.5 Gestione strato dati**

#### **4.2.1.6 Gestione della Base di Dati**

#### **4.2.1.7 Base di dati**

### **4.2.2 Un esempio concreto: il simulatore C4R**

#### **4.2.2.1 Acquisizione dati attraverso C4R**

#### **4.2.2.2 Preprocessing Dati C4R**

#### **4.2.2.3 Base di dati per C4R e sua gestione**

### **4.2.3 Strati Logico e Presentazione**

## **4.3 Considerazioni finali sull'architettura proposta**

## **Conclusioni**

# Introduzione

Negli anni recenti le reti e le tecnologie che si appoggiano ad esse hanno avuto ampia diffusione, arrivando addirittura a rendere quella che era stata inizialmente concepita come uno strumento destinato solamente ad accademici e militari uno dei mezzi di comunicazione più importanti nella storia moderna, lasciando presagire anche sviluppi futuri molto interessanti.

Il mondo delle reti però non si limita alla sola Internet, per quanto vasta e ricca di opportunità possa essere: esistono reti specificamente destinate alla gestione della telefonia (sia fissa che mobile), reti costituite da veicoli in movimento in contesti urbani, reti composte da sensori dislocati in più punti e che necessitano di comunicare tra loro, reti di ridotta estensione destinate a trasmettere dati tra dispositivi personali e così tante altre tecnologie da non essere neanche facilmente elencabili.

Tra tutte le categorie di reti esistenti in questo lavoro di tesi si è scelto di concentrarsi sulle reti senza fili, prima introducendone gli aspetti generali e poi descrivendone le criticità che hanno richiesto uno studio più approfondito, ovvero le strategie da adottare per garantire agli utenti che si spostano attraverso una rete dei servizi che siano affidabili ed in generale di buona qualità.

La caratteristica principale delle reti senza fili, ovvero il fatto di non vincolare gli utenti a mantenere una postazione fissa, ha anche delle implicazioni che necessitano una gestione oculata.

Prima di discutere nel dettaglio il problema affrontato in questa tesi, è bene fornire una introduzione al contesto nel quale ci si muoverà.

Per prima cosa si fornirà una panoramica generale sulle reti senza fili, descrivendo alcune delle tecnologie che hanno avuto diffusione capillare negli ultimi anni.

Un esempio molto significativo è costituito dalle reti cellulari: si tratta forse del tipo di rete più usato ogni giorno insieme alle reti IP (tra le quali spicca ovviamente Internet), dato che la telefonia mobile mondiale poggia su di esse.

Una cella non è altro che una regione di territorio coperta da una stazione base, la quale è in grado di comunicare tanto coi terminali degli utenti quanto con altre stazioni base.

Un utente mobile che fa ingresso in una cella “affida” i dati che intende trasmettere alla stazione base, la quale si farà carico della responsabilità di farli giungere a destinazione, ovvero al destinatario finale.

Tutto questo processo, compreso l'intervento di altre entità, deve avvenire in maniera del tutto trasparente ad entrambi gli utenti coinvolti in una chiamata.

Per chiamata si può intendere in generale un servizio offerto dalla rete, quindi non solo una telefonata (la quale potrebbe essere il primo esempio immaginabile) ma anche accesso ad altre reti come Internet.

In effetti nelle moderne reti cellulari il traffico dati sta assumendo un'importanza sempre maggiore rispetto al traffico vocale, ovvero quello per cui erano state concepite originariamente le reti cellulari.

I cambiamenti che sono stati registrati nel contesto delle reti cellulari sono stati talmente profondi da definire diverse classi o generazioni, caratterizzate ad esempio dal passaggio da segnali analogici a digitali o, come già accennato, da traffico esclusivamente vocale a coesistenza di traffico vocale e dati.

Questi aspetti insieme alle caratteristiche basilari delle reti cellulari saranno approfondite nel primo capitolo di questa tesi.

Le reti cellulari non sono però l'unico tipo di rete ad aver guadagnato popolarità negli ultimi anni: in particolare si fornirà una trattazione delle WPAN (Wireless Personal Area Network), reti la cui ridotta estensione richiede ridotte potenze di trasmissione e costi tutto sommato bassi.

Una WPAN può essere costituita ad esempio da auricolari collegati ad uno smartphone e ad un portatile, ovvero dispositivi che vengono di solito utilizzati entro aree di pochi metri o anche meno.

Per fornire una trattazione valida a riguardo, si farà uso dello standard di riferimento proposto dalla IEEE.

Esistono altre reti oltre a quelle qui accennate: un'indiscutibile importanza è ricoperta ad esempio dalle WLAN, ovvero le reti locali non cablate, oppure le reti satellitari.

Il primo tipo di reti è particolarmente interessante: anche qui sono presenti dei dispositivi detti Access Point ai quali è possibile collegarsi, in maniera simile a quanto avviene con le Base Station delle reti cellulari.

La differenza sostanziale è che le WLAN hanno una estensione molto più ridotta rispetto alle reti cellulari: solitamente infatti sono destinate a coprire aree come campus o singoli edifici.

In entrambi i casi comunque l'utente ha la possibilità di spostarsi liberamente ed i servizi che esso richiede dovranno via via essere forniti da Access Point o da stazioni

base differenti, senza per questo che si percepiscano interruzioni del servizio o degradazioni delle prestazioni offerte.

Questo è in effetti il nocciolo della discussione che sarà condotta nei capitoli seguenti: fino ad ora infatti si è semplicemente detto che l'utente richiede dei servizi alla rete, assumendo implicitamente che la rete sia in grado di erogarli.

In realtà, qui come in praticamente ogni sistema ingegneristico le risorse sono per forza di cose limitate: nel nostro caso in particolare è limitata, per ragioni prettamente fisiche, la banda disponibile per la trasmissione dati, ovverosia le frequenze che possono essere assegnate ad una comunicazione.

Disporre di risorse limitate significa necessariamente doverle allocare con attenzione e deallocarle quando si rende necessario: tutti questi aspetti saranno affrontati nel secondo capitolo, dedicato alla qualità del servizio.

Quello della qualità del servizio è un aspetto di primaria importanza nelle reti: gli utenti infatti sono molti e competono per l'accesso alle limitate risorse disponibili.

Al fine di chiarire al meglio questi concetti si illustreranno le due principali architetture esistenti, ovvero i Servizi Integrati (IntServ) ed i Servizi Differenziati (DiffServ).

Si tratta in sostanza di due soluzioni differenti allo stesso problema: la differenza sostanziale è che nel primo caso si discuterà un approccio "a grana fina", ovvero orientato ai singoli flussi di dati, mentre nel secondo si affronterà uno stile "a grana grossa", cioè destinato a gestire aggregati di flussi.

Si descriveranno in particolare le procedure attraverso le quali è possibile dotare una rete degli strumenti necessari ad implementare una gestione intelligente delle risorse, ovvero dei protocolli utilizzabili per valutare le richieste di risorse da parte degli utenti (nel caso degli IntServ si tratta di RSVP) o delle soluzioni architetture attraverso le quali è possibile ottenere suddividere la rete in porzioni in grado di comunicare tra loro (nel caso dei DiffServ).

Come si vedrà in seguito, per svolgere un compito simile è necessario conoscere le esigenze dei flussi di dati: entrambi i metodi noti saranno esposti mostrandone punti di forza e debolezze, come del resto si farà per entrambe le architetture.

Una volta fornita una panoramica generale sulla QoS, si illustrerà in approccio ibrido che cerca di riunire i vantaggi di entrambe le architetture descritte: spesso infatti in ingegneria non esiste una soluzione ottimale in assoluto ed il nostro caso non fa eccezione.

Per concludere il secondo capitolo si illustrerà un'applicazione della qualità del servizio nel mondo mobile: l'architettura che si descriverà cercherà anch'essa di prendere il meglio dei mondi IntServ e DiffServ, arrivando anche ad offrire una soluzione stratificata.

Terminata la panoramica sulla qualità del servizio si entrerà nel vivo della discussione: nel nostro caso infatti si illustreranno delle tecniche che possano essere d'aiuto a garantire una buona qualità del servizio ad utenti di reti senza fili, siano esse WLAN che reti cellulari.

Immaginiamo ad esempio di effettuare una telefonata attraverso una rete cellulare: spostandoci da una cella all'altra vorremmo continuare la nostra conversazione senza percepire disturbi o addirittura perdere la chiamata in corso.

Queste eventualità sono infatti percepite come indice di bassa qualità da parte dell'utente.

Quella appena illustrata è una procedura di handoff o handover: si tratta del motivo essenziale per cui è stata scritta questa tesi, oltre che diversi paper alcuni dei quali saranno anche descritti in dettaglio.

Affinché l'utente possa usufruire di un servizio fluido è allora necessario prenotare risorse su quello che si ritiene essere il percorso che sarà intrapreso dell'utente.

In questo modo l'utente non avvertirà alcunché spostandosi da una cella all'altra o tra aree di competenza di AP diversi.

Conoscere con assoluta precisione gli spostamenti futuri di un utente non è chiaramente possibile, per cui si deve disporre di tecniche che consentano di "indovinare" dove sarà necessario allocare risorse.

Buona norma sarebbe comunque prenotare risorse su più celle contemporaneamente, in modo da coprire più casi e non uno solo.

Un fallimento nella previsione infatti può comportare una caduta di chiamata, esattamente come quando non si applica alcuna prenotazione di risorse.

Un'altra buona scelta sarebbe quella di effettuare una prenotazione multi-hop, ovvero cercare di prevedere non solo quale sarà la prossima cella visitata dall'utente ma anche le successive.

Ovviamente una soluzione del genere è possibile, ma l'affidabilità della previsione effettuata decrescerà man mano che ci si spingerà in avanti nel tempo.

Trattandosi comunque di calcoli di probabilità, bisogna considerare il caso in cui la previsione fallisca: piuttosto che abbandonare del tutto l'utente a se stesso, bisognerà

quindi ricalcolare la prossima cella o le prossime celle, in modo da cercare di recuperare la qualità del servizio offerto.

Esistono numerose tecniche in grado di effettuare questo tipo di previsioni, due delle quali saranno descritte in maniera approfondita nel terzo capitolo.

In particolare, si descriverà prima una tecnica di previsione basata sui processi di rinnovo di Markov ed in seguito una che fa affidamento a principi del data-mining applicati in ambiente distribuito.

Nel primo caso si vedrà come la storia di mobilità di un utente sia rappresentabile attraverso un processo di salto markoviano, o meglio attraverso un processo di rinnovo che ne rappresenta la generalizzazione.

Le celle attraversate dagli utenti saranno rappresentate dagli stati del processo di Markov e gli istanti di transizione saranno degli istanti di salto.

Si mostrerà poi come attraverso opportuni tools sia possibile estrapolare delle funzioni di distribuzione dai dati relativi a spostamenti di utenti, preventivamente raccolti prima di mettere in opera la predizione.

La tecnica che sarà illustrata consente peraltro in maniera abbastanza semplice di effettuare sia previsioni multi-hop che su più celle.

La seconda tecnica che si andrà ad illustrare nel terzo capitolo, fa uso di concetti alla base delle tecniche di data-mining, ovvero il supporto e la confidenza, oltre che l'algoritmo a-priori che su di esse si basa.

L'idea è che più una transizione è frequente più saranno alti il supporto e la confidenza della regola ad essa corrispondente: l'algoritmo a-priori filtra attraverso varie iterazioni le regole con valori di support e confidence troppo bassi, fino ad ottenere quella che rappresenta al meglio il profilo di mobilità richiesto.

In realtà si farà uso di una versione distribuita dell'algoritmo a-priori detta Count Distribution Algorithm: la necessità del calcolo in distribuito deriva dalla natura stessa del problema in esame: nel caso di una rete cellulare infatti, le informazioni relative agli spostamenti degli utenti sono sparse in vari punti corrispondenti alle celle della rete, pertanto sarà necessaria una fase di scambio di queste informazioni.

Terminata la fase di analisi delle tecniche, si passerà alla descrizione dell'architettura di un simulatore.

Nel quarto capitolo quindi si descriveranno i componenti necessari ad un'applicazione affinché possa testare al meglio delle tecniche di previsione della mobilità utente.

Quello che dovrebbe fare un'applicazione del genere, altro non è che prendere delle tracce relative a spostamenti di utenti e verificare che la previsione effettuata dalla tecnica in esame sia veramente affidabile.

Le tecniche come si è già detto sono molteplici e l'architettura che si proporrà è pensata per funzionare in qualsiasi caso, anche quelli non ancora noti.

Un risultato del genere può essere ottenuto solamente progettando con cura l'applicazione, ovvero facendo affidamento a principi fondamentali dell'ingegneria del software.

Si vedrà quindi come l'utilizzo dei pattern di progettazione consenta di ottenere codice facilmente mantenibile e riutilizzabile, oltre che un'applicazione in generale scalabile.

Si mostrerà infatti come separare le funzionalità ed isolare le parti in comune consenta di evitare la riscrittura di codice identico in più punti.

Ciò comporta un vantaggio considerevole innanzitutto durante la scrittura del codice, ma anche in fase di correzione dello stesso: basterà applicare le modifiche in una classe sola piuttosto che in giro per tutta l'applicazione.

Una volta definita l'architettura di base, fornire supporto ad una nuova tecnica di predizione richiederà solamente di scrivere il codice strettamente necessario.

Questo tipo di soluzione per quanto possa sembrare complessa ad una prima occhiata, si rivela la scelta migliore nel lungo periodo: un'applicazione ben progettata infatti è certamente destinata ad una vita più lunga di una scritta senza preventiva fase di analisi, pertanto si sceglierà questa strada in vista di future estensioni dell'applicazione stessa.