



Alma Mater Studiorum · Università di Bologna

---

---

SCUOLA DI SCIENZE  
Corso di Laurea in Informatica

**UNA RASSEGNA  
DI APPLICAZIONI  
PER IL  
MONITORAGGIO  
VEICOLARE**

Tesi di laurea in Sistemi e Reti Wireless

Relatore: Chiar.mo Prof.  
**LUCIANO BONONI**

Presentata da:  
**MANUEL PALARA**

Sessione  
III  
Anno Accademico  
2012- 2013

# 1 Introduzione

Il traffico dei veicoli sulla rete stradale è un fenomeno molto vario e complesso ma cresce sempre di più l'esigenza di monitoraggio e controllo. La difficoltà di studio secondo norme codificate porta a risultati diversi e disomogenei, si è quindi resa necessaria l'esigenza di definire una metodologia standardizzata agli analisti e operatori del settore. Lo scopo principale di questo tipo di analisi è quello di innalzare il livello di sicurezza stradale, creando degli archivi sulla base dei dati registrati dal sistema, per fare ciò vi è stata la necessità di:

1. Installare dispositivi di rilevamento del flusso veicolare per trovare i punti di maggiore congestione del traffico.
2. Installare dispositivi per misurare la quantità di agenti atmosferici e acustici inquinanti. Lo studio in questione nasce inoltre da ulteriori esigenze, sia da parte degli addetti alla sicurezza stradale, che dagli stessi utenti/automobilisti per rispondere a determinate esigenze quali:

- Regolazione del traffico stradale
- Conoscenza globale delle strade
- Rilevamento di infrazioni
- Assistenza agli utenti
- Sicurezza delle infrastrutture stradali (gallerie, passaggi a livello, ecc.)
- Manutenzione della strada
- Studio e ricerca

Oltre ai sistemi che hanno come scopo principale la sicurezza, è nata l'esigenza di progettare sistemi utili agli automobilisti per avere informazioni immediate, aggiornate e per conoscere in tempo reale le condizioni di scorrevolezza delle strade e quindi di risparmiare risorse in termini di tempo e carburante ed aumentare la coordinazione tra i veicoli. Il requisito fondamentale dei sistemi basati su questo tipo di funzionalità è quello di registrare in tempo reale le segnalazioni pervenute

e di renderle immediatamente disponibili a tutti gli utenti/utilizzatori del sistema allo scopo di avere informazioni rilevanti riguardanti lo stato del traffico che consentano a questi ultimi di effettuare la scelta ottimale e quindi migliorare la mobilità generale in termini di riduzione della congestione, risparmio di consumi energetici e di conseguenza di emissioni di inquinanti ambientali. I sistemi di questo tipo possono essere definiti adattivi, cioè in grado di modificarsi in base a condizioni esterne al fine di coordinare efficacemente il flusso veicolare. Lo scopo di questi software è soprattutto funzionale, stimando infatti i tempi di percorrenza in determinate strade gli utenti avranno piena consapevolezza delle condizioni di quei segmenti quasi istantaneamente e potranno quindi agire di conseguenza in modo da migliorare i tempi di percorrenza. [1]

## 2 Sistemi GIS

I sistemi informativi geografici (o GIS, acronimo di Geographic Information System) sono sistemi composti da una serie di strumenti software che permettono di raccogliere, immagazzinare, elaborare visualizzare e gestire dati spaziali. Questi sistemi hanno trasformato il modo in cui le informazioni spaziali sono interrogate, analizzate e visualizzate diffondendosi negli ultimi anni in maniera sempre più capillare e venendo utilizzati in sempre nuovi campi di applicazione. In questo capitolo verrà descritta questa tipologia di sistemi, ripercorrendo brevemente la storia e i principali temi sviluppati nel corso degli anni, identificando e descrivendo i concetti e le caratteristiche che identificano i sistemi informativi geografici. In seguito vengono riportati alcuni dei fronti di ricerca identificati per i prossimi anni.

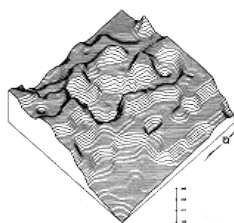
### 2.1 Sistemi Informativi Geografici

L'informazione geografica è stato un campo attivo della ricerca dagli albori dell'informatica, perché sono molto numerose le attività umane e i processi decisionali che coinvolgono considerazioni di carattere geografico. Possiamo definire in maniera generica i Sistemi Informativi Geografici come dei sistemi informativi che integrano, immagazzinano, elaborano, analizzano e visualizzano informazioni geografiche allo scopo di fornire un supporto alle decisioni [9]. I GIS sono sistemi permettono agli utenti di creare richieste interattive, analizzare informazioni spaziali, modificare e visualizzare i dati attraverso delle

mappe[10]. E' un termine che può riferirsi ad elevato numero di diverse tecnologie, metodi e processi. Sistemi di questo tipo sono diffusi in tutti quei campi in cui l'analisi e il monitoraggio di dati distribuiti su mappe assume un ruolo strategico, diffusione cresciuta negli ultimi anni con la maggiore disponibilità di potenza di calcolo, di software dedicato e di dispositivi di rilevazione spaziale a basso costo[18]. Le caratteristiche dei diversi campi di applicazione ha portato col tempo a sviluppare sistemi specifici altamente specializzati, ognuno focalizzato su diversi aspetti dell'informazione geografica. Alcuni dei campi in cui i GIS trovano applicazione sono il monitoraggio del territorio e delle risorse, la sociologia, l'ingegneria, la logistica, il marketing, il management[12].

## 2.2 Cenni storici

I primi riferimenti ai Geographic information systems (GIS) vennero fatti in Canada negli anni 60. Roger Tomlinson, considerato il padre di questi sistemi, introdusse tale definizione per indicare un sistema sviluppato per il Canada Land Inventory[11] allo scopo di analizzare i dati raccolti e produrre statistiche per produrre piani di gestione del territorio. La costruzione di un sistema simile non aveva precedenti e fu necessario sviluppare apposite teorie e tecnologie per la rappresentazione interna dei dati, operazioni di sovrapposizione di mappe e miglioramento della qualità delle scansioni, funzioni che oggi costituiscono il nucleo delle funzionalità fornite da questi sistemi. Durante gli anni 60 e 70 il principale fronte di ricerca era rivolto alla gestione dei dati spaziali, ai modelli spaziali e alla visualizzazione di mappe. Nel 1966 venne sviluppato SYMAP(Synagraphic Map System)che permetteva la costruzione di mappe attraverso un calcolatore , dotato di semplici funzionalità di visualizzazione e stampa[14]. Fu il primo di tanti strumenti che vennero sviluppati verso la fine degli anni 60 come CALFORM,GRID, SYMVU, che per la prima volta rendeva possibile lavorare con mappe 3D[14]. Nel 1977 iniziano gli sviluppi di MOSS (Map Overlay and Statistical System) un software GIS sviluppato con modalità open source[14]. Negli anni 80 il fronte di ricerca si spostò verso le funzionalità analitiche e verso l'interazione con l'utente attraverso interfacce grafiche[14]. Nel 1982 venne commercializzato il primo pacchetto di software GIS dalla ESRI, ArcInfo 1.0, che era eseguito su un mainframe, nel 1986 viene rilasciata PC ArcInfo 1.0 , la versione per personal computer[13][16].



**Figura1:** Visuale del software Simvu, uno tra i primi sistemi GIS

Negli anni 90 si assiste allo sviluppo delle prestazioni dell'hardware e il contemporaneo abbattimento dei costi, e i GIS conoscono una grande diffusione[26]. Le principali tendenze della ricerca puntano a trasformare i GIS in sistemi di gestione delle informazioni in grado di supportare efficacemente i processi di supporto delle decisioni. Se tradizionalmente gli utenti erano scienziati, ricercatori, impiegati governativi non particolarmente esigenti riguardo le prestazioni dei loro prodotti, la metà degli anni 90 ha assistito all'adozione di tali sistemi da parte di organizzazioni commerciali che per via della loro complessità e dei contesti di forte concorrenza necessitavano di un costante miglioramento delle prestazioni, delle funzionalità e dell'usabilità[15]. Queste tendenze erano identificate già nelle cinque principali aree di ricerca che nel 1989 l'NCGIA (National Center for Geographic Information and Analysis) aveva identificato. Queste aree di ricerca vengono portate avanti negli anni successivi[15]: analisi statistica spaziale, teorie di relazione spaziale, intelligenza artificiale, visualizzazione dei dati, impatti sociali, economici e istituzionali. La diffusione dei GIS in numerosi campi dell'ingegneria e del management, ognuno con differenti bisogni e visioni dell'informazione, avevano portato gli sviluppatori a definire modelli, formati, operazioni di analisi e procedure di visualizzazione specifiche per i propri campi di applicazione, comportamento che successivamente condusse al problema di interoperabilità tra sistemi diversi[21]. Per questa ragione nel 1994 viene fondato da enti di ricerca e organizzazioni commerciali l'OpenGIS Consortium (OGC) per definire e divulgare gli standard per rappresentare e manipolare i dati geografici. Anche l'ISO (International Standard Organization) istituisce un comitato tecnico (ISO/TC 211), dedicato alla standardizzazione dell'informazione geografica digitale. Negli anni 2000, lo sviluppo e la diffusione delle tecnologie web 2.0, delle tecnologie wireless e di dispositivi mobili "smart" dotati di sensori per l'identificazione spaziale costituisce un fattore determinante per la crescita ed il consolidamento di questi sistemi. Le architetture cambiano,

passando da modelli centralizzati a modelli sempre più distribuiti, i contenuti vengono resi accessibili attraverso interfacce web ad un numero sempre maggiore di utenti. Esempio di questo cambiamento è Google Maps, applicazione rilasciata da Google nel 2005. La quantità di dati sempre maggiore resa disponibile dai numerosi device mobili, rendono possibile di usufruire di analisi geolocalizzate in contesti precedentemente impensabili portando a una diffusione capillare di questi sistemi in un elevato numero di campi e incentivando l'integrazione di questi sistemi con sistemi esistenti o con le nuove tecnologie. Un esempio è l'integrazione di questi sistemi con i social network come ad esempio FourSquare, Waze, Google Latitude o Trapster.

## **2.3 Caratteristiche dei sistemi informativi geografici**

### **2.3.1 Modello dei dati**

Il GIS è un sistema che permette l'elaborazione di dati georeferenziati, informazioni associate a una locazione fisica sulla superficie terrestre individuabile all'interno di un sistema di riferimento geografico attraverso delle coordinate. Necessitano di un modello rappresentativo flessibile che fornisca una buona approssimazione della realtà e che sia memorizzabile all'interno di supporti digitali che siano file testuali o database[17].

- E' necessario rappresentare i seguenti tipi di informazione[17]:
- Geometriche: relative alla rappresentazione cartografica degli oggetti rappresentati; quali la forma (punto, linea, poligono), la dimensione e la posizione geografica;
- Topologiche: riferite alle relazioni reciproche tra gli oggetti (connessione, adiacenza, inclusione);
- Informative: riguardanti gli attributi (numerici o testuali) che sono associati ad ogni oggetto.

### **2.3.2 Sistemi di coordinate**

Il dato geometrico è un fattore determinante per la qualità delle informazioni

che vengono gestite attraverso il GIS: esso memorizza la posizione del dato impiegando un sistema di proiezione reale che definisce la posizione geografica dell'oggetto all'interno di un sistema di riferimento[27]. Un sistema di riferimento a coordinate può essere rappresentato in maniera astratta con un piano cartesiano a n-dimensioni. In cartografia il piano di rappresentazione è bi-dimensionale e i sistemi di riferimento geografici estendono l'idea di piano cartesiano alla superficie della Terra. La forma della Terra è approssimabile ad una sfera e rappresentare in forma piana di una superficie curva non può avvenire senza qualche alterazione geometrica. Tali trasformazioni vengono effettuate attraverso dei metodi di proiezione che lavorano con approssimazioni della forma della Terra. La forma del nostro pianeta è irregolare e può essere approssimata a quella di una sfera leggermente schiacciata ai poli che viene chiamata ellissoide di riferimento[27]. A seconda delle superfici che devono essere riportate sul piano, che possono corrispondere all'intero globo o a sue aree limitate, vengono utilizzati diversi ellipsoidi di riferimento per migliorare l'approssimazione della proiezione. Le trasformazioni più utilizzate sono quelle che proiettano l'ellissoide di riferimento su un cilindro, come la trasformazione di Mercatore, che fa coincidere l'asse del cilindro con l'asse terrestre e la trasformazione di Gauss, detta anche trasformazione di Mercatore inversa, che utilizza un cilindro il cui asse è perpendicolare all'asse della terra[27]. Sulla proiezione viene definito un sistema di coordinate, che permette di misurare posizioni e distanze a partire da un sistema riferimento. Esistono diversi sistemi di coordinate: alcuni adottati a livello nazionale (come ad esempio Gauss-Boaga in Italia, Lambert 93 in Francia, British National Grid in Gran Bretagna) altri definiti come standard internazionale, come l'Universal Transversal Mercator (UTM)[27]. Attraverso algoritmi è possibile trasformare un punto da un sistema di coordinate ad un altro, la trasformazione tuttavia è soggetta a imprecisioni dovute ad approssimazioni che in alcuni casi potrebbero non essere accettabili. I sistemi GIS possono gestire contemporaneamente diversi sistemi di coordinate[17].

### **2.3.3 Rappresentazioni raster e vettoriali**

I dati geografici possono essere digitalizzati ed immagazzinati secondo due principali rappresentazioni: raster o vettoriale [18]. Il dato raster, detto anche bitmap memorizza le proprie informazioni all'interno di una matrice di celle dette pixel. Ogni pixel può assumere un valore finito che viene tradotto dal calcolatore con un colore. Maggiore è l'insieme dei valori possibili, maggiore è il numero di colori che possono essere rappresentati. La dimensione della matrice



è strettamente relazionata alla precisione del dato e al dettaglio degli oggetti rappresentati. I dati vettoriali sono costituiti da primitive geometriche quali punti, linee e poligoni, codificati e memorizzati sulla base delle loro coordinate, utilizzate per costruire immagini più complesse. Un punto viene individuato in un GIS attraverso le sue coordinate all'interno di un sistema di riferimento. A ciascun elemento è associato un record del database informativo che contiene tutti gli attributi dell'oggetto rappresentato.

#### **2.3.4 Funzionalità tipiche**

- La caratteristica principale di un GIS è la capacità di correlare tra loro dati di natura diversa sulla base di coordinate geografiche in comune, di potere condurre analisi e successivamente visualizzare tali dati su delle mappe. In questo modo rende possibile creare nuove informazioni a partire dai dati esistenti, e permette una fruizione del dato molto più intuitiva per l'utente, fornendo informazioni con maggiore efficacia e qualità. Le funzionalità fornite dai GIS supportano gli utenti nella gestione dell'intero ciclo di vita del dato: raccolta dei dati, validazione, memorizzazione, analisi, memorizzazione e condivisione dei risultati. Le operazioni tipiche dei GIS possono essere raggruppate all'interno delle seguenti categorie[19]:
- Inserimento dati (dataentry)
- Conversione dati
- Validazione dei dati
- Visualizzazione/rendering
- Operazioni del database con le mappe
- Operazioni del database con dati
- Analisi
- Produzione di output. I paragrafi seguenti descrivono le funzionalità nel dettaglio.

### **2.3.5 Inserimento dei dati**

Un GIS fornisce diverse funzionalità per la raccolta dei dati, che potendo appartenere a diverse tipologie necessitano di diversi strumenti. Si possono prevedere funzioni di acquisizione delle mappe come il Map Scanning che permette di importare nel sistema la scansione di una mappa cartacea in formato raster; e il Map Digitalizing che permette di costruire mappe vettoriali a partire da mappe raster attraverso un'interfaccia che permette di identificare nodi e linee[19]. Altre funzioni permettono l'inserimento a sistema di dati georeferenziati attraverso un caricamento diretto da file di testo o database e l'assegnamento di attributi agli elementi di una mappa, come ad esempio la costruzione di identificatori univoci.

### **2.3.6 Conversione dati**

Funzioni di conversione prevedono la trasformazione di mappe dal formato vettoriale al formato raster (vector-to-raster) e dal formato raster al formato vettoriale (raster-to-vector). La conversione vector-to-raster consiste in una proiezione su una griglia di dimensione definita dagli utenti degli oggetti del database mentre la conversione raster-to-vector viene effettuata attraverso software di riconoscimento delle immagini e la loro precisione è influenzata dalla risoluzione della mappa di input[19].

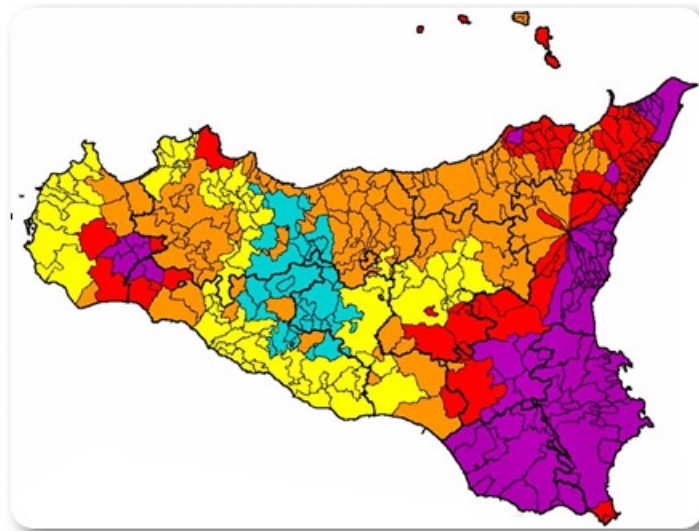
### **2.3.7 Validazione dei dati**

I processi di costruzione e digitalizzazione delle mappe sono soggetti ad errori dovuti ad errori umani, bassa risoluzione delle mappe di input, imprecisione degli algoritmi automatici di digitalizzazione. Errori topologici tipici possono essere poligoni aperti, archi che si intersecano (overshoot) o che non si connettono (undershoot), che possono portare a risultati non corretti in analisi successive, specialmente nel caso di analisi delle reti[19]. I GIS possono fornire funzionalità di error detection, che permettono di identificare questo genere di errori, ed error correction, ovvero funzioni di correzione manuale e automatica. Altre funzionalità di validazione vengono fornite allo scopo di verificare che i dati georeferenziati contenuti all'interno della base di dati siano correttamente riferiti alle mappe.

### **2.3.8 Visualizzazione/rendering**

Le funzioni di visualizzazione forniti da un GIS modificano la rappresen-

tazione delle mappe che vengono fruite dall'utente e l'informazione che viene mostrata. Operazioni tipiche sono l'ingrandimento o la diminuzione della scala utilizzata nella mappa (zooming), lo spostamento della mappa e la conseguente modifica dell'area visualizzata (panning) e la ricostruzione della mappa visualizzata in seguito alle operazioni effettuate(rendering). Tra le funzionalità più complesse sono comprese la colorazione delle mappe in base a criteri definiti dall'utente, la possibilità di filtrare gli elementi visualizzati e quella di potere sovrapporre nella stessa vista mappe raster con informazioni di tipo vettoriale[28].

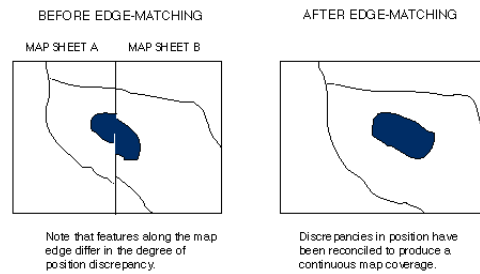


**Figura2:** Mappa colorata in base a criteri definiti dall'utente.

### 2.3.9 Operazioni del database con le mappe

Un GIS memorizza i dati geometrici e topologici all'interno di database relazionali che per motivi di efficienza e gestione della memoria vengono segmentati in blocchi. Fornisce operatori che permettono di effettuare operazioni di unione e concatenazione di tali blocchi (edge matching), nonché la possibilità di andare a definire correlare tra loro mappe che mostrano informazioni diverse sulla base di elementi topologici comuni[28]. Queste operazioni spesso richiedono

un ingente intervento manuale attraverso la definizione di punti di controllo e all'allineamento delle mappe. Altre funzioni fornite sono la georeferenziazione, l'inserimento a sistema di punti che corrispondono a locazioni conosciute nel mondo reale, che possono essere successivamente utilizzate come punti di riferimento per l'interpolazione di altri punti all'interno del set di dati; e il passaggio dei punti da un sistema di coordinate ad un altro[19].



**Figura3:** Edge matching da parte dei software GIS.

### 2.3.10 Operazioni del database con attributi

Per potere arricchire il contenuto informativo delle mappe un GIS fornisce la capacità di potere inserire informazioni associate agli elementi di una mappa. Tali associazioni possono essere contenute all'interno del database, attraverso la definizione di attributi associati agli elementi di una mappa. La possibilità di potere stabilire connessioni con sistemi esistenti presenti all'interno di un'organizzazione[19]. La connessione di sistemi diversi è un'operazione complessa che richiede la definizione di regole di trasformazione da un sistema all'altro e viene supportata attraverso sistemi ETL (Extraction, Transformation & Load) che trasformano i dati delle sorgenti in un formato omogeneo con quello dei dati di destinazione[29].

### 2.3.11 Analisi dei dati

I GIS possono fornire numerosi strumenti di analisi ed elaborazione delle informazioni, strumenti che variano al variare del dominio di applicazioni. Questi strumenti hanno le loro radici all'interno dell'analisi di dati spaziali, ovvero di

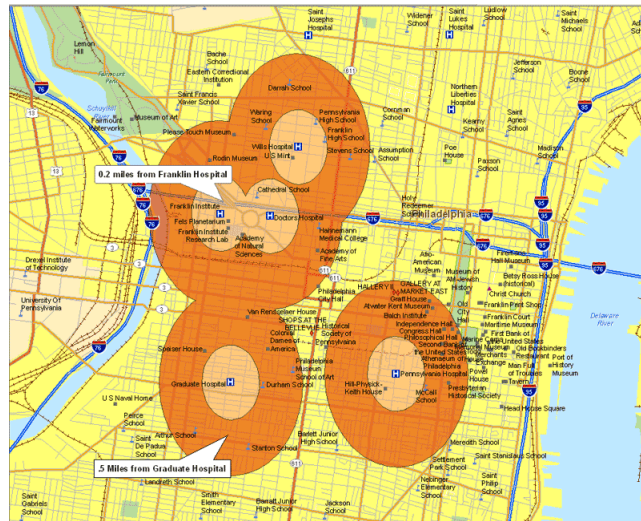
dati identificati all'interno di sistemi di coordinate. Metodi di analisi spaziale sono stati accumulati durante i secoli, definiti all'interno di diverse discipline come la matematica, la geometria, la statistica, la geografia, la cartografia[33]. Le tipologie di analisi supportate da questi sistemi possono essere raggruppate in selezioni di area, analisi di prossimità, overlay di mappe, analisi delle reti, analisi raster, analisi statistiche, data mining, generalizzazioni, visualizzazioni 3D[19].

### **2.3.12 Selezioni di area**

Le selezioni di aree di una mappa costruiscono delle viste di oggetti di una mappa che rispettano condizioni definite dall'utente (operazione equiparabile al costrutto SELECT del linguaggio SQL). Una tipica richiesta di questo genere di analisi è così formulata: visualizza i tratti dell'autostrada selezionata che non hanno ricevuto manutenzione negli ultimi 24 mesi[19].

### **2.3.13 Analisi di prossimità**

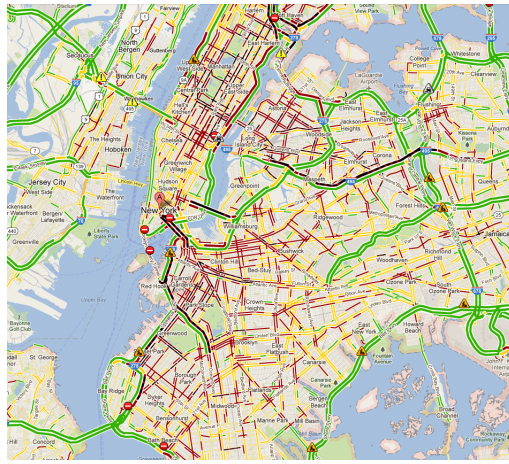
Una comune procedura spaziale è il calcolo di caratteristiche ed oggetti che soddisfano delle condizioni di prossimità spaziale definite dall'utente. Tali condizioni possono essere definite in base alla valutazione di distanze, restituendo tutti gli elementi inclusi all'interno di un raggio di ricerca, oppure attraverso la restituzione degli elementi inclusi all'interno di un area poligonale definita dall'utente (buffering)[19]. Una tipica richiesta di questo genere di analisi è così formulata: restituisci il numero delle persone che abitano entro 3 chilometri dalla caserma dei pompieri[28].



**Figura4:** Esempio di analisi di prossimità.

### 2.3.14 Overlay di mappe

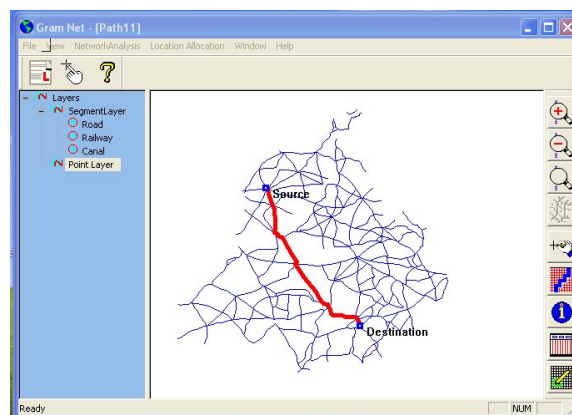
Considerata una delle principali applicazioni dei GIS, l'overlay, o join spaziale, permette di sovrapporre o intersecare diverse aree contenenti informazioni differenti allo scopo di creare nuove mappe e individuare aree di influenza e sovrapposizioni. E' possibile specificare operatori aritmetici, logici e insiemistici per determinare la mappa di output[28].



**Figura5:** Vengono visualizzate le informazioni relative al traffico su una mappa

### 2.3.15 Analisi delle reti

I GIS implementa tra le sue funzionalità algoritmi in grado di determinare i percorsi minimi tra due punti definiti all'interno di un modello di rete. Affinché tali algoritmi possano essere applicati, è necessario definire, oltre al modello della rete, il set di attributi e regole che rendono gli archi di interconnessione tra i nodi approssimazioni significative della realtà[19].



**Figure6:** Esempio di calcolo del percorso minimo su un modello di una rete stradale.

### 2.3.16 Analisi raster

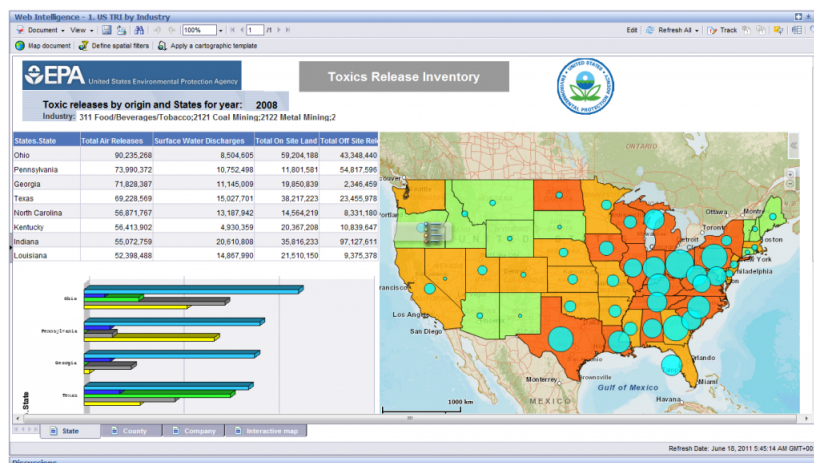
Molti GIS permettono il processamento di mappe raster attraverso operazioni che permettono di effettuare l'overlay attraverso operatori algebrici che operano sulle celle delle mappe[19].

### 2.3.17 Analisi statistiche

Numerosi sono gli strumenti di analisi derivato dalla branca della statistica che si focalizza sullo studio di problemi spaziali, la geostatistica. I GIS implementano uno o più metodi matematici di interpolazione di dati, ovvero la costruzione a partire da rilevazioni discrete di dati continui, spesso superfici nel caso di applicazioni geografiche[30].

### 2.3.18 Data mining

Numerosi sistemi GIS implementano strumenti di data mining, applicazioni che analizzano set di dati estesi provenienti da diverse sorgenti al fine di evidenziare all'interno di aree geografiche correlazioni e tendenze nascoste[18]. L'utilizzo di queste tecniche è strategico nei sistemi a supporto delle decisioni come i sistemi di Location Intelligence, per la possibilità di analizzare ed usufruire dei risultati su mappe[31].





**Figure7:** Esempio di analisi software che evidenziano le aree di maggior interesse secondo criteri predefiniti.

### 2.3.19 Generalizzazioni

Tra le funzioni cartografiche più utilizzate ci sono quelle che permettono di semplificare, generalizzare e classificare elementi vettoriali, riducendo il numero dei punti necessari a rappresentare delle forme poligonali, unificando aree adiacenti o simili in base ad attributi definiti dall'utente[19].

### 2.3.20 Visualizzazioni 3D

Alcuni GIS sono in grado di potere visualizzare mappe tridimensionali nel caso siano disponibili nel sistema di coordinate, una terza dimensione corrispondente all'altitudine[19]. Questo genere di rappresentazioni fornisce una visualizzazione migliorata dell'area di interesse.



**Figura8:** esempio di mappa 3d

### 2.3.21 Produzione di output

Un GIS può fornire il risultato delle proprie elaborazioni in diversi formati[19]:

- diagrammi riassuntivi, che mostrano statistiche(media, deviazione standard , varianza) relative agli attributi principali gestiti nel sistema

- report in forma tabellare, in grado di rappresentare su tabella gli attributi degli elementi grafici e associarli all'interno di una struttura condivisa con altre informazioni provenienti da altri DBMS
- mappe generate in fase di analisi

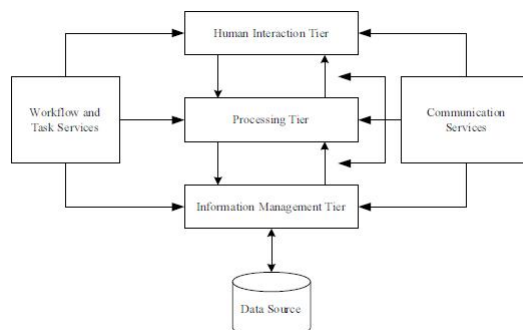
### 2.3.22 Architettura dei sistemi GIS

L'eterogeneità dei GIS rende difficile la possibilità di definire un'architettura standard di riferimento. E' però possibile ricavare indicazioni di tipo generico partendo dal lavoro che gli enti di standardizzazione come l'OGC e l'ISO stanno portando avanti, sebbene non ancora giunti a completamento [21]. I modelli, i servizi e i linguaggi standard possono essere raggruppati in un'architettura generica a livelli. I livelli sono quelli caratteristici dei sistemi informativi general purpose, ma i componenti di ogni livello sono specificatamente definiti per la rappresentazione, manipolazione e visualizzazione dei dati geografici. I livelli (tier) sono i seguenti[32]:

- Information Management tier: responsabile della memorizzazione dei dati, della loro gestione e rappresentazione interna.
- Processing tier: raccoglie i servizi di analisi ed elaborazione avanzata dei dati.
- Application Service tier: raccoglie i servizi destinati a supportare i Clients come portali, servizi di discovery o controllo del processo

Altri componenti che non sono assegnabili a nessuno dei tre livelli sono raggruppate in due categorie di supporto[21]:

- Servizi di aggregazione delle operazioni: che permettono di definire operazioni complesse a partire da operazioni semplici o definire flussi di lavoro che possono essere monitorati e sottoposti a processi di approvazione
- Servizi di comunicazione: che connettono tra loro i servizi dei vari livelli codificando e trasmettendo le informazioni.



**Figura8:** Architettura di un GIS

### 2.3.23 Gestione dei dati

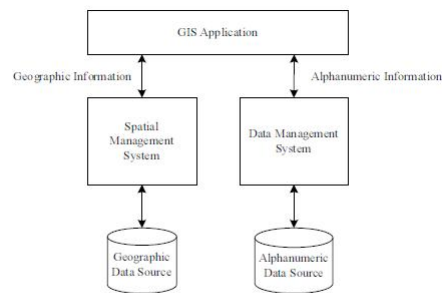
Il set di dati geografici tendono ad occupare molte risorse di memoria, quindi la gestione di grosse moli di dati è da sempre stato uno dei fattori critici di successo di un GIS. I sistemi informativi tradizionali utilizzano DBMS per gestire le informazioni, ma solo negli ultimi anni questi hanno fornito un supporto efficiente per la manipolazione dei dati spaziali. Prima di allora è stato necessario definire architetture specificatamente ideate per gestire dati di natura eterogenea[21]. La prima generazione di GIS utilizzava un'architettura di gestione di dati chiamata georelazionale, all'interno del quale venivano utilizzati due database distinti, uno dedicato alla gestione dei dati tradizionali tramite DBMS e uno dedicato alla gestione dei dati geografici tramite filesystem. I sistemi di gestione georelazionale possono essere implementati secondo 4 strutture[34]: Arc/node, a oggetti, Compact raster e Quadtree. Questo tipo di gestione separata, chiamata gestione georelazionale, presenta due principali vantaggi: il primo è la difficoltà di integrare e interrogare dati geografici con i dati tradizionali; il secondo è l'impossibilità per i dati geografici di usufruire delle funzionalità fornite da un DBMS come accesso concorrente, security, integrità del dato e tecniche di backup e restore[21]. L'architettura che molti GIS stanno implementando negli ultimi anni prevede l'utilizzo di un DBMS estendibile, in grado di essere ampliati attraverso moduli esterni o strumenti interni di sviluppo con nuovi tipi di dato, modelli, operatori e procedure di ottimizzazione[21]. In commercio sono disponibili DBMS che permettono di

manipolare efficacemente sia dati aspatiali che dati spaziali, detti geodatabase. Alcuni gestiscono nativamente primitive geografiche come Microsoft SQL Server 2008 e versioni superiori, MySQL 5.5 e versioni superiori; altri prevedono moduli dedicati che espandono le funzionalità del DBMS standard come Oracle Database che può essere espanso attraverso il modulo Oracle Spatial [23]. Questa architettura risolve i problemi evidenziati precedentemente: le operazioni geografiche vengono rese disponibili agli utenti all'interno del linguaggio di interrogazione e beneficiano dei meccanismi di ottimizzazione query del DBMS. Viene descritta in [21] un approccio intermedio tra la gestione georelazionale e i database spaziali. L'architettura a livelli tenta di risolvere i principali svantaggi dell'architettura georelazionale utilizzando un unico DBMS per contenere tutti i dati. I dati possono essere memorizzati all'interno di tuple (architettura a livelli relazionale pura) o in oggetti binari di grandi dimensioni (architettura a livelli relazionale opaca)[21]: in entrambi i casi il DBMS non distingue i dati spaziali dai dati tradizionali. L'estrazione degli elementi geografici viene fatta attraverso un modulo di analisi geografica utilizzando le tecniche standard di interrogazione del DBMS. Anche questo approccio presenta degli svantaggi[21]:

- basse prestazioni: con l'approccio relazionale puro, sono necessarie un considerevole numero di tuple per memorizzare le informazioni. Quindi le operazioni su elementi geografici necessitano di un elevato numero di accessi e joins. Nell'approccio relazionale opaco, il DBMS non è a conoscenza della struttura interna degli oggetti, quindi tutti gli algoritmi devono essere implementati esternamente, senza avere modi di beneficiare delle funzionalità di ottimizzazione delle query.
- poco user-friendly: nell'approccio relazionale puro l'utente deve manipolare tabelle di punti, nell'approccio relazionale opaco grandi oggetti.
- molte computazioni geometriche non possono essere espresse: in un approccio relazionale puro non sono disponibili costrutti SQL che implementano tipiche operazioni spaziali (ad esempio test di adiacenza); mentre in un approccio relazionale opaco tutte le operazioni devono essere implementate esternamente al DBMS.

### 2.3.24 Architettura ibrida

La prima generazione di GIS utilizzava architetture ibride per la gestione dei dati, all'interno del quale venivano utilizzati due database distinti, uno dedicato alla gestione dei dati tradizionali tramite DBMS e uno dedicato alla gestione dei dati geografici tramite filesystem. Gli elementi dei due sistemi venivano legati tra loro attraverso puntatori da file a tuple del database e viceversa. Questo tipo di gestione separata presenta due principali svantaggi: il primo è la difficoltà di modellare, integrare e interrogare dati geografici con dati tradizionali; il secondo è l'impossibilità per i dati geografici di usufruire delle funzionalità fornite da un DBMS come accesso concorrente, security, integrità del dato e tecniche di backup e restore.

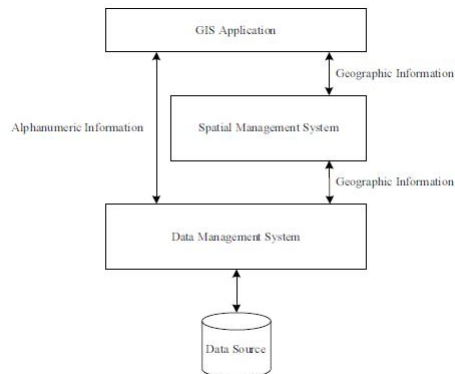


**Figura10:** Architettura ibrida

### 2.3.25 Architettura a livelli

L'architettura a livelli tenta di risolvere i principali svantaggi dell'architettura ibrida utilizzando un unico DBMS per contenere tutti i dati. I dati possono essere memorizzati all'interno di tuple (architettura a livelli relazionale pura) o in oggetti binari di grandi dimensioni (architettura a livelli relazionale opaca): in entrambi i casi il DBMS non distingue i dati spaziali dai dati tradizionali. L'estrazione degli elementi geografici viene fatta attraverso un modulo di analisi geografica utilizzando le tecniche standard di interrogazione del DBMS. Anche questo approccio presenta degli svantaggi:

- basse prestazioni: con l'approccio relazionale puro, sono necessarie un considerevole numero di tuple per memorizzare le informazioni. Quindi le operazioni su elementi geografici necessitano di un elevato numero di accessi e joins. Nell'approccio relazionale opaco, il DBMS non è a conoscenza della struttura interna degli oggetti, quindi tutti gli algoritmi devono essere implementati esternamente, senza avere modi di beneficiare delle funzionalità di ottimizzazione delle query.
- poco user-friendly: nell'approccio relazionale puro l'utente deve manipolare tabelle di punti, nell'approccio relazionale opaco grandi oggetti.
- molte computazioni geometriche non possono essere espresse: in un approccio relazionale puro non sono disponibili costrutti SQL che implementano tipiche operazioni spaziali (ad esempio test di adiacenza); mentre in un approccio relazionale opaco tutte le operazioni devono essere implementate esternamente al DBMS.

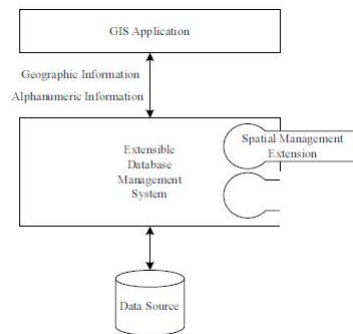


**Figura11**

### 2.3.26 Architettura estendibile

L'architettura che molti GIS stanno implementando negli ultimi anni prevede l'utilizzo di un DBMS estendibile, in grado di essere ampliati attraverso moduli esterni o strumenti interni di sviluppo con nuovi tipi di dato, modelli, operatori

e procedure di ottimizzazione. In commercio sono disponibili DBMS che permettono di manipolare efficacemente sia dati aspatiali che dati spaziali. Alcuni gestiscono nativamente primitive geografiche come Microsoft SQL Server 2008 e versioni superiori, MySQL 5.5 e versioni superiori; altri prevedono moduli dedicati che espandono le funzionalità del DBMS standard come Oracle Database che può essere espanso attraverso il modulo Oracle Spatial. Questa architettura risolve i problemi evidenziati precedentemente: le operazioni geografiche vengono rese disponibili agli utenti all'interno del linguaggio di interrogazione e beneficiano dei meccanismi di ottimizzazione query del DBMS .



**Figura12:**

### 2.3.27 Nuovi fronti di ricerca

All'interno di un GIS è possibile distinguere i contributi di numerose branche della scienza che durante gli anni hanno apportato un contributo ai vari componenti che costituiscono questi sistemi. Metodi per la gestione dei dati e dei metadati, tecnologie per la raccolta, l'analisi, l'interazione e la fruizione dell'informazione sono costantemente migliorati e resi accessibili. Si aprono costantemente nuovi fronti di ricerca grazie ai progressi in aree conosciute, che allargano le prospettive verso confini fino a poco tempo fa impensabili e grazie alla possibilità di potere portare all'interno dei propri sistemi tecnologie nuove, frutto delle scoperte e degli avanzamenti in altre aree dell'informatica e della scienza. In un articolo del 2010 Goodchild [24] raggruppa le principali sfide che ricerca dovrà affrontare nei prossimi anni in cinque gruppi principali:

- Gestione di grandi moli di dati
- Volunteered GIS
- Modellazione di sistemi dinamici
- Aggiunta di nuove dimensioni
- Educazione

### **2.3.28 Gestione di grandi moli di dati**

La diffusione delle tecnologie di posizionamento, dai sistemi satellitari ai sistemi terrestri come l'RFID o la triangolazione telefonica ha permesso di conoscere in tempo reale la posizione di numerosi oggetti di tipo e dimensioni variabili. Prolungando questa tendenza in avanti e nel tempo, è possibile pensare che in futuro si potrà conoscere la posizione di tutto in ogni momento[24]. Questo porta a diverse questioni che dovranno essere risolte. Dal punto di vista tecnologico si dovrà indagare su come questa immensa mole di dati possa essere immagazzinata e gestita e quali metodi di modellazione, analisi e visualizzazione saranno necessari. Dal punto di vista sociale, si indagherà sul grado in cui queste tecnologie possano penetrare la privacy degli individui e su come i soggetti che accedono a queste moli informative potranno utilizzare i dati raccolti.

### **2.3.29 Volunteered GIS**

Negli anni passati, gli utilizzatori dei GIS erano confinati ad una cerchia di persone inizialmente dotati di profili molto tecnici e specialistici (ricercatori, scienziati, impiegati statali) che col tempo è cresciuta andando a inglobare gli utenti delle organizzazioni commerciali. Oggi la barriera tra esperti e non esperti è stata definitivamente abbattuta rendendo accessibile a qualunque persona le funzionalità di questi sistemi anche nella vita quotidiana. La pervasività dei dispositivi di raccolta dati ha incrementato significativamente il contributo dei cittadini alla raccolta di data georeferenziati. Si parla di informazioni geografiche volontarie, crowdsourcing, mappe comunitarie[24]. Secondo Goodchild si ci sta avvicinando ad un periodo in cui il cittadino è sia un consumatore che un produttore di informazioni. Questo cambiamento di ruoli presenta numerosi spunti di ricerca, come l'individuazione dei fattori sociali che motivano e sono in grado di prevedere il libero contributo degli individui, i tipi di informazione



che gli individui tendono a raccogliere e i fattori che permettono di certificare la qualità delle informazioni raccolte.

### **2.3.30 Modellazione di sistemi real-time**

La possibilità di usufruire di grandi moli di dati real-time provenienti da reti di sensori statici o da dispositivi mobili potrebbe permettere in futuro di disporre di sistemi che modellano reti e territori permettendone di conoscere lo stato esatto in ogni istante. Tali scenari implicano una serie di interrogativi a cui di dovrà trovare risposta, come la definizione di politiche di storicizzazione dei dati, la possibilità di far evolvere i sistemi esistenti in sistemi real-time e quali nuove tecniche, strumenti e paradigmi dovranno essere resi disponibili[24].

### **2.3.31 Nuove dimensioni**

I GIS sono sistemi prevalentemente basati su matrici bidimensionali derivati dalla metafora della mappa cartacea. La terza dimensione spesso è gestita come funzione delle prime due dimensioni, una soluzione spesso denominata "2.5D"[24]. Lo sviluppo di veri GIS 3D è limitato dalla disponibilità di sistemi di acquisizione e di rilevazione di posizione indoor e outdoor la cui efficienza non è paragonabile con gli odierni sistemi GPS. Contemporaneamente si prospetta l'aggiunta di una quarta dimensione (temporale) e di una quinta, costituita dallo spazio di attributi accomunati da una località geografica. La maggiore complessità da gestire portata dall'aggiunta di nuove dimensioni non riguarda soltanto l'acquisizione di informazioni ma anche la necessità di definizione di primitive adeguate al nuovo spazio n-dimensionale e alla ridefinizione delle funzioni base dei GIS come ad esempio il map overlay.

### **2.3.32 Educazione**

Sebbene la ricerca sui sistemi informativi geografici venga portata avanti da più di quarant'anni e negli ultimi anni questi abbiano conosciuto una grande diffusione, le operazioni fondamentali di un GIS non sono state ancora formalizzate in maniera rigorosa, né i concetti basilari di questi sistemi sono diffusi all'interno del mondo accademico[2-16]. Attività di formalizzazione e diffusione dei principi portanti sono attività sempre più critiche più si ci sposta verso architetture orientate al servizio, dove le funzionalità offerte devono essere standardizzate e ricercabili.

## 3 Sistemi di supporto alla navigazione real-time

### 3.1 Cenni storici

Una delle più grandi esigenze degli esseri umani è sempre stata quella di trovare il modo di determinare la propria posizione sulla terra, da secoli marinai, esploratori, ingegneri e scienziati hanno cercato di sviluppare metodi per stimare sempre più precisamente la loro collocazione sulla superficie terrestre e come determinare quale direzione seguire per raggiungere una determinata destinazione. Tuttavia solo nell'ultimo ventennio si è riusciti a costruire lo strumento che con assoluta certezza riconosce dove ci si trova, in qualsiasi punto del globo e con un possibile margine di errore di pochi metri, si tratta dei sistemi di navigazione satellitari. Il sistema si basa su una serie di satelliti in orbita attorno alla terra che inviano costantemente segnali radio al suolo e comunicano la posizione del satellite trasmittente e l'ora della trasmissione, in questo modo chiunque a terra sia dotato di apposito ricevitore può riconoscere la posizione esatta (tramite la posizione contenuta nel segnale radio e la distanza dal satellite calcolata come il tempo tra l'invio del segnale e la ricezione). Il sistema oggi più diffuso di navigazione satellitare è il GPS (Global Positioning System), i dispositivi GPS sono infatti oggi presenti nei sistemi di navigazione delle automobili e in tutti i telefoni cellulari di ultima generazione.[2]

Il sistema nasce a seguito degli esperimenti condotti negli anni 1972-1985 da parte dell'aviazione americana, il primo prototipo venne costruito nel 1972 con un sistema di satelliti posizionati al suolo ("ground based") e solo successivamente, nel 1975 venne lanciato il primo satellite intorno all'orbita terrestre. Nel 1982 venne rilasciato il primo navigatore GPS per uso commerciale e tra il 1986 ed il 1993 vennero lanciati ulteriori satelliti intorno all'orbita arrivando a 24 satelliti e successivamente venne sviluppato il sistema basato sulla "trilaterazione" (utilizzato per scopi militari per la prima volta durante la guerra del Golfo), nel 1993 grazie all'utilizzo degli orologi atomici venne migliorata ulteriormente la posizione di calcolo, riducendo ulteriormente il margine di errore. Oggi il sistema GPS è composto da 31 satelliti funzionali che ruotano intorno all'orbita terrestre ad una distanza di circa 20000 km dalla terra e da stazioni di controllo poste a terra. Ancora oggi l'intero sistema è gestito interamente dal dipartimento di difesa degli stati uniti e ovviamente questo offre loro un vantaggio strategico rispetto agli eserciti di altri paesi. Sembra infatti che sia possibile ancora oggi (da parte del governo statunitense) attivare un'opzione chiamata

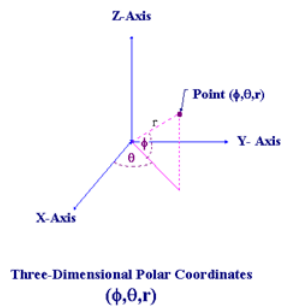
"selective availability" che rende impreciso il segnale ricevuto dei satelliti con un margine di errore di circa 100 m, a differenza del segnale preciso che riduceva l'errore ad alcuni metri. L'opzione selective availability è rimasta attiva fino al 2000, quando l'amministrazione di allora decise di rimuovere tale limitazione anche per uso civile. Sebbene il sistema GPS statunitense è stato reso disponibile a tutti la possibilità di un eventuale attivazione dell'opzione da parte degli stati uniti ha portato alla realizzazione (da parte degli altri paesi) di sistemi propri GPS, il dipartimento della difesa russo ha messo a punto il sistema GLONASS con 24 satelliti funzionali, anche l'unione europea ha avviato un proprio progetto col nome di Galileo che non è entrato ancora pienamente in funzione a causa degli elevati costi di realizzazione, l'India e la Cina stanno mettendo a punto un proprio sistema di rilevamento GPS che in un futuro non lontano gli consentirà un vantaggio strategico rispetto agli Stati Uniti nella competizione sul controllo delle aree dell'oceano Pacifico.[3]

### **3.2 Caratteristiche dei sistemi di navigazione stradale**

Una delle differenze sostanziali che caratterizza un sistema di navigazione rispetto ad un altro è senza dubbio l'attendibilità delle informazioni che vengono visualizzate che devono costantemente essere aggiornate a seguito dei continui cambiamenti delle strade (rotatorie, sensi unici, nuove vie) e degli altri luoghi di interesse segnalati (musei, esercizi commerciali, stazioni di servizio, ecc...). I principali sistemi di navigazione esistenti in commercio utilizzano le mappe offerte da Navteq ([www.navteq.com](http://www.navteq.com)) e Tele Atlas ([www.teleatlas.com](http://www.teleatlas.com)) che vengono periodicamente mantenute aggiornate. Oltre a ciò alcuni sistemi offrono un servizio di monitoraggio del traffico in tempo reale che permette agli utenti di avere sempre piena consapevolezza di quali percorsi siano effettivamente più scorrevoli rispetto ad altri onde evitare ingorghi[7].

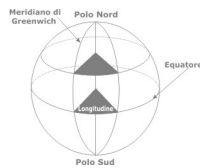
### **3.3 Mappe**

I sistemi di coordinate permettono l'univoca determinazione di un punto su una mappa bidimensionale o tridimensionale. Le coordinate cartesiane 2-D permettono di trovare un punto su una mappa a due dimensioni mentre le coordinate polari o cartesiane 3-D permettono l'individuazione di un punto sulla superficie terrestre rappresentata come un ellissoide[8].



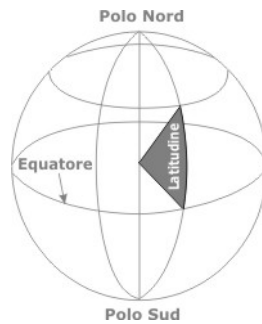
**Figura13**

Gli ellissoidi utilizzati più comunemente sono l' European-1950 (ED-50) ed il WGS-84 usati rispettivamente nella cartografia nazionale dell' IGM e a livello mondiale, il secondo tipo è quello utilizzato in tutti i GPS. Qualsiasi punto sulla superficie della terra è determinabile tramite le tre coordinate latitudine, longitudine e Altitudine. La longitudine è la distanza angolare di un determinato punto dal meridiano di Greenwich (meridiano fondamentale), essa può essere EST oppure OVEST a seconda che il punti sia a oriente o a occidente e varia da  $0^\circ$  a  $180^\circ$  con senso positivo verso EST e negativo verso OVEST[8].



**Figura14**

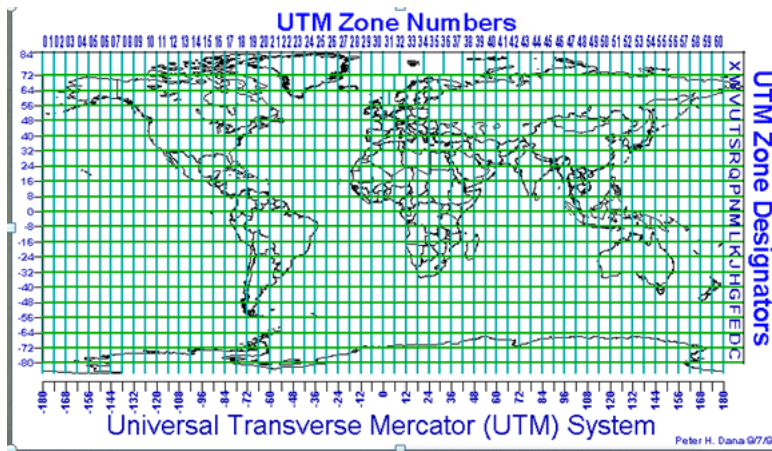
La latitudine geografica è invece la distanza angolare di un punto dall'equatore nel meridiano che passa da quel punto, è compresa tra  $+90^\circ$  (polo nord) a  $-90^\circ$  (polo sud), i punti sull'equatore hanno latitudine  $0^\circ$ .



**Figura15**

L'altitudine è la distanza verticale di un punto dal livello del mare.

La rappresentazione della superficie sferica della terra su una mappa piana avviene per mezzo delle proiezioni cartografiche, si tratta di un insieme di regole che permettono la visualizzazione di ogni punto della superficie terrestre su un piano bidimensionale. Non essendo possibile spianare una superficie sferica senza apportare deformazioni ad alcune o a tutte le sue parti vengono utilizzati diversi metodi in funzione del tipo di proiezione adottata. Esistono diversi tipi di proiezioni, ognuna delle quali utilizza regole diverse e produce diverse deformazioni scelte in base al tipo di mappa che si vuole ottenere. Le proiezioni più utilizzate nella cartografia classica è nota come Universal Transverse Mercator (UTM), qui le coordinate vengono definite in metri all'interno di una griglia e non in termini di latitudine e longitudine[8].



### Figura16

I GPS utilizzano il sistema di Ellissoide WGS-84 e Proiezione UTM. Il primo è un sistema di riferimento definito nel 1984 dal dipartimento della difesa statunitense che utilizza come origine il centro di massa della terra, l'asse Z parallelo alla direzione dell'asse di rotazione terrestre, l'asse X calcolato come intersezione tra piano equatoriale ortogonale all'asse Z con il piano meridiano di Greenwich. Il sistema utilizza un ellissoide geocentrico con parametri specifici. Il centro è definito con l'origine del sistema cartesiano e l'asse di rotazione con l'asse Z del sistema, in questo modo un punto può essere rappresentato come sistema di coordinate cartesiane (X, Y, Z) e con coordinate ellissoidiche (latitudine, longitudine e quota ellissoidica)[8].

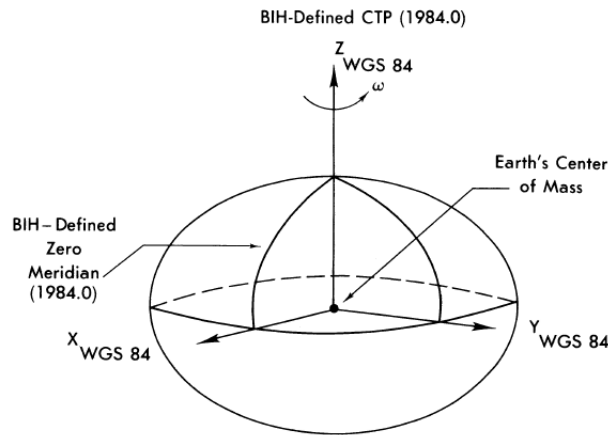
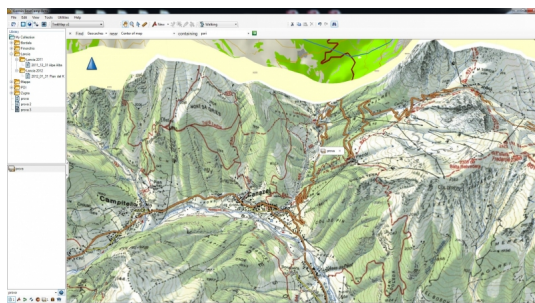


Figure 1.1. WGS 84 Reference Frame

### Figura17

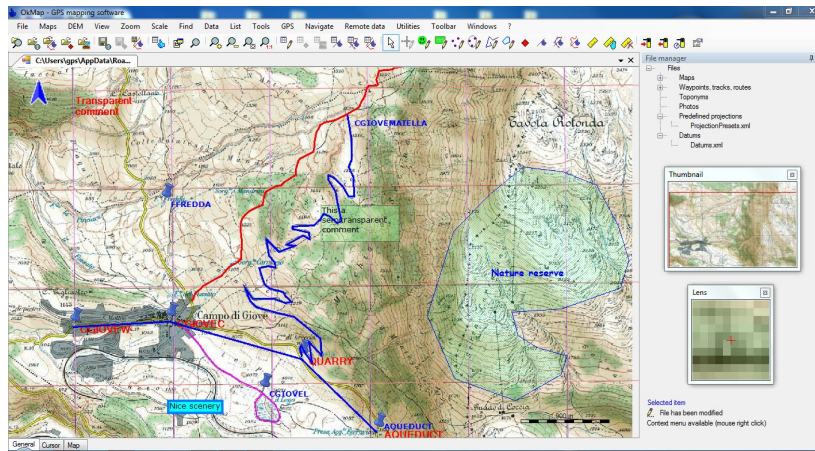
Per quanto concerne la cartografia utilizzata questa può essere di tipo vettoriale o di tipo raster, rispettivamente composta da forme geometriche (punti, linee, rettangoli, ecc.) o da una matrice di celle ove in ciascuna cella è contenuta un

informazione, nel caso di un immagine ogni cella rappresenta il colore del pixel (formato digitale). Il tipo di cartografia più diffusa nei sistemi di navigazione è quella vettoriale, in questo modo ad ogni oggetto (linee o punti) è associata un'informazione dettagliata riguardo la topologia (strada, svincolo, stazione di rifornimento, ecc.) e inoltre contiene informazioni descrittive utili ai fini della navigazione.



**Figura18** Mappa vettoriale

La carte topografiche digitali possono essere di entrambe le topologie ma quella raster sembra essere preferibile per svariate ragioni, tra cui: corrispondenza perfetta tra cartina tradizionale stampata e digitale, velocità di elaborazione da parte dei processori GPS, semplicità in fase di aggiornamento. I vantaggi invece della topografia di tipo vettoriale vanno ricercati nelle interrogazioni con la banca dati che contiene come già detto le informazioni descrittive.



**Figura19** Esempio di mappa raster

### 3.4 Dispositivi

Uno degli scopi principali dei produttori di software dedicati alla navigazione è quello di rendere la parte del sistema che dialoga con l'utente (interfaccia utente) quanto più intuitiva e semplice nell'utilizzo di tutte le funzionalità. La funzionalità più importante è senza dubbio la ricerca e raggiungimento di una determinata destinazione, selezionando una destinazione definita da indirizzo, numero civico, località o CAP. La partenza è in genere considerata come il punto in cui ci si trova nel momento della selezione della meta da raggiungere e durante la navigazione le indicazioni (vocali o tramite frecce direzionali) guidano l'utente nella strada da percorrere (quando e dove girare, ecc.). Di solito il display segnala inoltre la distanza ancora da compiere per raggiungere la meta (che decresce man mano che si procede). La funzione di routing calcola il percorso più veloce e quello più breve e molto spesso non coincidono, le stime dei tempi di arrivo ed altri tipi di dati. In caso di cambio del percorso o errore nella scelta di una strada viene automaticamente ricalcolato il nuovo percorso a partire dal punto in cui ci si trova. E' possibile selezionare una vista 3-d che in genere offre una visualizzazione più efficace rispetto a quella 2-d, ma non sempre questo è vero anche a causa delle limitate in genere dimensioni del monitor del dispositivo. In genere inoltre tutti i sistemi di navigazione permettono di conoscere la lista dei punti di interesse lungo il tragitto (hotel, musei,



negozi, monumenti, stazioni di rifornimento, ecc.). Molti navigatori possiedono inoltre un sistema di monitoraggio del traffico utile al fine di evitare lunghi ingorghi stradali aggiornati in tempo reale in base alle segnalazioni degli utenti che hanno percorso quel tragitto poco prima, quindi questo presuppone la registrazione delle segnalazioni e la visualizzazione immediata da parte di tutti gli altri, inoltre sono quasi sempre disponibili delle funzioni di segnalazione di eventuali autovelox e telecamere di controllo al fine di evitare multe durante il tragitto.

### 3.5 Posizione

Il sistema di posizionamento GPS, il cui nome completo è "NAVSTAR GPS" (Navigation Satellite Timing And Ranging Global Positioning System) è stato come già accennato realizzato originariamente nel 1975 da parte dal Dipartimento della Difesa Statunitense per scopi militari ma può essere utilizzato anche per scopi civili (navigazione, uso topografico, ecc.). Il sistema si appoggia su una serie di 24 satelliti che ruotano intorno all'orbita terrestre di cui fino a 12 visibili simultaneamente dalla terra a qualsiasi ora del giorno (per l'applicabilità del metodo). Il posizionamento che si riesce ad ottenere da questa tecnica è tridimensionale, quindi calcola anche l'altezza del punto da localizzare. Due sono essenzialmente le tecniche utilizzate allo scopo: la tecnica del "Point Positioning" che offre una precisione dell'ordine di decine di metri ed è una tecnica utilizzabile per scopi di navigazione o rilevazione dei punti sulla superficie e la tecnica del "Differential Positioning" o "Relative Positioning" che ha un margine di errore di qualche milionesimo della distanza calcolata, quindi è molto precisa e può essere utilizzata anche per applicazioni topografiche. Il principio del posizionamento GPS è in linea di massima molto semplice da concepire (anche se l'applicazione risulta molto più complessa), questo si basa essenzialmente sulle osservazioni della distanza tra i satelliti e i punti a terra da localizzare. Se si conosce infatti la posizione di un satellite, e la posizione di un punto a terra, nel caso in cui sia possibile determinare la distanza tra il punto sulla superficie terrestre e la posizione del satellite, misurando la distanza tra almeno quattro dei satelliti a disposizione e il punto sulla terra sarebbe tuttavia possibile localizzare il punto esatto ma comunque tenere presente che ci sono ulteriori fattori da considerare, come ad esempio la differenza di orario dei 4 satelliti che non sono sincronizzati tra loro, non sempre l'orbita è nota con precisione ma approssimata e infine la velocità delle onde elettromagnetiche utilizzata per misurare la distanza viene rallentata in alcune regioni dell'atmosfera, quindi per eseguire

calcoli di una certa precisione occorre considerare opportunamente tutti questi fattori[5].

### **3.6 Comunicazione**

Per effettuare comunicazioni tra i satelliti vengono utilizzare le onde radio nel range da 1 GHz ai 300 GHz (bande UHF, SHF, EHF). La comunicazione viene inizializzata da dei segnali radio che partono da una stazione a terra ad un satellite in orbita, il satellite elabora i segnali, li amplifica e li ritrasmette a terra dove posso essere ricevuti da una delle stazioni. Ogni satellite dispone di un certo numero di antenne sintonizzate su un canale, o su un range di frequenze e di un amplificatore di potenza per amplificare la potenza delle onde in uscita e permettere che queste attraversino l'atmosfera; la potenza necessaria per la comunicazione dipende anche dalla potenza di ricezione del ricevitore a terra che è uguale al rapporto tra l'area dell'antenna ricevente a terra e l'area coperta dal fascio[6].

### **3.7 Caratteristiche dei sistemi real-time**

Si tratta di tutti quei sistemi cui la correttezza del funzionamento non è dipendente solamente dalla validità dei risultati ottenuti ma soprattutto dal tempo che questi impiegano a renderli disponibili. La caratteristica principale di un sistema operativo real-time per definizione è quindi il tempo che occorre per calcolare i risultati, non vi è necessariamente un limite superiore cui questo può avvenire ma i risultati comunque devono essere resi disponibili entro determinati intervalli temporali prefissati. Numerose applicazioni richiedono questi tipi di elaborazione, tra cui:

- controllo sulla produzione in sistemi complessi
- sistemi di controllo sugli aerei
- sistemi di controllo del traffico
- sistemi di telecomunicazioni
- sistemi militari
- sistemi usati dalle missioni spaziali

Per progettare questi sistemi vengono in genere considerate determinate caratteristiche, tra cui:

- uso di processori veloci
- utilizzo di ampie porzioni di codice assembler

Una caratteristica fondamentale è che il sistema deve essere prevedibile e determinista, cioè deve essere possibile conoscere il tempismo reale (migliore o peggiore dei casi, best case e worst case) in un determinato processo o elaborazione. L'intervallo temporale entro il quale deve essere eseguito il calcolo è detto "deadline". Condizione necessaria affinché un sistema si possa definire tale è che la schedulazione dei task che deve essere possibile entro i vincoli temporali dati. I task possono essere:

- periodici, quando vengono eseguiti con cadenza regolare
- aperiodici, quando vengono effettuati a intervalli irregolari
- sporadici, eseguiti in modo imprevedibile (tipicamente su richiesta degli utenti)

I task di un sistema real-time possono essere inoltre:

- soft real-time: quando la non corretta esecuzione di un task non reca danni irreparabili al sistema
- hard real-time: se la schedulazione entro tempi prefissati è strettamente necessaria all'integrità del sistema stesso.

Un esempio di un task soft real-time può essere un software che riproduce un filmato, dove la non corretta riproduzione non compromette le funzionalità dell'intero sistema, invece un esempio di task hard real-time può essere il controllo delle funzionalità di un aereo dove la non esecuzione di un processo potrebbe compromettere l'intero sistema e provocare un disastro. Quindi le

caratteristiche di un sistema RT sono strettamente legate all'ambiente in cui deve operare. Quindi la proprietà più importante non è la velocità ma la predicibilità. Il concetto di predicibilità, che sta alla base dei sistemi RT, consiste nel determinare in anticipo se i processi di calcolo potranno essere eseguiti entro i vincoli temporali desiderati. La predicibilità dipende da diversi fattori quali:

- La cache
- Il meccanismo dei semafori
- Gestione della memoria
- Il linguaggio di programmazione utilizzato[35-36].

## 4 Rassegna dei prodotti

### 4.1 Participatory Sensing

Il participatory sensing indica quei processi dove individui e comunità utilizzano dispositivi portatili come smart-phone e servizi web per raccogliere ed analizzare dati e contribuire alla costruzione di una conoscenza comune. La raccolta dei dati può essere svolta passivamente, attraverso la lettura di valori di un dispositivo, o attivamente, raccogliendo osservazioni e segnalazioni degli utenti. Il connubio tra tecnologia, innovazioni analitiche e una nuova forma di cittadinanza che utilizza smart-phones e social network come strumenti di partecipazione attiva, costituisce un terreno fertile all'interno del quale queste applicazioni possono svilupparsi e diffondersi [37]. I componenti essenziali di questo genere di applicazioni sono[37]:

- **Raccolta dati capillare:** i dispositivi mobili di ultima generazione permettono la raccolta di informazioni geolocalizzate in diversi formati (testo, audio, video) e la loro comunicazione immediata a servizi web. La possibilità di programmare questi dispositivi alla raccolta dei dati e la loro diffusione permette di costruire Participatory Sensing Network (PSN), reti variabili di sensori costituite da utenti con i loro dispositivi[38]. Questi reti possono potenzialmente coprire tutte le aree della superficie terrestre

caratterizzate dalla presenza umana con costi relativamente bassi in quanto i dispositivi di rilevazione utilizzati sono general-purpose e il loro costo viene sostenuto dagli utenti. L'efficacia di queste reti è strettamente legata al numero di utilizzatori: maggiore è il loro numero, maggiore è la capacità della rete di rilevare informazioni.

- **Data processing e management:** i dati raccolti da un singolo nodo non costituiscono di per se una fonte esaustiva di informazioni. Informazioni rilevanti, tendenze e pattern vengono ricavate attraverso la raccolta di un elevato numero di dati e il loro confronto a partire da numerose sorgenti. La capacità degli algoritmi di analisi e delle tecniche di data mining di organizzare e strutturare i dati raccolti e di inferire informazioni nascoste costituiscono un fattore critico di successo, come la capacità di raccogliere e gestire grossi moli di dati.
- **Valore dell'individuo:** una caratteristica comune delle applicazioni basate sul crowdsourcing è la natura del dato gestito che è fortemente individuale e personale[37]. Le politiche di condivisione delle informazioni che definiscono le modalità ed i tipi di dato che l'utente sceglie di condividere sono oggetto di studio e discussione per gli impatti che queste hanno sulla privacy, il controllo esercitabile dagli individui e le modalità con cui queste vengono gestite e trasmesse a terze parti. La maggiore centralità delle informazioni condivise dagli utenti modifica i ruoli tradizionali degli utilizzatori di un servizio. Essi non ricoprono più soltanto il ruolo di consumatori dell'informazione, ma diventano anche produttori.

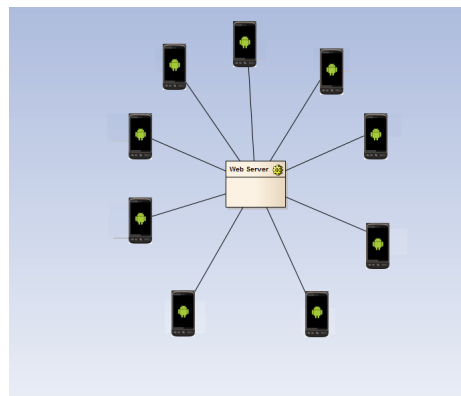
Il participatory sensing può essere considerato un'applicazione del concetto di crowdsourcing, termine che mantiene un'accezione più generica. Esso deriva dalla combinazione dei termini crowd e outsourcing e indica la pratica di ottenere servizi, idee e contenuti attraverso il contributo di grandi gruppi di persone, che spesso si raggruppano in comunità, invece di utilizzare impiegati o fornitori [40]. Le attività svolte attraverso questo paradigma possiedono un'ampia varietà come la raccolta di dati, approfonditi in questa tesi, di fondi, l'analisi di problemi distribuiti, il telelavoro. Denominatore comune di queste attività è che partono da un compito o obiettivo che può essere scomposto in piccole unità e portato avanti dai singoli. Gli attori coinvolti nei processi di crowdsourcing sono motivati

da interessi. Le organizzazioni da esempio hanno modo di raccogliere grossi moli di informazione o eseguire compiti a costi relativamente ridotti. Gli utenti che partecipano al crowdsourcing possono essere motivati da diverse ragioni come il contatto con altre persone all'interno di una comunità, lo stimolo intellettuale o il guadagno economico[40].

#### 4.1.1 Participatory Sensing Network

Il termine Participatory Sensing Network (PSN) può essere tradotto in italiano come rete di sensori partecipata, e differisce in molti aspetti dalle tradizionali reti di sensori. L'elemento costituente di una simile rete è un dispositivo mobile, trasportato da un utente che lo utilizza per compiere operazioni caratterizzate da una valenza personale. Partendo da questa base è possibile delineare le seguenti caratteristiche delle PSN[41]:

- I nodi della rete sono mobili
- La capacità di monitoraggio dipende dai nodi che in un determinato momento partecipano al processo di raccolta dati
- I nodi trasmettono i dati a un nodo centrale e non comunicano tra loro
- Il nodo centrale può ricevere i dati da i nodi ma non ha controllo su di loro



**Figura20:** Una rete con tanti dispositivi mobili che comunica con un nodo centrale.

Queste reti sono caratterizzate da un'elevata scalabilità perché i nodi sono autonomi. Poiché il costo dell'infrastruttura è suddiviso tra i partecipanti, è possibile ampliare la rete a costi relativamente bassi e raggiungere copertura di vaste aree [41]. Queste applicazioni beneficiano dell'effetto rete, aumentando il valore e la qualità del servizio offerto proporzionalmente al numero di utenti che utilizzano il servizio. Per raggiungere il successo e una vasta diffusione, le applicazioni che utilizzano questo tipo di reti devono quindi sapere garantire una partecipazione alta e sostenuta da parte degli utenti, alimentando le motivazioni che porta questi ultimi a condividere le proprie risorse. Sistemi di incentivi sono necessari per promuovere la qualità desiderata dai dati rilevato della rete come ad esempio la distribuzione omogenea di segnali nello spazio e nel tempo. In questo caso gli utenti dovrebbero essere incentivati con qualche meccanismo a condividere le informazioni in momenti o in luoghi in cui normalmente non lo farebbe[41].

#### 4.1.2 Applicazioni crowdsourcing

Questi tipi di sistemi si basano sull'idea che ogni individuo può recare benefici alla collettività se si trova il modo per coordinare i singoli contributi, la disponibilità di grandi quantità di dati può apportare un vantaggio a condizione che venga sfruttata al meglio. Il termine crowdsourcing è composto dalle parole crowd (folla) e source (sorgente) ed è un metodo aziendale per sviluppare un progetto o un'attività delegando un insieme distribuito di persone, è un sistema distribuito di condivisione di dati online dove gli utenti/utilizzatori in genere appartengono ad una comunità di un sito web di cui loro stessi sono i fornitori dei dati resi disponibili dal servizio, l'utente (crowd) può anche rendere proprietario il contributo apportato e può ricevere una remunerazione monetaria o partecipare liberamente come contributo intellettuale o nella fornitura di un servizio. Due caratteristiche essenziali di questi tipi di applicazioni: rendono informazione disponibile a chiunque, permettono l'accesso ad una grande mole di dati e spesso vengono utilizzate nel campo aziendale, per svariate ragioni, tra cui:

- I problemi possono essere condivisi e comparati tra loro a basso costo
- E' facile distinguere gli tenti più produttivi in base ai contributi apportati
- La condivisione di informazione apporta consapevolezza globale

Gli svantaggi invece possono essere:

- Mancanza di sicurezza sulla qualità apportata
- Mancanza di proprietà intellettuale
- Scegliere cosa condividere e cosa no
- Impossibilità di fissare limiti temporali

Il crowdsourcing viene usato in sistemi che non svolgono funzioni critiche o essenziali e che non hanno necessità di imporre vincoli temporali, che traggono beneficio dalla condivisione collettiva per risolvere problemi non ricorrenti. Per definizione sono sistemi decentralizzati dove ogni contributo apportato da un utente è diverso e indipendente dagli altri, è stato maturato nel proprio ambito, il raggiungimento della soluzione non viene influenzato dalla collettività. Esistono svariati tipi di software per il crowdsourcing, ognuno dei quali condivide informazioni con la comunità, che possono essere idee (Ushahidi, IdeaScale e CrowdEngineering), contenuti (Zooppa, Userfarm, Bootb) o ancora le mappe (Google Traffic) in continua evoluzione, ecc.

#### **4.1.3 Floating Car Data**

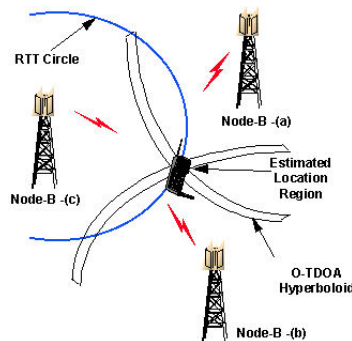
Col termine Floating Car Data(FCD) si indicano le informazioni di locazione, velocità e direzione provenienti da sensori di rilevazione situati da automobili in movimento allo scopo di raccogliere informazioni sul traffico. Le applicazioni participatory sensing che raccolgono e processano questo tipo di dati sono utilizzate per identificare congestioni stradali e calcolare tempi di percorrenza. Generalmente i FCD possono essere raccolti con le seguenti modalità[42]:

- Rete basata su celle; non sono necessari dispositivi ad-hoc ma possono essere utilizzati dispositivi di telefonia mobile attivi che diventano sorgenti anonime di traffico. La localizzazione del dispositivo viene effettuata tramite un processo chiamato triangolazione che permette di ricavare la



posizione approssimata basandosi sui segnali che questo scambia con i ripetitori (GSM, UPRS, UMTS o GPRS) che servono delle aree di territori e che identificano le celle[43]. Elaborando i segnali ricevuti e come questi variano nel tempo è possibile stimare posizione e direzione e velocità del dispositivo. La precisione di queste reti aumenta nelle aree metropolitane, dove la maggiore richiesta di traffico comporta un numero maggiore di ripetitori distribuiti nello spazio. Un informazione più dettagliata viene ricavata al diminuire della distanza dei ripetitori. Conoscere la velocità dei dispositivi cellulari non coincide con il conoscere l'andamento del flusso del traffico e in molti casi questa tecnologia può restituire dati fuorvianti se non correttamente gestita. Nei centri abitati, i cellulari sono utilizzati da persone che si spostano a piedi o si trovano nelle proprie abitazioni: le loro velocità sono molto basse o nulle. Affiancate alle strade extraurbane possono trovarsi treni ad alta velocità su cui viaggiano persone con dispositivi mobili che avrebbero velocità molto superiori ai limiti stradali[51].

- Reti GPS; dispositivi dotati di un ricevitore GPS, come navigatori o smart phones possono ricavare la propria posizione e comunicarla al servizio attraverso comunicazioni radio o attraverso rete mobile.



**Figura21:** Triangolazione GSM usata per ricavare informazioni FCD

I vantaggi di questo sistema di rilevazione dei dati, rispetto i tradizionali metodi di rilevazione del traffico sono[54]:

- Costi inferiori; i costi dei sensori, della loro installazione e della loro manutenzione non sono direttamente sostenuti
- Maggiore copertura dei segmenti stradali; possono essere monitorate anche le strade a bassa percorrenza
- Avviamento veloce della rete di rilevazione
- Funzionamento non influenzato dalle condizioni meteo e di luminosità

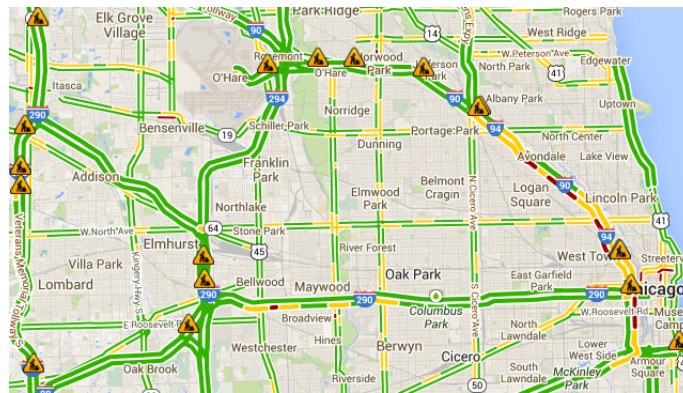
## 4.2 Waze

Waze è uno dei più popolari sistemi gratuiti di navigazione stradale e monitoraggio del traffico. E' stato creato nel 2008 da Waze Mobile, una startup israeliana acquisita da Google nel 2013 ed è adottato da una base di circa 50 milioni di utenti (dato relativo a giugno 2013) [38]. Si differenzia dai sistemi tradizionali di navigazione GPS perché è un'applicazione di crowdsourcing. Waze raccoglie periodicamente le informazioni dei sensori GPS all'interno dei dispositivi mobili degli utenti, ricavando da questi altre informazioni come la velocità del dispositivo. Aggregando ed elaborando i dati raccolti, riesce a fornire informazioni in tempo reale riguardanti le condizioni di traffico. L'applicazione non si limita a raccogliere informazioni relative alla posizione, ma incentiva la comunità di utenti a partecipare attivamente permettendo la possibilità di segnalare incidenti, ingorghi stradali, dispositivi di rilevamento della velocità; modificare le mappe stradali aggiornando o inserendo informazioni riguardanti sensi di marcia e deviazioni, punti di interesse e numeri civici[45]. Waze è organizzato in server centralizzati che raccolgono ed elaborano le segnalazioni degli utenti mentre la rete di sensori, una participatory sensing network, è costituita da tutti i dispositivi che hanno installato l'applicazione mobile. Non esiste un unico ambiente per gestire la rete mondiale, ma tre separati, per ambienti dedicati che gestiscono le segnalazioni di Israele, Nord America e resto del mondo[44]. Le informazioni contenute nei tre ambienti non sono mai sincronizzate.

### 4.2.1 Caratteristiche principali

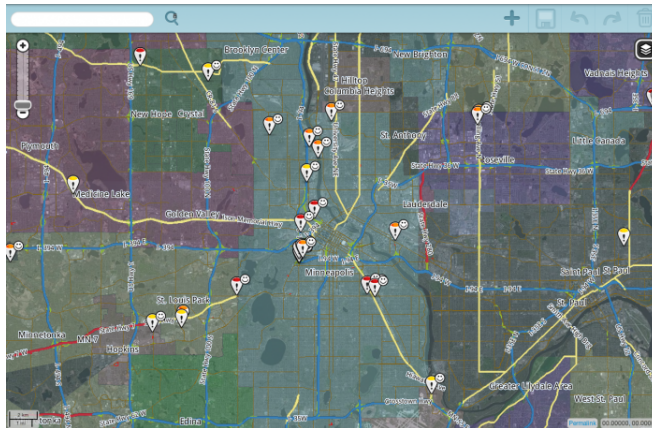
Waze è un prodotto dai numerosi tratti di unicità che ne ha determinato il successo e l'interesse di aziende come Google che l'ha recentemente acquisito[45]. E' possibile identificare le caratteristiche distintive[44]:

- **Navigazione con dati sul traffico real-time:** permette agli utenti di usufruire delle tipiche funzionalità dei sistemi di navigazione (visualizzazione e interazione con le mappe, indicazioni vocali, possibilità di scegliere tra diversi itinerari), includendo le informazioni elaborate a partire dalle segnalazioni della sua comunità di utenti. Gli itinerari sono calcolati tenendo in considerazione le rilevazioni real-time sulla velocità di percorrenza ed in base alle segnalazioni degli utenti su ingorghi o rallentamenti. Il sistema reagisce in tempo reale ai nuovi dati raccolti [46] modificando l'itinerario nel caso in cui le nuove condizioni di traffico non rendano più l'itinerario corrente il migliore da seguire.



**Figura22:** Mappa waze

- **Mappe:** le mappe di Waze sono caratterizzate da un'interfaccia grafica altamente usabile che permettono di visualizzare ed accedere a numerose informazioni, come gli utenti attualmente attivi, i report sul traffico, eventi locali e le tariffe delle stazioni di servizio. Viene data agli utenti la possibilità di modificare o inserire informazioni all'interno delle mappe, permettendo loro di correggere informazioni incorrette e reagire tempestivamente a modifiche del piano stradale.



**Figura23:** Screenshot dell'editor delle mappe di Waze

- **Alerts:** gli utenti di Waze hanno la possibilità di inviare segnalazioni riguardanti eventi imprevisti che hanno impatto sulla circolazione stradale come incidenti, blocchi di polizia, ingorghi, lavori in corso o eventi locali. Queste informazioni sono successivamente condivise con gli altri utenti.



**Figura24:** Alert di waze.

- **Applicazione Social:** attraverso l'applicazione è possibile connettersi ad altri social network come Facebook e Twitter e condividere poter condividere informazioni al loro interno. Sono rese disponibili ulteriori funzionalità che facilitano l'interazione con altri utenti come ad esempio un modulo di messaggistica interno che permette la possibilità di scambiare messaggi con altri utenti individuati sulla mappa o creare e gestire dei gruppi tra utenti.

- **Incentivi degli utenti** : Waze incentiva gli utenti alla partecipazione attiva attraverso un meccanismo chiamato "gamification". E' un termine che indica l'utilizzo di meccanismi tipici dei videogiochi in contesti non ludici al fine di migliorare la qualità del servizio[55]. Uno dei meccanismi trasversale a ogni videogioco è quello della ricompensa. L'utente viene premiato con punti, crediti, trofei, riconoscimenti in seguito all'esecuzione di un particolare compito. Analogamente, Waze assegna agli utenti dei punti "esperienza" quando questi utilizzano l'app, punti che variano al variare dell'azione svolta : effettuare una segnalazione, riportare prezzi del carburante, aggiornare, aggiungere informazioni della mappa stradale, percorrere chilometri con l'applicazione attiva, invitare amici a usare Waze, intervenire nel forum[44]. Dal calcolo dei punti vengono create classifiche periodiche che premiano coi primi posti gli utenti più attivi e classificano gli utenti con dei titoli che ne attestano l'esperienza e il grado di importanza. Tutte le attività che vengono incentivate e premiate, ovvero fanno guadagnare punti, servono a migliorare la qualità del servizio di Waze.

#### 4.2.2 Un'ipotesi sull'algoritmo di routing utilizzato da Waze

L'algoritmo utilizzato da Waze per il calcolo di un itinerario non è pubblicamente disponibile ma è possibile trovare indicazioni in [44] su come funziona e quali dati considera all'interno della propria elaborazione. Attraverso il MapEditor di Waze è possibile osservare che Waze suddivide le strade in segmenti ed è possibile visualizzare la velocità media storica lungo il segmento in entrambe le direzioni. Se disponibili, l'algoritmo combina i dati storici con le rilevazioni real-time della lunghezza di un segmento e variabile ed è definita dagli utenti che modellano la mappa anche se esistono raccomandazioni rilasciate dagli sviluppatori di Waze che riguardano la lunghezza accettabile (da 5 metri ai 10 chilometri) gli utenti che hanno attraversato il segmento da poco tempo. Per ogni segmento vengono tracciati i tempi di percorrenza distinti per segmento in uscita (per il segmento di una strada che termina con una svolta a destra e una a sinistra, vengono tracciati i tempi separatamente i tempi di percorrenza degli utenti che svoltano a destra da quelli che svoltano a sinistra. Come questi dati vengono gestiti nel dettaglio ed utilizzati nell'algoritmo non è un'informazione pubblica. Nonostante l'algoritmo dia precedenza ai dati raccolti in tempo reale dagli utenti attivi e dalle segnalazioni, l'algoritmo di calcolo

può fare ricorso ai dati storici: per percorsi che coinvolgono tratti con poco traffico (o poche rilevazioni) e per percorsi lunghi. Nel primo caso, la mancanza di dati real-time spiega sufficientemente la necessità di volere considerare dati storici, mentre è opportuno descrivere con maggiore particolari le ragioni che spingono ad utilizzare i dati storici anche in presenza di rilevazioni recenti. Waze divide un itinerario in diversi slot temporali. Nei percorsi lunghi (mediamente più di 15 minuti) possiamo distinguere una tratta che viene percorsa nei primi slot di tempo e una tratta che verrà percorsa in slot temporali futuri. Per il tratto che verrà percorso in slot futuri al momento del calcolo dell'itinerario non sono disponibili dati real-time, al massimo rilevazioni di utenti che potrebbero essere dettati da condizioni momentanee non più presenti. Per questa ragione l'algoritmo fa affidamento su dati storici al momento del calcolo dell'itinerario. Ogni volta che si entra in un nuovo slot temporale, l'algoritmo verifica la presenza di rilevazioni in tempo reale e ricalcola l'itinerario a partire da quel punto. Il ricalcolo può cambiare non soltanto il tempo stimato di arrivo (ETA) ma anche l'itinerario proposto. Questa caratteristica è una delle chiavi del successo di Waze, perché permette di aggirare gli ingorghi stradali.

#### 4.2.3 Caratteristiche della rete di Waze

Uno dei fattori chiave di un'applicazione che utilizza dati crowdsourced riguarda la partecipazione degli utenti. Waze non rende disponibili statistiche a riguardo, quindi valutazioni di questo genere sono indicative e possono essere condotte soltanto attraverso metodi indiretti. In uno studio del 2013 [38], si analizza la partecipazione degli utenti di Waze attraverso l'analisi degli alert di traffico pubblicati su Twitter. L'analisi è stata svolta sugli alert generati a Rio De Janeiro in un periodo di 6 mesi e mostra i seguenti risultati:

- **Copertura spaziale:** dividendo la città in quadranti di area uguale e analizzando la distribuzione di alert si nota che ci sono pochi quadranti con un elevato numero di alerts e molti quadranti con un numero molto basso. Questa tendenza viene spiegata con le ragioni che spinge gli utenti di Waze a comunicare, la presenza di traffico. Gli alert si concentrano in quelle aree della città caratterizzate da un elevata presenza di auto (quindi di utenti) e a maggiore rischio di ingorghi.
- **Frequenza degli alert condivisi:** è un parametro importante per la valutazione di reti collaborative perché è correlata al livello di partecipazione

degli utenti, fattore da cui dipende il successo di reti dove ogni singolo nodo è autonomo e responsabile di quando e dove funzionare. Dai dati raccolti si nota come ci siano momenti in cui la frequenza degli alert è elevata, e momenti in cui il numero di alert tende a zero. Anche in questo caso l'interpretazione di questi dati deve essere fatta alla luce dello scopo di applicazioni come Waze: l'identificazione di eventi anomali e imprevedibili come gli ingorghi stradali. Le maggiori frequenze si riscontrano durante le ore di punta.

- **Attività degli utenti:** analizzando il contributo individuale dei singoli utenti si ci accorge che non tutti contribuiscono allo stesso modo. L'84% degli utenti attivi non hanno postato più di 10 alert mentre solo lo 0,006% ha contribuito con più di 100 alert, confermando distribuzioni riscontrate in altre applicazioni social come il photo sharing. L'analisi delle distanze delle coordinate geografiche di alert consecutivi per uno stesso utente mostra come rispetto ad altre applicazioni social, il numero di alert consecutivi vengano condivisi a distanze spaziali molto brevi: il 15% degli utenti effettua segnalazioni consecutive a un metro di distanza l'una dall'altra, l'80% non superano un chilometro.
- **Distribuzione temporale:** analizzando la distribuzione degli alert durante le ore settimanali si nota, senza molte sorprese, come le maggiori concentrazioni di segnalazione si trovino nei giorni feriali (da lunedì a venerdì) e nelle fasce orarie 7-9 e 17-19, corrispondenti alle ore di punta. Gli autori osservano come una distribuzione simile sia tipica del dominio applicativo e non sia condivisa da altre applicazioni social, come ad esempio applicazioni di condivisione foto, in cui si osserva maggiore attività durante i pasti e durante i fine settimana.

#### 4.2.4 Protocollo utilizzato da Waze

Il Protocollo di Waze per la trasmissione di informazione si basa su un semplice meccanismo di request/response le cui specifiche sono rilasciate con licenze GNU General Public License v2 ed è liberamente accessibile. Le informazioni sono trasmesse in chiaro in stringhe con codifica ASCII ed il messaggio è composto da blocchi identificati da parole chiave[47]. Le parole chiave rilevanti per la comunicazione della posizione sono "Location", "GPSPath" e "UID": Location

trasmette la posizione corrente dello smartphone, GPSPath trasmette un percorso completo con diversi punti e UID trasmette le credenziali dell'utente. Le credenziali sono una componente del protocollo che deriva dall'impronta social di Waze[47], che richiede che l'autenticazione nel sistema per potere utilizzare le funzionalità offerte. Al momento dell'autenticazione, l'utente invia username e password al server criptate utilizzando TSL, un protocollo dell'application layer del modello ISO/OSI finalizzato alla trasmissione sicura di informazioni. Una volta autenticato il server restituisce il proprio ID e un cookie, che verranno utilizzati per tutti i messaggi successivi attraverso la parte di messaggio identificata dalla keyword UID.

### 4.3 TomTom LIVE

TomTom Live è un servizio a pagamento che permette di disporre informazioni in tempo reale sul traffico per i dispositivi sviluppati da TomTom, una azienda olandese tra i principali costruttori di navigatori GPS del mondo[49]. Il servizio LIVE viene rilasciato nel 2008, e permette agli utenti di ricevere informazioni aggiornate sul traffico (TomTom Traffic), su condizioni meteo, posizioni degli autoveicoli e ricerche online[48]. Tom Tom Traffic raccoglie informazioni da diverse fonti:

- Dati collettivi rilevati dagli utenti
- Dati rilevati da terze parti attraverso reti di monitoraggio fisse Le informazioni vengono raccolte da TomTom, elaborate attraverso algoritmi proprietari e usate per incrementare la propria base di dati. Ogni due minuti[48] vengono inviate informazioni aggiornate a tutti gli utenti attivi relative alle condizioni locali, condizioni che possono forzare un ricalcolo dell'itinerario nel caso in cui sull'itinerario previsto sono presenti code e rallentamenti. Secondo i TomTom, il servizio LIVE raggiunge una copertura del territorio italiano va al 99,9%; è composta da una rete di 350 milioni di persone in tutto il mondo e riesce a localizzare gli ingorghi con una precisione di 10 metri[48].

#### 4.3.1 Caratteristiche principali

Il servizio TomTom Live è costituito da un set di funzionalità aggiuntive che vanno ad incrementare le funzionalità esistenti dei dispositivi di navigazione. Le



principali caratteristiche sono:

- Espansione per dispositivi esistenti: i servizi Live possono essere richiesti, dietro il pagamento di una tariffa annuale, per tutti i dispositivi TomTom che supportano la tecnologia e per tutti i dispositivi dotati di GPS che utilizzano l'applicazione mobile.
- Copertura del territorio: il servizio utilizza i dati raccolti attraverso le reti di monitoraggio installate sulle strade principali e integra a queste le informazioni raccolte dai dispositivi e dagli utenti della rete telefonica, in modo da potere disporre di informazioni anche per le strade secondarie. Secondo TomTom, il servizio LIVE raggiunge una copertura del 99,9% delle strade italiane.
- Navigazione migliorata: le informazioni sul traffico permettono di abilitare la tecnologia IQ Routes per il calcolo dell'itinerario, che utilizza le velocità medie rilevate lungo le strade e dati storici invece delle velocità massime consentite.
- Servizi aggiuntivi: il servizio fornisce altre informazioni real-time come condizioni meteo e presenza di autovelox fissi e mobili. Permette di condividere le informazioni di viaggio attraverso Twitter e di effettuare ricerche di punti di interesse su database sempre aggiornati.

### 4.3.2 Algoritmo di routing

La tecnologia sviluppato da TomTom che permette l'elaborazione di itinerari che tengono conto del traffico stradale prende il nome di IQ Routes[52]. I suoi algoritmi procedono all'individuazione dei percorsi migliori attraverso i dati ricavati dalle rilevazioni real-time e dai dati storici raccolti negli anni relativi ai tempi di percorrenza effettivi degli utenti. La raccolta dei tempi effettivi dei viaggi percorsi viene condotta dal 2005, permettendo alla società di raccogliere più di 5.000.000.000.000 rilevazioni di velocità su strada[52]. A partire da questi dati sono state calcolati valori medi associati alle strade presenti nella mappa permettendo di disporre di un modello statistico che non utilizza i limiti di velocità per caratterizzare le strade, ma dei profili di velocità che descrivono la velocità media di un tratto stradale in un particolare intervallo dell'intero arco della giornata, suddiviso in intervalli da 5 minuti. Sebbene i dettagli dell'algoritmo non

siano disponibili, è possibile descrivere la complessità che deve essere gestita. Ad ogni strada sono associati 2016 profili di velocità, derivante della suddivisione della giornata in slot da 5 minuti. Un percorso di 96 chilometri può contenere più di 1 milione di possibili diramazioni verso 2,5 milioni di strade[52]. TomTom ha sviluppato una tecnologia denominata "FAST&EXACT" [53] che permette a dispositivi con ridotte capacità di calcolo, quali i navigatori satellitari o gli smartphones, di calcolare l'itinerario migliore in tempi brevi, ed effettuare ricalcoli. Questa tecnologia include al proprio interno dei tragitti precalcolati. In questo modo il navigatore non deve elaborare l'intero percorso strada per strada, ma utilizza dei set di tratte.

#### **4.3.3 Caratteristiche della rete di TomTom Traffic**

La rete utilizzata da TomTom per rilevare le informazioni di traffico si basa su due tipi di sorgenti:

- Informazioni di terze parti comunicate attraverso il protocollo RDS-TMC
- Informazioni raccolte attraverso la tecnica FCD

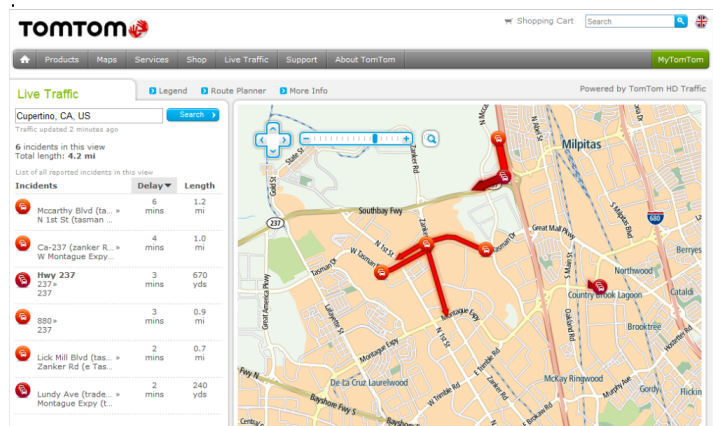
Una prima parte della rete di rilevazione si basa sulle informazioni raccolte da agenzie che operano sui territori nazionali che gestiscono le reti di sensori installate sulle arterie principali (come Autostrade s.p.a. in Italia). Le informazioni raccolte dai sensori vengono combinate con report su incidenti e dati editoriali dai centri di gestione traffico e comunicati attraverso segnali radio utilizzando il protocollo RDS-TMC[56][51]. Ma i dati disponibili attraverso questa sorgente riescono a coprire soltanto le principali tratte stradali, provvedendo informazioni parziali sulla situazione del traffico. Prevedere una rete di sensori estesa a tutte le tratte stradali è una scelta dagli alti costi e dai lunghi tempi di realizzazione. Un possibile metodo di rilevamento capillare è fare affidamento su segnalazioni degli utenti, scelta scartata dai progettisti per le seguenti ragioni[51]:

- le segnalazioni degli utenti potrebbero essere incomplete o errate
- molti eventi potrebbero non venire segnalati
- le segnalazioni attive potrebbero non essere disabilitate una volta che il traffico sia tornato in condizioni di normalità.

Per queste ragioni viene utilizzata la tecnica di rilevazione detta Floating Car Data (FCD) costituita da reti costituita da due classi di dispositivi:

- navigatori satellitari degli utenti
- dispositivi generici connessi alla rete mobile.

Le informazioni provenienti dai dispositivi della rete mobile sono relative al numero di celle che un dispositivo cellulare attivo attraversa in un periodo di tempo. Da queste è possibile ricavare informazioni sulla velocità media e sugli ingorghi stradali, basandosi sul principio che le persone bloccate nel traffico tendono a fare un numero maggiore di chiamate. Questi dati, resi anonimi e forniti da Vodafone[51], rendono possibile estendere la copertura e la disponibilità del servizio a vaste aree geografiche, svincolando la qualità del servizio offerto dal numero di utenti che lo utilizza.



**Figura24.1** Mappa tom tom traffic live

Queste informazioni vengono raccolte, filtrate, elaborate ed incrociate dai server LIVE con le rilevazioni delle informazioni provenienti dai navigatori satellitari degli utenti. Questi dispositivi contengono al loro interno una scheda SIM che permette di trasferire in tempo reale informazioni precise sulla velocità di percorrenza dei tratti stradali percorsi. Ad oggi i dispositivi della TomTom sono

raggruppati in sei famiglie, due delle quali costituite da dispositivi LIVE. A questi, si aggiungono tutti i dispositivi mobili che utilizzano le applicazioni di navigazione sviluppate ad hoc.

## 4.4 Google Traffic

### 4.4.1 Google traffic

Google Traffic è un software che permette di visualizzare sempre in tempo reale le condizioni di traffico sulla rete stradale principale in più di cinquanta paesi. Il servizio può essere consultato sia da sito web che come applicazione su smartphone. Le versioni precedenti di Google Maps fornivano delle previsioni di stima dei tempi di percorrenza di determinati percorsi in base a stime sulle condizioni di traffico, ma non erano particolarmente accurate, solo nel 2007 Google inizia ad offrire dati di traffico in tempo reale, fornite dagli stessi automobilisti anonimamente tramite i propri dispositivi cellulari. Una tecnica molto diffusa tra le compagnie cellulari utilizzata da sempre è quella della triangolazione, dove viene misurata l'intensità del segnale tra tre ripetitori cellulari o anche tramite GPS integrato nei dispositivi cellulari. Google traffic utilizza le posizioni rilevate dal GPS trasmesse da un gran numero di utenti e registrando inoltre la velocità degli utenti lungo le strade, registra le condizioni del traffico su una mappa consultabile in tempo reale. L'applicazione mostra una mappa con i segmenti stradali colorati in verde se la strada è percorribile fluidamente, giallo se vi sono condizioni moderate di traffico e rosso se vi è molto traffico, grigio se non si hanno dati disponibili a disposizione. E' possibile mostrare altri dati relativi ad un luogo specifico o dati storici di una particolare area come ad esempio il traffico dei giorni precedenti, incidenti, chiusura strade, ecc. I dati raccolti vengono inviati in forma anonima e vengono registrati tutte le informazioni relative al tragitto degli utenti garantendo la privacy e l'anonimità delle informazioni.

## 5 Comparazione dei prodotti

Nel capitolo precedente sono state descritte alcune applicazioni per il monitoraggio del traffico, focalizzando la selezione dei prodotti software accessibili a consumatori finali, in particolare applicazioni che utilizzano le informazioni raccolte sulle reti stradali per fornire servizi di supporto alla navigazione veicolare. In questo capitolo verranno confrontati i prodotti analizzati secondo i

diversi parametri che caratterizzano i sistemi di monitoraggio e genericamente, prodotti software.

## 5.1 Definizione parametri di confronto

I sistemi passati in rassegna in questa tesi sono caratterizzati da un alto grado di complessità. Sono costituiti da numerosi componenti hardware e software basati su principi e tecnologie che affondano le loro radici in molti rami scientifici. Le scelte tecniche ed ingegneristiche fatte dai progettisti raccolgono specifiche funzionali e non funzionali altamente complesse e articolate. Da queste considerazioni ne deriva che effettuare dei confronti da tutti i possibili punti di vista è un compito non possibile per via della natura dei sistemi in oggetto, è necessario quindi come primo passo definire secondo quali parametro effettueremo un confronto. Il primi due parametri scelti sono parametri impliciti, utilizzati come criterio per effettuare la selezione dei software passati in rassegna e quindi condivisi da tutti i prodotti descritti in questa tesi: l'obiettivo del sistema ed il segmento di mercato per cui il sistema è stato realizzato. L'obiettivo dei prodotti passati in rassegna, Google Traffic, Waze, TomTom LIVE, è l'erogazione di un servizio di supporto alla navigazione stradale, che forniscono delle mappe che mostrano strade e punti di interesse sulla rete stradale e istruzioni di guida per il raggiungimento di destinazioni selezionate dall'utente attraverso itinerari costruiti sulla base di obiettivi, generalmente il minor tempo di percorrenza. Gli utenti per cui questi sistemi sono stati ideati sono persone caratterizzate da un basso grado di competenze specialistiche, che utilizzano questi sistemi per gli spostamenti in auto di tutti i giorni. Definite queste caratteristiche comuni, è possibile andare ad isolare quei parametri che sono di nostro interesse, di natura tecnologica. Individuiamo tre principali categorie di analisi: parametri della rete di monitoraggio parametri di gestione dell'informazione e parametri di qualità software.

### 5.1.1 Parametri della rete di monitoraggio

Una rete di monitoraggio del traffico è una piattaforma composta da diversi elementi come rilevatori, sistemi di trasmissione e tecniche di elaborazione dei dati, che possono variare in base agli obiettivi della rete stessa. Si identificano i seguenti elementi di confronto della rete di rilevazione dei dati[1]:

- Tipologia dei sensori di rilevazione

- Elementi rilevati
- Trasmissione dei dati
- Scalabilità
- Manutenzione

### **5.1.2 Parametri di gestione dell'informazione**

I dati raccolti attraverso i sensori vengono elaborati, memorizzati ed analizzati all'interno dei sistemi di monitoraggio per fornire agli utenti il migliore itinerario tra quelli disponibili. Possiamo identificare i seguenti elementi di confronto relativi alla gestione dell'informazione

- Accuratezza delle informazioni raccolte
- Informazioni mostrate agli utenti
- Algoritmo di routing
- Sicurezza

### **5.1.3 Parametri di qualità del sistema software**

Un sistema software può essere analizzato secondo diversi principi identificati dall'ingegneria del software, che negli anni ha cercato di stabilire secondo quali parametri potesse essere valutata la qualità di un software[2]. Queste parametri possono essere classificati come parametri interni, relativi alla qualità del software percepito dagli sviluppatori, ed esterni, relativi alla qualità del software percepito dagli utenti[2]. Si identificano i seguenti elementi di confronto sulla qualità del software:

- Correttezza
- Robustezza
- Usabilità

## 5.2 Confronto tra prodotti

Se confrontiamo i diversi software secondo i parametri sopracitati possiamo notare che: Waze utilizza le segnalazioni di altri utenti e non possiede sensori propri per effettuare le rilevazioni sul passaggio dei veicoli, gli elementi rilevati sono tutti i dispositivi mobili dei viaggiatori che percorrono un determinato tratto stradale, i dati vengono trasmessi tramite un meccanismo di request/response, e l'invio dei messaggi successivi per l'intera sessione è marcato dal cookie fornito all'inizio della sessione. Il software è quindi fondamentalemente composto dai client mobili che inviano le informazioni e da un server che gestisce e fornisce i dati, ovviamente la potenza di calcolo del server deve essere proporzionale al numero di utenti che partecipano al sistema. Per quanto riguarda le informazioni raccolte da Waze e la loro attendibilità il sistema di gamification incentiva gli utenti a contribuire attivamente alla fornitura di informazioni che non esclude comunque completamente la possibilità di inesattezze o errori anche involontari da parte degli stessi, inoltre non sempre le informazioni sono disponibile se non vi sono stati accessi precedentemente lungo quel segmento. La sicurezza è gestita dal meccanismo di autenticazione che permette l'accesso solo previa autenticazione e come già detto invia le segnalazioni utilizzando i cookie nel messaggio. Waze è l'unico dei tre prodotti analizzati che oltre che alla posizione dei dispositivi di raccolta dati, utilizza segnalazioni degli utenti riguardanti eventi imprevisti. Il servizio Tom Tom LIVE possiede una rete di monitoraggio lungo le strade principali, il che offre una maggiore completezza di dati rispetto altri servizi ma dietro pagamento di una tariffa annuale, inoltre il servizio offre informazioni sulle condizioni meteo e presenza di autovelox fissi e mobili e i database vengono costantemente aggiornati. Le informazioni sulle velocità medie sono molto dettagliate, la società infatti possiede un server molto capiente capace di raccogliere molte segnalazioni rilevate sulle strade che vengono elaborate con particolari algoritmi al fine di fornire costantemente un elevato numero di profili di velocità su ogni tratto stradale possibile, permettendo anche a dispositivi con capacità di calcolo limitata di ottenere in tempi brevi il ricalcolo di un percorso. L'infrastruttura centralizzata consente di soddisfare un elevato numero di utenti in tempi rapidi grazie ad un elevata capacità di memorizzazione di dati, potenza di calcolo e algoritmi efficienti. Le informazioni fornite dal sistema sono sempre accurate, i database vengono costantemente aggiornati e i dati vengono raccolti da diverse fonti, quindi il rischio di inesattezza è relativamente basso. Google Traffic è un servizio completamente gratuito che

utilizza le rilevazioni dei dispositivi mobili degli utenti calcolate con il metodo della triangolazione e raccogliendo informazioni più dettagliate come posizione e velocità da dispositivi Android dotati di sensore GPS. Successivamente calcola le velocità medie registra i dati su una mappa consultabile in tempo reale, e colora i segmenti in base alla velocità sostenibile. Successivamente all'acquisizione di Waze, utilizza come sorgente informativa anche i dati provenienti dal social network, migliorando le informazioni relative al traffico con report su incidenti e eventi imprevisti. L'infrastruttura del servizio Traffic permette di supportare milioni di richieste e fornire servizi diversi, dalla visualizzazione di mappe dettagliate, alla condivisione delle foto alla visualizzazione di un punto della mappa dal punto di vista del paesaggio. I dati trasmessi sui server vengono trattati per il calcolo della velocità, ma sono molte le questioni di carattere giuridico che riguardano la raccolta da parte di google di queste informazioni, che insieme alle altre raccolte differenti servizi (motore di ricerca, servizio mail, social network, sistema operativo Android) può tracciare molte informazioni riguardo un utente; nonostante venga garantita l'anonimato degli utilizzatori.

## 6 Sistemi di prossima generazione

Grazie alle ricerche effettuate da compagnie come Google e Bosh la prospettiva di creare automobili autonome è sempre più vicina alla realtà. Purtroppo questa tecnologia è ancora in fase sperimentale e vi è bisogno di perfezionamenti prima di essere pronta per essere immessa in strada, ma un nuovo sistema che sfrutta il GPS potrebbe aiutare a velocizzare i tempi[57].

### 6.1 Principali tendenze e fronti di ricerca

La combinazione di segnali GPS convenzionali combinata a dati aggiuntivi provenienti da altri sensori tra cui accelerometri e giroscopi può aumentare la precisione nei sistemi di navigazione del 90 per cento. Un sistema, infatti, sviluppato in Spagna in grado di determinare la posizione riducendo considerevolmente il margine di errore, può essere installato a costi ridotti in qualsiasi veicolo. E' stato apportato un miglioramento nella localizzazione del veicolo tra il 50 e il 90 per cento, a seconda del grado di degrado dei segnali, "dice David Martin", ricercatore presso il laboratorio di Sistemi Intelligenti, in una dichiarazione. Il più grande ostacolo in genere che un sistema GPS tradizionale deve affrontare è la perdita o interruzione del segnale satellitare causato da edifici, alberi o gallerie. Questo nuovo sistema sviluppato dai ricercatori UC3M



utilizza informazioni di contesto, nonché un algoritmo progettato per eliminare deviazioni causate dalla perdita di segnale. I ricercatori pensano che questi sistemi possano essere integrati nelle automobili automatiche in fase di sviluppo e stanno pensando a come integrarli in scenari quali: guida cooperativa, manovre automatiche, veicoli autonomi e sistemi cooperativi di allarme di collisioni[57].

## 7 Conclusioni

Abbiamo visto come questo tipo di sistemi possono essere estremamente utili al fine di coordinare efficacemente i veicoli in transito sulle strade, la coordinazione non è l'unico scopo infatti più in generale la piena informazione a priori di ogni possibile tratto stradale che un automobilista deve percorrere è il fine ultimo di questi prodotti (presenza di incidenti, strade chiuse, variazioni percorsi) in ogni possibile intervallo temporale della giornata. Esistono vari tipi di controllo del flusso veicolare, dai sistemi gestiti dagli enti stradali ai sistemi basati su crowdsourcing (come Waze) che possono arrivare a coprire il fabbisogno di informazioni dell'intera rete mondiale ad un costo relativamente basso, grazie alle segnalazioni degli altri automobilisti che hanno percorso quel tratto stradale prima, questi software come detto beneficiano dell'effetto rete, ossia il loro valore è direttamente proporzionale al numero di utenti che lo utilizzano, più utenti ci sono e più il sistema offre una copertura di territorio maggiore con informazioni più dettagliate sulle strade percorse. Abbiamo visto inoltre come questi software modificano la visione classica dei sistemi tradizionali, qui infatti sono gli utilizzatori del sistema stesso a fornire le informazioni di cui beneficiano e inoltre questi contribuiscono a rendere un servizio alla comunità ad un basso costo, incrementando la sicurezza e l'utilità collettiva. Alcuni di questi sistemi sono gratuiti (waze), altri invece possono essere utilizzati dietro il pagamento di una tariffa (Tom Tom Live), mentre i primi possono non avere sempre informazioni disponibili (mancanza di utenti che hanno percorso quelle strade) i sistemi concessi dietro pagamento possono offrire una disponibilità maggiore di informazioni (grazie alle infrastrutture presenti in quasi tutto il territorio).

## Contents

<b>1</b>	<b>Introduzione</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Sistemi GIS</b>	<b>4</b>
2.1	Sistemi Informativi Geografici . . . . .	4

2.2	Cenni storici . . . . .	5
2.3	Caratteristiche dei sistemi informativi geografici . . . . .	7
2.3.1	Modello dei dati . . . . .	7
2.3.2	Sistemi di coordinate . . . . .	7
2.3.3	Rappresentazioni raster e vettoriali . . . . .	8
2.3.4	Funzionalità tipiche . . . . .	9
2.3.5	Inserimento dei dati . . . . .	10
2.3.6	Conversione dati . . . . .	10
2.3.7	Validazione dei dati . . . . .	10
2.3.8	Visualizzazione/rendering . . . . .	10
2.3.9	Operazioni del database con le mappe . . . . .	11
2.3.10	Operazioni del database con attributi . . . . .	12
2.3.11	Analisi dei dati . . . . .	12
2.3.12	Selezioni di area . . . . .	13
2.3.13	Analisi di prossimità . . . . .	13
2.3.14	Overlay di mappe . . . . .	14
2.3.15	Analisi delle reti . . . . .	15
2.3.16	Analisi raster . . . . .	16
2.3.17	Analisi statistiche . . . . .	16
2.3.18	Data mining . . . . .	16
2.3.19	Generalizzazioni . . . . .	17
2.3.20	Visualizzazioni 3D . . . . .	17
2.3.21	Produzione di output . . . . .	17
2.3.22	Architettura dei sistemi GIS . . . . .	18
2.3.23	Gestione dei dati . . . . .	19
2.3.24	Architettura ibrida . . . . .	21
2.3.25	Architettura a livelli . . . . .	21
2.3.26	Architettura estendibile . . . . .	22
2.3.27	Nuovi fronti di ricerca . . . . .	23
2.3.28	Gestione di grandi moli di dati . . . . .	24
2.3.29	Volunteered GIS . . . . .	24
2.3.30	Modellazione di sistemi real-time . . . . .	25
2.3.31	Nuove dimensioni . . . . .	25
2.3.32	Educazione . . . . .	25

<b>3</b>	<b>Sistemi di supporto alla navigazione real-time</b>	<b>26</b>
3.1	Cenni storici . . . . .	26
3.2	Caratteristiche dei sistemi di navigazione stradale . . . . .	27
3.3	Mappe . . . . .	27
3.4	Dispositivi . . . . .	32
3.5	Posizione . . . . .	33
3.6	Comunicazione . . . . .	34
3.7	Caratteristiche dei sistemi real-time . . . . .	34
<b>4</b>	<b>Rassegna dei prodotti</b>	<b>36</b>
4.1	Participatory Sensing . . . . .	36
4.1.1	Participatory Sensing Network . . . . .	38
4.1.2	Applicazioni crowdsourcing . . . . .	39
4.1.3	Floating Car Data . . . . .	40
4.2	Waze . . . . .	42
4.2.1	Caratteristiche principali . . . . .	42
4.2.2	Un'ipotesi sull'algorithmo di routing utilizzato da Waze . . . . .	45
4.2.3	Caratteristiche della rete di Waze . . . . .	46
4.2.4	Protocollo utilizzato da Waze . . . . .	47
4.3	TomTom LIVE . . . . .	48
4.3.1	Caratteristiche principali . . . . .	48
4.3.2	Algorithmo di routing . . . . .	49
4.3.3	Caratteristiche della rete di TomTom Traffic . . . . .	50
4.4	Google Traffic . . . . .	52
4.4.1	Google traffic . . . . .	52
<b>5</b>	<b>Comparazione dei prodotti</b>	<b>52</b>
5.1	Definizione parametri di confronto . . . . .	53
5.1.1	Parametri della rete di monitoraggio . . . . .	53
5.1.2	Parametri di gestione dell'informazione . . . . .	54
5.1.3	Parametri di qualità del sistema software . . . . .	54
5.2	Confronto tra prodotti . . . . .	55
<b>6</b>	<b>Sistemi di prossima generazione</b>	<b>56</b>
6.1	Principali tendenze e fronti di ricerca . . . . .	56
<b>7</b>	<b>Conclusioni</b>	<b>57</b>

## References

- [1] [http://www.perlasicurezzastradale.org/public/PDF/Linee\\_Guida\\_Progettazione\\_Sistemi\\_Monitora](http://www.perlasicurezzastradale.org/public/PDF/Linee_Guida_Progettazione_Sistemi_Monitora)
- [2] <http://www.giuntiscuola.it/community/i-blog-della-scuola-secondaria/geoblog/gps-e-i-suoi-fratelli/>
- [3] <http://blog.hellobank.it/i-percorsi-del-navigatore/>
- [4] [http://www.topoprogram.it/pagine/servizi/normative\\_terreni/html/pregeo8/il\\_sistema\\_di\\_riferime](http://www.topoprogram.it/pagine/servizi/normative_terreni/html/pregeo8/il_sistema_di_riferime)
- [5] <http://www.poliba.it/dvt/dispense/caprioli/GPS.pdf>
- [6] [http://www.torinoscienza.it/dossier/satelliti\\_per\\_comunicazione\\_3260](http://www.torinoscienza.it/dossier/satelliti_per_comunicazione_3260)
- [7] <http://www.migliorscelta.it/gu/principali-caratteristiche-tecniche-dei-navigatori-satellitari-82-bg.htm>
- [8] [http://www.csenmonza-brianza.it/index.php?option=com\\_jdownloads&Itemid=54&view=finish&cid](http://www.csenmonza-brianza.it/index.php?option=com_jdownloads&Itemid=54&view=finish&cid)
- [9] Burrough P.A. 1986 - Principles of geographical information systems for land resource assessment, Clarendon Press, Oxford, U.K,
- [10] ] [http://www.esri.com/what-is-gis/overview#overview\\_panel](http://www.esri.com/what-is-gis/overview#overview_panel)
- [11] Tomlinson R. 1967 - An introduction to the geo-information system of the Canada Land Inventory, Canada. Dept. of Forestry and Rural Development
- [12] [http://en.wikipedia.org/wiki/GIS\\_applications](http://en.wikipedia.org/wiki/GIS_applications)
- [13] <http://www.casa.ucl.ac.uk/gistimeline/>
- [14] <http://www.geog.ubc.ca/courses/klink/gis.notes/ngia/u23.html>
- [15] Goodchild M. 1991, 1 Geographic Information System,(Progress in Human Geography) <http://www.geog.ucsb.edu/~good/papers/144.pdf>
- [16] <http://www.datavis.ca/milestones/>
- [17] [http://it.wikipedia.org/wiki/Sistema\\_informativo\\_territoriale](http://it.wikipedia.org/wiki/Sistema_informativo_territoriale)
- [18] <http://en.wikipedia.org/wiki/GIS>
- [19] Autori vari 1998,Guidelines for Best Practice in User Interface for GIS, ESPRIT/ESSI project

- [20] <http://www.opengeospatial.org/standards/>
- [21] Luaces M. 2004, A GENERIC ARCHITECTURE FOR GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS <http://lbd.udc.es/Repository/Thesis/432677332J.pdf>
- [22] Maguire, Goodchild, and Rhind 1991, Geographical Information Systems : Principles and Applications, capitolo 18
- [23] [http://en.wikipedia.org/wiki/Spatial\\_database](http://en.wikipedia.org/wiki/Spatial_database)
- [24] Goodchild 2010, Twenty years of progress:GIScience, Journal of Spatial Information Science
- [25] <http://paulbolstad.cfans.umn.edu/Courses/FR3131/LecSupp/NewDevelopments3131v3.pdf>
- [26] Max Egenhofer, and Werner Kuhn 1991, A Perspective on GIS Technology in the Nineties Photogrammetric Engineering & Remote Sensing 57 (11): 1431-1436, 1991
- [27] [http://www.di.unipi.it/~andrea/Didattica/IG09/01\\_01\\_cartografia\\_digitale\\_e\\_modelli\\_spaziali.pdf](http://www.di.unipi.it/~andrea/Didattica/IG09/01_01_cartografia_digitale_e_modelli_spaziali.pdf)
- [28] [eo.ucar.edu/staff/dward/Lisa%203100/lecture5.doc](http://eo.ucar.edu/staff/dward/Lisa%203100/lecture5.doc)
- [29] [http://en.wikipedia.org/wiki/Spatial\\_ETL](http://en.wikipedia.org/wiki/Spatial_ETL)
- [30] <http://en.wikipedia.org/wiki/Geostatistics>
- [31] [http://en.wikipedia.org/wiki/Location\\_intelligence](http://en.wikipedia.org/wiki/Location_intelligence)
- [32] Whiteside A. 2005, OpenGIS web services architecture description, Open Geospatial Consortium
- [33] MF Goodchild, PA Longley 1999, The future of GIS and spatial analysis, Geographical information systems
- [34] <http://www.nuim.ie/staff/dpringle/gis/gis06.pdf>
- [35] [http://it.wikipedia.org/wiki/Sistema\\_operativo\\_real-time](http://it.wikipedia.org/wiki/Sistema_operativo_real-time)
- [36] [http://www-ictserv.poliba.it/PISCITELLI/doc/lucidiSO\\_VO/aa%2003-04\\_vo/12\\_sistop\\_vo\\_sistemi\\_real-time.pdf](http://www-ictserv.poliba.it/PISCITELLI/doc/lucidiSO_VO/aa%2003-04_vo/12_sistop_vo_sistemi_real-time.pdf)
- [37] <http://research.cens.ucla.edu/people/estrin/resources/conferences/2010-Estrin-participatory-sensing-mobisys.pdf>

- [38] Silva T et al 2013, Traffic Condition Is More Than Colored Lines on a Map: Characterization of Waze Alerts [http://homepages.dcc.ufmg.br/~thiagohs/papers/socinfo\\_13.pdf](http://homepages.dcc.ufmg.br/~thiagohs/papers/socinfo_13.pdf)
- [39] [http://en.wikipedia.org/wiki/Participatory\\_sensing](http://en.wikipedia.org/wiki/Participatory_sensing)
- [40] <http://en.wikipedia.org/wiki/Crowdsourcing>
- [41] Silva T et al, Uncovering Properties in Participatory Sensor Networks
- [42] [http://en.wikipedia.org/wiki/Floating\\_car\\_data](http://en.wikipedia.org/wiki/Floating_car_data)
- [43] [http://en.wikipedia.org/wiki/Mobile\\_phone\\_tracking](http://en.wikipedia.org/wiki/Mobile_phone_tracking)
- [44] <https://wiki.waze.com/>
- [45] <http://en.wikipedia.org/wiki/Waze>
- [46] <http://www.forbes.com/sites/frederickallen/2012/08/21/ditch-your-gps-device-navigate-with-waze/>
- [47] <https://media.blackhat.com/eu-13/briefings/Jeske/bh-eu-13-floating-car-data-jeske-wp.pdf>
- [48] [http://www.tomtom.com/it\\_it/services/live/](http://www.tomtom.com/it_it/services/live/)
- [49] <http://en.wikipedia.org/wiki/TomTom>
- [50] <http://www.pocketgpsworld.com/How-TomTom-Makes-Maps-Part-4-HD-Traffic.php>
- [52] <http://www.pocketgpsworld.com/How-TomTom-Makes-Maps-Part-3-IQ-Routes.php>
- [53] <http://corporate.tomtom.com/releasedetail.cfm?ReleaseID=757068>
- [54] [http://en.wikipedia.org/wiki/Intelligent\\_transportation\\_system](http://en.wikipedia.org/wiki/Intelligent_transportation_system)
- [55] <http://en.wikipedia.org/wiki/Gamification>
- [56] [http://en.wikipedia.org/wiki/Traffic\\_message\\_channel](http://en.wikipedia.org/wiki/Traffic_message_channel)
- [57] <http://www.m2mevolution.com/topics/m2mevolution/articles/326894-researchers-develop-more-accurate-car-navigation-system-based.htm>
- [58] [http://www.perlasicurezzastradale.org/public/PDF/Linee\\_Guida\\_Progettazione\\_Sistemi\\_Monitora](http://www.perlasicurezzastradale.org/public/PDF/Linee_Guida_Progettazione_Sistemi_Monitora)
- [59] [http://it.wikipedia.org/wiki/Qualit%C3%A0\\_del\\_software](http://it.wikipedia.org/wiki/Qualit%C3%A0_del_software)
- [Fig1] <http://svn.osgeo.org/osgeo/book/es/Fundamentos/Historia/SYMVU.png>
- [Fig2] <http://www.canalesicilia.it/a-brolo-mappatura-in-gis-per-la-gestione-del-sottosuolo-e-della-microzonizzazione-sismica/>

- [Fig3] <http://maps.unomaha.edu/Peterson/gis/notes/GISAnal1.html>
- [Fig4] <http://www.esriro.ro/software/arcgis/arcview/key-features.html>
- [Fig5] <http://www.smartplanet.com/blog/bulletin/what-new-york-city-looks-like-without-mass-transit/>
- [Fig6] <http://www.bhugogis.com/linkimages/images/gramnet.jpg>
- [Fig7] <http://www.galigeo.com/industries/public-sector/>
- [Fig8] <http://www.zring.it/blog/images/firenze.jpg>
- [Fig13] [http://www.csenmonza-brianza.it/index.php?option=com\\_jdownloads&Itemid=54&view=finish&cid](http://www.csenmonza-brianza.it/index.php?option=com_jdownloads&Itemid=54&view=finish&cid)
- [Fig14] [http://www.csenmonza-brianza.it/index.php?option=com\\_jdownloads&Itemid=54&view=finish&cid](http://www.csenmonza-brianza.it/index.php?option=com_jdownloads&Itemid=54&view=finish&cid)
- [Fig15] [http://www.csenmonza-brianza.it/index.php?option=com\\_jdownloads&Itemid=54&view=finish&cid](http://www.csenmonza-brianza.it/index.php?option=com_jdownloads&Itemid=54&view=finish&cid)
- [Fig16] <http://www.mudrhino.com.au/Maps/Mapping.htm>
- [Fig18] [http://fotoalbum.mtb-forum.it/albums/18584/thumbs\\_800/56094.jpg](http://fotoalbum.mtb-forum.it/albums/18584/thumbs_800/56094.jpg)
- [Fig19] [http://www.okmap.org/it\\_default.asp](http://www.okmap.org/it_default.asp)
- [Fig21] [http://www.ietr.fr/IMG/jpg\\_tdoa\\_gsm.jpg](http://www.ietr.fr/IMG/jpg_tdoa_gsm.jpg)
- [Fig22] <http://vicenzafotografia.it/wp-content/uploads/2013/11/waze.png>
- [Fig23] [https://wiki.waze.com/wiki/Waze\\_Map\\_Editor\\_\(Italian\)](https://wiki.waze.com/wiki/Waze_Map_Editor_(Italian))