

# UNIVERSITA' DELLA CALABRIA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE

## *DOTTORATO IN INGEGNERIA DEI MATERIALI E DELLE STRUTTURE*

Scuola "Pitagora" in Scienze Ingegneristiche  
ciclo XXVII

Tesi di Dottorato

*“Sistemi informativi geografici per l’analisi  
multicriterio nell’ottimizzazione  
delle prestazioni di una linea  
di trasporto pubblico locale”*

Coordinatore: Prof. Ing. Renato Sante Olivito

Tutor: Prof. Ing. Vittorio Astarita

Co-Tutor: Ing. Giuseppe Guido

Dottoranda: Ing. Francesca Acri



**UNIVERSITA' DELLA CALABRIA**

Dipartimento di Ingegneria Civile

**Scuola di Dottorato**

Scuola Pitagora in scienze Ingegneristiche

**Indirizzo**

Ingegneria dei materiali e delle strutture

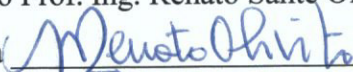
**CICLO XXVII**

**TITOLO TESI**

*“Sistemi informativi geografici per l’analisi  
multicriterio nell’ottimizzazione  
delle prestazioni di una linea  
di trasporto pubblico locale”*

**Settore Scientifico Disciplinare ICAR 05**

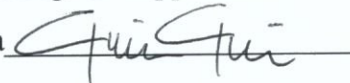
**Coordinatore:** Ch.mo Prof. Ing. Renato Sante Olivito

Firma 

**Tutor:** Ch.mo Prof. Ing. Vittorio Astarita

Firma 

**Co-Tutor:** Ch.mo Ing. Giuseppe Guido

Firma 

**Dottorando:** Ing. Francesca Acri

Firma 

# Indice

Introduzione e obiettivi	5
Capitolo Primo	8
<i>Aspetti normativi e istituzionali del trasporto pubblico locale</i>	
1.1. Generalità	8
1.2. La normativa europea	8
1.3. La normativa italiana	10
1.4. La normativa regionale	16
1.5. La normativa nella progettazione delle fermate del trasporto pubblico locale	21
1.5.1. Fermate poste lungo strade urbane	23
1.5.2. Fermate poste lungo strade extraurbane	25
Capitolo secondo	28
<i>Il sistema di trasporto pubblico locale.</i>	
2.1. Introduzione	28
2.2. La classificazione del sistema di trasporto pubblico locale	29
2.3. Il sistema di trasporto	31
2.3.1. Caratteristiche spaziali	31
2.3.2. Caratteristiche temporali	33
2.4. Modelli del sistema di trasporto	34
2.5. La domanda di mobilità	35
2.6. L'offerta di mobilità	38
2.6.1. Modelli per la progettazione delle reti di trasporto pubblico	39
2.6.2. Modelli di utilità aleatoria	41
2.7. Modelli di ottimizzazione del servizio di trasporto pubblico locale	42
2.7.1. Approccio di ottimizzazione continua	43
2.7.2. Approccio di ottimizzazione discreta	44
2.7.3. Set Covering Approach	45
2.7.3.1. Modelli di localizzazione p-median e p-centro	46
Capitolo Terzo	49
<i>Stato dell'arte dei Decision Support System (DSS)</i>	
<i>Analisi della rete di trasporto locale</i>	
3.1. Generalità	49
3.2. Componenti di un DSS	50
3.3. Transportation – Decision Support System (T-DSS)	52

3.4.	Architettura del DSS	54
3.4.1.	I sistemi di supporto alle decisioni territoriali	55
3.4.2.	Architettura dei Geo-DSS	56
3.5.	Analisi dei modelli per i DSS	57
3.5.1.	Analisi dei modelli per il trasporto pubblico locale	58
3.5.2.	Analisi per localizzazione delle fermate	58
3.6.	Dataset per l'analisi della localizzazione delle fermate	59
3.7.	GIS location-allocation	62
Capitolo Quarto		65
<i>Trasporto pubblico locale. Architettura della piattaforma</i>		
4.1.	Introduzione	65
4.2.	Il sistema informativo geografico – GIS	66
4.2.1.	La struttura dati	66
4.2.1.1.	Dati vettoriali	67
4.2.1.2.	Dati raster	68
4.2.2.	Sistemi di riferimento geografico e proiezioni cartografiche	69
4.2.3.	Fase di acquisizione dei dati	73
4.2.4.	Fase di analisi	75
4.2.5.	Visualizzazione dei dati	76
4.3.	Database	76
4.3.1.	Database geografico	76
4.4.	Modelli di riferimento per informazioni - open standard	84
4.4.1.	Open standard	85
4.4.1.1.	Informazioni Geospaziali	85
4.5.	Progettazione del sistema	92
4.5.1.	Costruzione di un SIT	94
Capitolo Quinto		96
<i>Applicazione della metodologia a un caso di studio</i>		
5.1.	Introduzione	96
5.2.	Raccolta dei dati	97
5.2.1.	La fonte dei dati	98
5.2.2.	Analisi del contesto urbanistico	101
5.2.3.	Determinazione della posizione di ogni fermata	103
5.2.3.1.	Carta dei servizi del trasporto pubblico locale e tabella oraria	103
5.2.3.2.	Localizzazione tramite smartphone	105
5.2.4.	Il rilievo tramite smartphone	106

5.3.	Qualità del servizio e analisi delle criticità	113
5.3.1.	Misure di disponibilità	114
5.3.1.1.	La frequenza	114
5.3.1.2.	Il tempo di servizio	116
5.3.1.3.	L'accessibilità	117
5.3.2.	Misure di Confort e Convenienza	127
5.4.	Ottimizzazione del servizio	128
5.4.1.	Riallocazione delle fermate	129
5.5.	Valutazione della qualità del servizio	141
	Conclusioni	143
	Bibliografia	148

## Introduzione e obiettivi

Il preponderante aumento della mobilità negli ultimi tempi è coinciso con un frequente aumento del mezzo privato, determinando un alto grado di congestione urbana spesso legata a un elevato tasso di inquinamento ambientale. Un aspetto molto importante legato in modo diretto sia alla qualità dell'ambiente sia alla qualità di vita dell'uomo è costituito dai servizi che agli utenti vengono disposti al fine di garantire gli spostamenti quotidiani e non, indispensabili per le attività lavorative e personali. L'esigenza di spostarsi da un luogo all'altro per svariati motivi è legato molto spesso al concetto di libertà del singolo individuo, il quale in molti casi è "costretto" ad usufruire dei mezzi privati per soddisfare la propria esigenza. Le motivazioni dell'utilizzo del mezzo privato possono essere molteplici, anche se spesso riconducibili alla mancanza di un adeguato sistema di trasporto pubblico locale (TPL), che sia in grado di garantire un servizio efficiente.

Una delle cause principali della scarsa efficienza del suddetto servizio è legata alla mancanza di informazioni e alla localizzazione delle fermate, che evidenzia un gap tecnologico del settore di trasporto pubblico locale rispetto ai servizi che gli altri settori offrono oggi.

Incentivare il trasporto pubblico collettivo non è soltanto una moda del momento atta a garantire solo la salvaguardia ambientale ma è soprattutto garantire il bene degli utenti e quindi della collettività, evidenziando un cambiamento sotto il profilo comportamentale dei singoli.

Il lavoro di ricerca svolto ha riguardato lo studio e l'ottimizzazione delle prestazioni di una linea di trasporto pubblico locale, al fine di migliorare il servizio sia dal punto di vista degli utenti sia dal punto di vista dei gestori del servizio. Infatti attraverso un'analisi multicriteria effettuata sulla base dell'utilizzo dei sistemi informativi geografici e di riferimenti bibliografici, è stata valutata una linea di trasporto pubblico locale focalizzando l'attenzione sulla localizzazione delle fermate e, considerando tutte le criticità che la tematica presenta, sono state riallocate al fine di migliorare la qualità del servizio.

Il lavoro, pertanto, è stato organizzato in cinque capitoli, in cui in una prima fase, dopo un'attenta disamina del quadro normativo sul trasporto pubblico locale (TPL), si affronta lo studio relativo all'analisi della rete di trasporto locale e lo stato dell'arte dei DSS (Decision Support System), con particolare focalizzazione ai T-DSS

(Transportation-Decision Support System). In una seconda fase, il lavoro prevede l'implementazione di un sistema di supporto alle decisioni basato su modelli di ottimizzazione delle fermate e dei percorsi, attraverso l'utilizzo di strumenti Open Source e di uno standard per l'acquisizione e la diffusione dei dati.

In particolare il primo capitolo affronta un'attenta analisi del quadro normativo sul trasporto pubblico locale, in relazione ai dettami stabiliti dalla comunità europea, alle leggi nazionali e regionali. Successivamente analizza in dettaglio le normative vigenti in materia di localizzazione delle fermate degli autobus in relazione alla progettazione per la realizzazione o riallocazione delle stesse.

Nel secondo capitolo è analizzato il sistema di trasporto pubblico locale, in relazione alle classificazioni dei vari sistemi, alle caratteristiche spaziali e temporali, ai modelli del sistema e ai modelli di ottimizzazione, secondo quanto presente in letteratura.

Il terzo capitolo descrive lo stato dell'arte dei DSS (Decision Support System) e in particolare i T-DSS (Transportation-Decision Support System), partendo dalle sue componenti e architettura, fino ad arrivare ai sistemi di supporto alle decisioni territoriali, descrivendo l'architettura dei Geo-DSS. Inoltre affronta l'analisi dei modelli per i DSS, con riferimento al trasporto pubblico locale e alla localizzazione delle fermate.

Nel quarto capitolo è descritta l'architettura della piattaforma, in cui inizialmente è esposta la struttura dei dati del sistema informativo geografico, nonché i sistemi di riferimento geografico, le proiezioni cartografiche e le diverse fasi che il sistema prevede nell'utilizzo delle informazioni. Successivamente è affrontata la descrizione del database, ovvero la struttura dell'insieme degli archivi di dati, dove le informazioni sono collegate attraverso un modello. Inoltre la seconda parte del capitolo affronta in dettaglio la descrizione delle informazioni geospaziale "Open" che seguono standards dettati dal *Open Geospatial Consortium*, un consorzio internazionale di aziende, agenzie governative e università attivi nello sviluppo di standard di interfaccia pubblicamente disponibile.

Il quinto capitolo è dedicato alla trattazione del caso di studio, in cui è affrontata l'analisi di una linea di trasporto pubblico locale mediante l'uso di un framework metodologico interamente basato su strumenti Open Source, con l'obiettivo di ottimizzare la qualità del servizio grazie a una riallocazione ottimale delle fermate effettuata attraverso un approccio multicriterio. La metodologia utilizzata nel corso

dell'elaborazione della soluzione progettuale ha l'obiettivo di evidenziare le criticità inerenti la copertura e l'accessibilità al servizio stesso.



## Capitolo Primo

### *Aspetti normativi e istituzionali del trasporto pubblico locale*

#### 1.1. Generalità

Il Trasporto Pubblico Locale, spesso identificato con l'acronimo TPL, definisce i differenti modi di trasporto forniti ai cittadini per garantire la mobilità in una dimensione locale, sia su scala urbana sia su scala extraurbana. Al fine di tutelare il bene e il soddisfacimento della collettività, ad oggi il trasporto pubblico collettivo è disciplinato in ambito nazionale dal d.lgs 422/97, mentre in ambito europeo trova la sua normativa nel Regolamento del Parlamento e del Consiglio UE n. 1370/2007, in relazione ai servizi pubblici di trasporto di passeggeri su strada e ferrovia (operante con portata precettiva vincolante negli Stati membri a partire dal 3 dicembre 2009).

#### 1.2. La normativa europea

Oggi giorno il trasporto pubblico locale in ambito europeo trova regolamento nel Regolamento del Parlamento e del Consiglio UE n. 1370/2007, che disciplina il trasporto dei passeggeri su strada e ferrovia. Tale regolamento abroga i precedenti regolamenti emanati dal Consiglio, n. 1191/69 e n.1107/70, relativi il primo *“all'azione degli Stati membri in materia di obblighi inerenti alla nozione di servizio pubblico nel settore dei trasporti per ferrovia, su strada e per via navigabile”* (come modificato dal Regolamento CEE n. 1893/91 del Consiglio del 20 giugno 1991) e il secondo agli aiuti accordati nel settore dei trasporti per ferrovia, su strada e per via navigabile. In particolare il regolamento n.1191/69 si limitava a concedere agli stati membri di stabilire gli obblighi di servizio pubblico (OSP), ovvero gli *“obblighi che l'impresa di trasporto, ove considerasse il proprio interesse commerciale, non assumerebbe o non assumerebbe nella stessa misura né alle stesse condizioni”*.

Le modifiche apportate con l'approvazione del regolamento del consiglio n.1893/91 prevedevano che il campo di applicazione del regolamento n.1191/69 venisse esteso agli operatori dei trasporti urbani, extraurbani e regionali e oltre agli obblighi di servizio pubblico (OSP), introduceva il contratto di servizio pubblico, da ritenersi il mezzo normale atto a garantire finalità di servizio pubblico.

Nel 1991 la Direttiva quadro n. 440/1991/CEE, accolta nell'ordinamento italiano con il D.P.R. n. 227 del 1998, introduceva dei punti atti a favorire l'adeguamento delle

ferrovie comunitarie alle esigenze del mercato unico. In particolare sottolineava l'indipendenza gestionale delle imprese, la separazione tra la gestione delle infrastrutture e attività di trasporto, il risanamento finanziario delle imprese pubbliche esistenti e la liberazione dell'utilizzo dell'infrastruttura.

Nelle direttive precedentemente emanate, nulla stabiliva l'accesso al mercato, così che nel 2000 la Commissione, considerando la logica di mercato della concorrenza, introdusse la Direttiva n. 52/2000/CE atta a sottolineare la trasparenza delle relazioni finanziarie tra gli stati membri e le loro imprese pubbliche.

Tuttavia, fino all'approvazione del Regolamento n.1370/2007, nessuna direttiva europea sottolineava l'obbligo o meno dell'affidamento dei servizi di TPL attraverso procedure concorsuali. Solo nel 2002, la Commissione intraprese un percorso rivolto al depotenziamento della spinta all'apertura dei mercati, arrivando nel luglio del 2005 a presentare la proposta di Regolamento per la disciplina dei servizi pubblici di trasporto passeggeri su strada e ferrovia. L'atto conclusivo di tale percorso è il Regolamento n.1370/2007, espressione di un cambiamento da parte della politica europea dei trasporti, atto a garantire servizi di trasporto passeggeri sicuri, efficaci e di qualità. Tale Regolamento, entrato in vigore nel dicembre 2009, prevede la regolazione dell'esercizio dei servizi nazionali e internazionali di trasporto pubblico di passeggeri per ferrovia, su rotaia e su strada, con esclusione dei servizi di interesse storico e turistico, per il trasporto passeggeri per vie navigabili e trasporto merci. In particolare le disposizioni del Regolamento si applicano soltanto nel caso in cui i contratti di servizio pubblico del TPL hanno la forma della concessione di servizi, in quanto se i contratti hanno le caratteristiche giuridiche dell'appalto seguono le disposizioni delle Direttive n. 2004/17/CE e n. 2004/18/CE. Pertanto, il Regolamento n.1370/2007 disciplina a livello comunitario le modalità di affidamento dei servizi del TPL, sottolineando l'opzione tra autoproduzione ed esternalizzazione del servizio e la durata degli affidamenti e, in tal proposito, stabilisce un periodo transitorio entro cui gli stati membri devono confermarsi gradualmente alla nuova regolamentazione, entro il termine ultimo fissato al 2019. Dunque, il Regolamento del Parlamento e del Consiglio UE n.1370/2007 esprime il risultato di un lungo iter evolutivo, rappresentando un intervento normativo significativo, traducendo in norma quanto già esisteva in alcuni stati europei e stabilizzando il quadro giuridico di riferimento.

La pubblicazione della "Tabella di marcia verso uno spazio unico europeo dei trasporti - Per una politica dei trasporti competitiva e sostenibile" nel libro Bianco del 2011, la

commissione europea asserisce la volontà di avvicinarsi all'obiettivo "zero vittime" nel trasporto su strada entro il 2050, dimezzando il numero delle vittime entro il 2020. Al fine di sostenere questo obiettivo, nel libro Bianco si evidenzia, tra le varie misure di attuazione, la necessità di prestare particolare attenzione agli utenti vulnerabili, come pedoni, ciclisti e motociclisti, attraverso infrastrutture più sicure e veicoli tecnologicamente più adeguati. Infatti tra le sfide da affrontare, nel Libro Verde dell'Unione Europea (European Commission, 2007) metteva in evidenza la volontà di riuscire a strutturare un sistema di trasporto urbano accessibile.

Gli obiettivi dell'Unione Europea (Libro Bianco 2011, "Tabella di marcia verso uno spazio unico europeo dei trasporti - Per una politica dei trasporti competitiva e sostenibile") fissano la riduzione (almeno del 20%) di gas serra prodotta dai trasporti entro il 2030, in relazione al valore del 2008. In virtù di tale obiettivo, il trasporto pubblico collettivo ricopre un ruolo molto importante, in quanto al fine di incentivare l'utilizzo è necessario valutare l'offerta del servizio, focalizzando particolare attenzione, in prima analisi, al livello di accessibilità che lo stesso è in grado di offrire, grazie alla potenziale interazione tra il sistema di trasporto pubblico collettivo e le attività urbane distribuite sul territorio.

### 1.3. La normativa italiana

La prima normativa relativa alla disciplina del settore dei trasporti pubblici in Italia risale al r.d. 2578/1925, disciplina che consentiva l'affidamento diretto dei servizi ad aziende speciali, consorzi e società di capitali di proprietà.

Le prime direttive che delegano alle regioni parte delle funzioni amministrative a riguardo del trasporto pubblico locale risalgono agli anni '70.

Per quanto stabilisce il DPR n.5 del 1972 alle regioni a statuto ordinario erano trasferite le funzioni amministrative esercitate dagli organi dello Stato in materia di tramvie e linee automobilistiche, comprendendo le metropolitane (urbane ed extraurbane), i servizi filoviari, funicolari e funivie. Inoltre concedeva la possibilità di delegare alle Regioni, tramite legge dello Stato, le linee ferroviarie delle Ferrovie dello Stato *non più utili della rete primaria nazionale*.

La legge n. 151 del 1981 affrontava il delicato problema del potenziamento e della ristrutturazione del trasporto pubblico locale e imponeva la costituzione di un fondo per il ripiano dei disavanzi di esercizio delle aziende e per gli investimenti nel settore, specificando così la definizione giuridica di trasporti pubblici locali: "*Si intendono per*

*tali i servizi adibiti normalmente al trasporto collettivo di persone e di cose effettuate in modo continuativo o periodico con itinerari, orari, frequenze e tariffe prestabilite e offerta indifferenziata, con esclusione di quelli di competenza dello Stato". Inoltre tale legge definiva la responsabilità diretta delle Regioni in relazione alla politica regionale dei trasporti, all'adozione dei programmi pluriennali o annuali di intervento, aventi carattere sia di investimento sia di esercizio e all'emanazione di norme atte a individuare i limiti territoriali dei "bacini di traffico" definiti come "le unità territoriali entro le quali si attua un sistema di trasporto integrato e coordinato in rapporto ai fabbisogni di mobilità con particolare riguardo alle esigenze lavorative, scolastiche e turistiche".*

La riforma nel settore si ha con l'entrata in vigore del d.lgs 422/1997, modificato e integrato parzialmente qualche anno dopo con il d.lgs 400/1999, in attuazione della legge n.59/97, nota come "Legge Bassanini".

I contenuti principali di tale legge Bassanini erano di:

- designare le Regioni come soggetti aventi funzione di amministrazione e programmazione in materia di trasporto pubblico locale;
- attribuire alle Regioni stesse (insieme agli Enti Locali) il compito di individuare il livello dei *servizi minimi*, cioè quei servizi *qualitativamente e quantitativamente sufficienti a soddisfare la domanda di mobilità dei cittadini, con costi a carico dei bilanci regionali*;
- liberalizzare il settore del trasporto pubblico attraverso l'affidamento dei servizi tramite procedure concorsuali.

L'entrata in vigore del decreto n.422/1997 individuava *le funzioni ed i compiti che sono conferiti alle Regioni ed agli Enti Locali in materia di servizi pubblici di trasporto di interesse regionale e locale con qualsiasi modalità effettuati ed in qualsiasi forma affidati e fissa, altresì, i criteri di organizzazione dei servizi di trasporto pubblico locale*. Inoltre tale decreto dava all'art.1 comma 2 la definizione di trasporto pubblico locale *"sono servizi pubblici di trasporto regionale e locale i servizi di trasporto di persone e merci, che non rientrano tra quelli di interesse nazionale [...]; essi comprendono l'insieme dei sistemi di mobilità terrestri, marittimi, lagunari, lacuali, fluviali e aerei che operano in modo continuativo e periodico con itinerari, orari, frequenze e tariffe prestabilite, ad accesso generalizzato, nell'ambito di un territorio di dimensione normalmente regionale o infraregionale"*, sostituendo in tal modo la definizione data nella Legge 151/81.

In particolare, il governo con tale decreto fissava i criteri di organizzazione dei servizi conferendo alle regioni e agli enti locali le funzioni e i compiti in materia di trasporto pubblico di interesse regionale e locale.

Le numerose innovazioni introdotte dal d.lgs 422/1997 e dalle apposite leggi regionali d'attuazione hanno così conferito al settore del trasporto pubblico, per la prima volta, un riferimento ordinamentale, atto a garantire un adeguato soddisfacimento dell'utenza.

Infatti, il decreto, disciplinando le forme di esercizio locale aveva ordinato, con osservanza al principio di sussidiarietà, che le regioni attribuissero a province, comuni ed enti locali le funzioni non soggette a un esercizio unitario a livello regionale. In tal senso le funzioni conferite agli enti locali avevano carattere residuale, in quanto adempivano ai compiti e alle funzioni che non erano di competenza dello Stato e delle regioni, svolgendo così compiti amministrativi e funzioni nel settore di trasporto lagunare e lacuale.

Gli obiettivi, quindi, fissati dal decreto erano quelli di:

- designare le Regioni come soggetti aventi funzione di programmatore, coordinatore, finanziatore e controllore, mentre la gestione dei servizi era affidata alle aziende di TPL;
- trasformare le aziende speciali e i consorzi in società per azioni ovvero in cooperative a responsabilità limitata;
- liberalizzare il settore del trasporto pubblico attraverso l'affidamento dei servizi tramite procedure concorsuali (art. 18 – introduzione della concorrenza per il mercato), fatto salvo un periodo transitorio scaduto il 31 dicembre 2007;
- definire nel contratto di servizio lo strumento per la disciplina del rapporto tra Ente regolatore e la società gerente.

Da quanto emerge, le regioni erano pertanto designate come unici soggetti regolatori del trasporto pubblico locale atte a garantire:

- la definizione degli indirizzi per la pianificazione dei trasporti locali ed in particolare per i Piani di Bacino (PdB);
- la redazione dei Piani Regionali dei Trasporti (PRT) e dei loro aggiornamenti, tenendo conto della programmazione degli Enti locali ed in particolare dei Piani di Bacino predisposti dalle province e, ove esistenti, dalle città metropolitane, nel rispetto dei principi di economicità ed efficienza, al fine di garantire una migliore gestione delle risorse disponibili privilegiando le integrazioni tra i vari modi di trasporto nel sostegno di quelle a minore impatto ambientale;

- l'approvazione dei Programmi Triennali dei Servizi (PTS) per la regolamentazione del Trasporto Pubblico Locale, con riferimento ai servizi minimi.

In relazione ai programmi triennali dei servizi, la Regione aveva il compito di individuare nella redazione di tali piani i seguenti punti: la rete e la organizzazione dei servizi; l'integrazione modale e tariffaria; le risorse da destinare all'esercizio ed agli investimenti; le modalità di determinazione delle tariffe; le modalità di attuazione e revisione dei contratti di servizio; il sistema di monitoraggio dei servizi; i criteri per la riduzione della congestione e dell'inquinamento ambientale. Mentre per ciò che concerne i servizi minimi il decreto delineava all'art. 16 comma 1 *la quantità e standard di qualità dei servizi di Trasporto Pubblico Locale, tenendo conto, dell'integrazione delle reti di trasporto, del pendolarismo scolastico e lavorativo, della fruibilità dei servizi da parte degli utenti per l'accesso ai vari servizi amministrativi, socio-sanitari e culturali e delle esigenze di riduzione della congestione e dell'inquinamento.*

Le integrazioni e modifiche apportate al sopracitato decreto due anni dopo, tramite il decreto n.400/99 interessavano:

- il trasferimento alle Regioni, a titolo gratuito, dei beni, impianti e infrastrutture delle ferrovie in ex gestione commissariale governativa e in concessione a soggetti diversi dalle "Ferrovie dello Stato S.p.A";
- l'attuazione di accordi di programma tra lo Stato e le Regioni e le " Ferrovie dello Stato S.p.A", al fine di affidare a quest'ultime la costruzione, l'ammodernamento, la manutenzione e la relativa gestione delle linee ferroviarie locali concesse, aventi carattere rilevante per il sistema ferroviario nazionale;
- l'istituzione di servizi di trasporto aggiuntivi da parte delle Province, Comuni e Comunità montane, nel rispetto degli elementi del contratto di servizio con oneri a carico degli Enti locali stessi, in accordo con la Regione;
- l'esclusione dalle gare di appalto di servizio delle società gestenti servizi in affidamento diretto o attraverso procedure non ad evidenza pubblica. Tale esclusione non è da considerare per le gare aventi come oggetto i servizi già espletati dai soggetti stessi;
- l'incentivazione del riassetto organizzativo e l'attuazione delle trasformazioni delle aziende speciali e dei consorzi in società dei capitali, ovvero in cooperative a responsabilità limitata.

Inizialmente, il recepimento dell'innovazioni, dettate dal decreto d.lgs 422/1997 e dalle successive modifiche dettate dal decreto d.lgs 400/1999, da parte delle regioni furono piuttosto omogenei, ma successivamente con l'entrata in vigore della Legge finanziaria del 2002 (L.n. 448/2001) e la Legge n. 166/2002 ebbe inizio un periodo di poca chiarezza, in quanto tali leggi prevedevano la reintroduzione di diverse ipotesi di affidamento diretto dei servizi del trasporto pubblico locale, soprattutto in caso di società a capitale interamente pubblico e di società miste in cui il socio privato era scelto con gara, provocando così una parziale sovrapposizione alle norme settoriali già previste dal d.lgs 422/1997 e l'invio di una lettera di mora da parte della Commissione Europea per la violazione della normativa in tema di concorrenza. Solo con l'approvazione nel 2004 della legge delega ambientale si è risolto il periodo di incertezza generato precedentemente, stabilendo con la L.n. 308/04 art. 1 comma 48 quanto segue: *“All'articolo 113 del testo unico delle leggi sull'ordinamento degli enti locali di cui al decreto legislativo 18 agosto 2000, n. 267, e successive modificazioni, sono apportate le seguenti modifiche:*

*a) dopo il comma 1, è inserito il seguente:*

*"1-bis. Le disposizioni del presente articolo non si applicano al settore del trasporto pubblico locale che resta disciplinato dal decreto legislativo 19 novembre 1997, n. 422, e successive modificazioni.";*

*b) dopo il comma 2, è inserito il seguente:*

*"2-bis. Le disposizioni del presente articolo non si applicano agli impianti di trasporti a fune per la mobilità turistico-sportiva eserciti in aree montane", e al comma 49 che "Dall'attuazione del comma 48 non derivano nuovi o maggiori oneri per la finanza pubblica.".*

Successivamente l'approvazione del D.lgs 223/2006, convertito in Legge n.248/2006, definiva che i Comuni potessero predisporre lo svolgimento, in tutto il territorio o in tratte, del trasporto pubblico di linea, comunale e intercomunale, da parte dei soggetti in possesso dei requisiti tecnico - professionali necessari, continuando a osservare il vincolo dettato dal divieto di disporre qualsiasi forma di finanziamento a favore dei soggetti operanti. Tale disposizione introduceva nel sistema del trasporto pubblico locale la forma di "concorrenza nel mercato" superando la forma di "concorrenza per il mercato" introdotta dal decreto n.422/97 in cui si designava un unico operatore o un numero limitato e predefinito di operatori. Così operando, a partire dal 2006, ebbe inizio

una nuova fase nel settore dei trasporti pubblici locali, durante la quale l'apertura dei mercati favorì l'ingresso di numerose aziende autorizzate a offrire servizi simili.

Un'ulteriore riforma che investe il settore dei servizi pubblici locali e quindi anche i servizi del trasporto pubblico locale, si ebbe con il decreto legge n.112/2008, convertito, con modificazioni, nella Legge n.133/2008. Tale legge apportava una rilevante modifica nell'assetto organizzativo del TPL e in particolare delineava alcuni aspetti relativi all'affidamento del contratto tramite procedure competitive a evidenza pubblica nel rispetto dei principi generali dettati dall'ordinamento nazionale e europeo, costituendo una regola generale per tutti i servizi pubblici locali di rilevanza economica, oltre che essere valida per la categoria dei servizi del TPL. In particolare il decreto-legge del 2008, intendeva garantire due interessi: da una parte la tutela della concorrenza, dall'altro la gestione del servizio pubblico locale da parte degli enti locali, tramite l'affidamento *in house* (affidamento a società a capitale interamente pubblico, ovvero nel caso in cui un appalto viene aggiudicato all'interno della pubblica amministrazione, senza ricorso alla procedura di evidenza pubblica), nell'ipotesi che fosse efficace e utile il ricorso al mercato e non solo quando esso non fosse possibile. Come emanato nell'articolo 23-bis comma 2, tale bilanciamento tra i diversi interessi era stato concretamente attuato da un lato consentendo alle società a capitale (interamente o parzialmente) pubblico di partecipare alle gare ad evidenza pubblica per l'affidamento della gestione del servizio, quando non ricorrevano le condizioni per l'affidamento diretto, allo stesso modo di ogni altro imprenditore o società; dall'altro lato limitando in ricorso all'affidamento *in house* nei casi in cui il ricorso al mercato per la gestione del servizio non fosse efficace e utile.

Ulteriori modifiche del decreto n.422/1997 furono apportate in seguito alla legge n.99/2009, la quale con l'articolo n.60 ne modificava il comma 2 dell'articolo 18, annunciando che la regione e gli enti locali, per l'affidamento dei servizi pubblici di trasporto regionale e locale garantiva il ricorso alle procedure concorsuale per la scelta del gestore del servizio. Infatti la norma stabiliva che a decorrere dal periodo transitorio fissato dalle singole regioni, che ai sensi dell'articolo 18 comma 3-bis si concludeva il 31 dicembre 2007, le società gestenti i servizi in affidamento diretto o a seguito di procedure non ad evidenza pubblica e le società di gestione delle reti, impianti e altre dotazioni patrimoniali, non potevano partecipare alle gare. Inoltre, con l'entrata in vigore di tale legge si dava la possibilità anche alle imprese ferroviarie affidatarie dello



stesso servizio di partecipare alla prima gara per l'affidamento dei servizi pubblici di trasporto ferroviario regionale e locale.

Inoltre l'articolo n.61 autorizzava le autorità competenti a giovare delle norme dettate dall'articolo 5 e 8 dal Regolamento CE n.1370/2007 al fine di aggiudicare i contratti per l'esercizio dei servizi di trasporto pubblico regionale e locale (con facoltà di poter derogare alle leggi di settore) e stabiliva che l'esclusione dettata dall'articolo 18, comma 2 lettera a) del decreto n.422/1997 non aveva applicazione per le società aggiudicatrici di contratti di servizio che rispettassero le direttive europee emanate nel 2007. Il decreto-legge n.135/2009 ha inteso estendere al trasporto pubblico locale la disciplina di riforma dell'affidamento e della gestione dei servizi pubblici locali di rilevanza economica, tematica questa dell'affidamento e della gestione dei servizi ripresa nel regolamento n.168/2010.

È necessario sottolineare che il governo, a partire dal 2008, è intervenuto più volte a riguardo dei servizi pubblici di rilevanza economica. Il decreto n.138/2011 modificato nella legge 148/2011, noto come Legge di Stabilità 2012 e il decreto n.1/2012 noto come il Decreto Cresci Italia convertito nella Legge 27/2012 hanno disposto: la tutela dell'universalità e accessibilità dei servizi atti a garantire la soddisfazione dei bisogni della collettività; la definizione dei bacini ottimali al fine di superare la frammentazione organizzativa e gestionale; la liberalizzazione della gestione; maggiore controllo e monitoraggio da parte degli Enti preposti.

Ulteriori modifiche al quadro normativo sono state apportate a seguito dell'emanazione del d.lgs n. 95/2012 convertito con modifiche nella legge n.135/2012 e dopo la sentenza della Corte Costituzionale n.199 del 2012, che ha stabilito l'illegittimità dell'articolo 4 del decreto n.138/2011. In vigore restano la normativa comunitaria e le normative di settore, in particolare continuano ad avere valenza l'articolo 3-bis del decreto n.138/2011, avente disposizioni sull'individuazione degli ambiti minimi, e l'articolo 36 del decreto n.1/2012 che prevede l'istituzione dell'Autorità indipendente di regolazione dei trasporti, la quale ha la funzione di individuare i criteri idonei a garantire il perseguimento di una gestione efficiente dei servizi e la determinazione delle relative tariffe.

#### 1.4. La normativa regionale

La riforma del trasporto pubblico locale avviata dalla legge n. 59/97 e dal decreto n.422/97 ha iniziato una fase di cambiamento per le tutte le regioni, sia a statuto

ordinario sia a statuto speciale. L'accoglimento delle direttive da parte delle regioni a statuto ordinario nel proprio ordinamento giuridico è avvenuto in tempi differenti e per quanto riguarda le regioni a statuto speciale (Friuli Venezia Giulia, Sardegna, Sicilia, Trentino Alto Adige e Valle d'Aosta) e le due province autonome (Bolzano, Trento), per le quali *il conferimento delle funzioni, nonché il trasferimento dei relativi beni e risorse, sono disposti nel rispetto degli statuti e attraverso apposite norme di attuazione*, solo alcune hanno provveduto a designare una disciplina organica del settore ispirata al decreto del 1997. Nella tabella che segue sono dettagliate le singole leggi regionali di attuazione in accoglimento delle direttive dettate dal decreto n. 422/97.

Tabella 1 - Quadro delle leggi regionali in tema di Trasporto Pubblico Locale

<b>Regione</b>	<b>Legge Regionale di accoglimento delle direttive del D.Lgs 422/97</b>
Abruzzo	Legge n.152/98 - Norme per il trasporto pubblico locale
Basilicata	Legge n. 22/98 - Riforma del Trasporto Pubblico Regionale e Locale in attuazione del Decreto Legislativo del 19-11-1997, n. 422
Calabria	Legge n.23/99 - Norme per il trasporto pubblico locale
Campania	Legge n. 3/02 - Riforma del Trasporto Pubblico Locale e Sistemi di Mobilità della Regione Campania
Emilia Romagna	Legge n. 30/98 - Disciplina generale del Trasporto Pubblico Regionale e locale
Lazio	Legge n. 30/98 - Disposizioni in materia di Trasporto Pubblico Locale
Liguria	Legge n. 31/98 - Norme in materia di Trasporto Pubblico Locale
Lombardia	Legge n. 22/98 - Riforma del Trasporto Pubblico Locale in Lombardia
Marche	Legge n. 45/98 - Norme per il riordino del trasporto pubblico regionale e locale nelle Marche
Molise	Legge n. 19/00 - Norme integrative della disciplina in materia di trasporto pubblico locale
Piemonte	Legge n. 1/00 - Norme in materia di trasporto pubblico locale, in attuazione del decreto legislativo 19 novembre 1997, n. 422
Puglia	Legge n. 18/02 - Testo unico sulla disciplina del trasporto pubblico locale
Toscana	Legge n. 42/98 - Norme per il trasporto pubblico locale
Umbria	Legge n. 37/98 - Norme in materia di trasporto pubblico locale in attuazione del decreto legislativo 19 novembre 1997, n. 422
Veneto	Legge n. 25/98 - Disciplina ed organizzazione del trasporto pubblico locale
Friuli Venezia Giulia	Legge n. 23/07 - Attuazione del decreto legislativo 111/2004 in materia di trasporto pubblico regionale e locale, trasporto merci, motorizzazione, circolazione su strada e viabilità
Sardegna	Legge n. 21/05 - Disciplina e organizzazione del trasporto pubblico locale in Sardegna
Sicilia	-
Valle d'Aosta	Legge n. 29/97 - Norme in materia di servizi di trasporto pubblico di linea <sup>(1)</sup>
Provincia di Bolzano	-
Provincia di Trento	-

<sup>(1)</sup> La L.R. 29/97 pur se precede in ordine di tempo il D.lgs 422/97 include molte delle disposizioni presenti nel decreto, almeno per ciò che riguarda i servizi su gomma. *Fonte: Isfort - 2008*

La struttura organizzativa del sistema di servizi del trasporto pubblico locale, sulla quale si base il decreto n. 422/1997, prevede l'utilizzazione di quattro strumenti di programmazione: il Piano Regionale dei Trasporti, il Piano di Bacino, la Programmazione dei Servizi Minimi e il Programma Triennale dei Servizi.

## Il Piano Regionale dei Trasporti

Il Piano Regionale dei Trasporti (PRT) è un documento programmatico redatto dalla regione, atto a garantire, insieme agli altri documenti avente carattere programmatico interregionale, la realizzazione di un sistema equilibrato di trasporto di persone e merci in relazione a quanto stabilito nei piani di assetto territoriale e di sviluppo socio-economico. In particolare il decreto n.422/97 chiarisce all'articolo 4 comma 2 lettera a che le Regioni definiscano *gli indirizzi per la pianificazione del TPL ed in particolare dei Piani di Bacino* e *stilino i PRT tenendo conto della programmazione degli Enti Locali ed in particolare dei Piani di Bacino*. Il PRT è pertanto un documento atto a definire: i bacini di traffico; i criteri per la definizione dei limiti territoriali dei bacini; i criteri programmatici e le direttive per la redazione dei piani di bacino e la rete di servizi integrativi che le Province (o delle città metropolitane) intendono gestire e finanziare con i propri fondi; gli indirizzi per la pianificazione dei trasporti locali; la rete delle infrastrutture funzionali a un sistema di trasporto integrato e i criteri per il coordinamento e l'integrazione fra i differenti modi sostenendo coloro i quali presentano un minor impatto ambientale.

## Il Piano di Bacino

Il Piano di Bacino (PdB) è un documento curato dalle Province (o dalle città metropolitane) che chiarifica dettagliatamente la rete e i programmi di esercizio dei servizi minimi, aggiuntivi e speciali di competenza provinciale, dove in particolare per servizi aggiuntivi si intendono quei servizi di trasporto pubblico locale i cui oneri sono a carico delle Province o degli enti locali proponenti, mentre per servizi speciali si intendono quelle tipologie di servizio che non rientrano nelle categorie dei servizi minimi o in quelle dei servizi aggiuntivi come: i servizi occasionali, gli atipici effettuati con autobus di noleggio per il trasporto di particolari categorie di utenti, i servizi a chiamata, i servizi di taxi collettivo effettuati su percorsi fissi in ambiente urbano o

suburbano e tutti quei servizi che hanno disposizioni caratterizzante un servizio speciale.

Il documento, in considerazione che un bacino di traffico è l'unità territoriale in cui si effettua un sistema di trasporto pubblico integrato e coordinato in rapporto ai fabbisogni di mobilità, deve spingere per il massimo sviluppo dell'integrazione tra i diversi modi di trasporto, sopprimendo le sovrapposizioni, parallelismi e duplicazioni nei percorsi e servizi tra le varie modalità. Il cambiamento che il decreto n.422/97 introduce è che i Piani di Bacino, approvati dalle Province, sono da dovere tenere in considerazione nel momento in cui si redigono i PRT, e in tal senso, pone alle Regioni la funzione di coordinare la programmazione degli enti locali.

### La programmazione dei Servizi Minimi

La programmazione dei servizi minimi è uno degli strumenti che rientra tra quelli che la regione deve formulare; a riguardo di tale strumento vi è una evidente eterogeneità in campo nazionale per ciò che concerne la classificazione dei servizi e le competenze dei servizi di collegamento tra comuni limitrofi, situazione dettata dalla mancanza nel decreto n.422/97 di indicazioni precise.

I servizi minimi sono definiti dal decreto n.422/97 all'articolo 16 come quelli *qualitativamente e quantitativamente sufficienti a soddisfare la domanda di mobilità dei cittadini [...] i cui costi sono a carico del bilancio delle Regioni* e devono essere definiti tenendo conto dei fattori legati alla *domanda di mobilità e alle esigenze di riduzione della congestione e dell'inquinamento*.

Inizialmente quasi tutte le Regioni hanno fatto coincidere il livello dei servizi minimi con i servizi storicamente garantiti dalle risorse regionali, ma successivamente è stato necessario tenere in considerazione due fattori importanti: la qualità del servizio e l'integrazione tra le reti di trasporto.

La definizione dei servizi minimi si fonda su determinati indirizzi, a cui le singole amministrazioni si riferiscono, stabilendo in tal modo quali considerare come vincoli da rispettare, quali obiettivi conseguire e quali non prendere in considerazione. Gli indirizzi delineano i seguenti punti:

- non ridurre il livello attuale dell'offerta complessiva di trasporto di ogni bacino di traffico, si consiglia una redistribuzione dell'offerta all'interno del bacino derivante da una razionalizzazione dei servizi;

- istituzione di un'integrazione modale e tariffaria all'interno di ogni bacino o a livello regionale;
- fissare gli standard qualitativi minimi del servizio;
- prevedere servizi e tariffe atte a soddisfare le esigenze del pendolarismo scolastico e lavorativo;
- garantire i collegamenti con i servizi amministrativi, sociosanitari e culturali;
- ampliare l'offerta delle tariffe e dei servizi e prevedere servizi e tariffe speciali per le aree chiuse al traffico individuale o in cui si vuole favorire la riduzione di congestione e quindi di inquinamento.

È evidente che alla programmazione dei servizi minimi è subordinata l'individuazione dei bacini di traffico all'interno della Regione e degli Enti Locali e non può prescindere da una corretta analisi della domanda di trasporto sul territorio. In relazione a quest'ultimo aspetto è importante sottolineare che la domanda di trasporto deve essere stimata in relazione ai diversi periodi di tempo e alle diverse coppie origine-destinazione degli spostamenti, infatti è necessario stimare la domanda annuale media (per un'analisi economica del sistema e delle sue singole parti), la domanda giornaliera media (per l'individuazione dei bacini e progettazione delle linee), la domanda in fasce orarie o ore di punta (per la progettazione di massima dell'esercizio), la domanda nei giorni festivi e la domanda stagionale (in tutti i territori soggetti a fenomeni rilevanti che si verificano in maniera stagionale).

Oltre all'analisi della domanda è utile, al fine di definire i servizi minimi, procedere con l'analisi dell'offerta presente sul territorio allo stato attuale e quindi analizzare l'interazione tra domanda e offerta. A seguito di tali analisi la definizione dei servizi minimi è fondata sia su aspetti quantitativi sia su aspetti qualitativi, facendo riferimento alla carta della Mobilità, stilata dalla Regione in riferimento al D.P.C.M. 28/98 –*Schema generale di riferimento per la predisposizione della carta dei servizi pubblici nel settore trasporti*.

### Il Programma Triennale dei Servizi

Il Programma Triennale dei Servizi (PTS) è un documento in cui si individuano la rete e l'organizzazione dei servizi, l'integrazione modale e tariffaria, le risorse da destinare all'esercizio e agli investimenti in infrastrutture, impianti e veicoli, le modalità di determinazione delle tariffe, le modalità di attuazione e revisione dei contratti di

servizio pubblico, il sistema di monitoraggio dei servizi e i criteri per la riduzione della congestione e dell'inquinamento.

In relazione a quanto esposto poco chiaro risulta il rapporto tra i PTS e l'individuazione dei servizi minimi. In ogni caso questo documento avente validità di tre anni ricerca il conseguimento di determinati obiettivi, nel rispetto dei vincoli fissati avente carattere normativo, amministrativo, geografico, sociale, economico e tariffario, tecnologici, legati alla fruibilità del servizio e alla coesistenza di più tecnologie di servizio.

### 1.5. La normativa nella progettazione delle fermate del trasporto pubblico locale

Nella progettazione per la realizzazione e la localizzazione delle fermate degli autobus, la normativa di riferimento prevista è:

- Nuovo codice della strada (D.Lgs 285 del 30/4/1992) e suo Regolamento di esecuzione e attuazione (DPR 495 del 16/12/1992);
- Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade (DM del 5/11/2001);
- Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali (DM del 19/4/2006);
- Direttive per la redazione, adozione ed attuazione del Piano urbano del traffico del Ministero dei Lavori Pubblici del 12/4/1995;
- Regolamento recante norme per l'eliminazione delle barriere architettoniche negli edifici, spazi e servizi pubblici (DPR del 24/7/1996, n. 503);
- Prescrizioni tecniche necessarie a garantire l'accessibilità, l'adattabilità e la visitabilità degli edifici privati e di edilizia residenziale pubblica sovvenzionata e agevolata, ai fini del superamento e dell'eliminazione delle barriere architettoniche (DM del 14 /6/1989 n.236).

È evidente che in relazione ai caratteri urbanistici del contesto territoriale in cui si opera, è necessario identificare la classe funzionale del tratto stradale sul quale la fermata dell'autobus, in esame o in progetto, è collocata. Infatti il posizionamento della fermata, all'interno o all'esterno della delimitazione del centro abitato (delimitazione effettuata ai sensi dell'art.4 del Nuovo codice della Strada), è correlato alle condizioni di circolazione previste dalle norme per le diverse componenti di traffico, determinando soluzioni progettuali ammissibili differenti.

Il D.M. 05/11/2001 (obbligatorio per le strade di nuova progettazione) fornisce un'indicazione sulla regolamentazione dei mezzi di trasporto pubblico collettivo, in relazione alla classe funzionale delle strade. Le classi funzionali, definite nell'art.2 c. 2 del Nuovo codice della Strada, si distinguono in strade urbane e strade extraurbane. Le tipologie delle strade urbane sono classificate come segue:

- tipo D: strade urbane di scorrimento;
- tipo E: strade urbane di quartiere;
- tipo F: strade urbane locali.

Le tipologie delle strade extraurbane sono classificate in:

- tipo B: strade extraurbane principali;
- tipo C: strade extraurbane secondarie;
- tipo F: strade extraurbane locali.

Naturalmente il transito e le fermate del servizio di trasporto pubblico è ammesso lungo tutte le tipologie di strada, a condizione che siano costituite da corsie veicolari di larghezza maggiore o uguale a 3,50 m. Classi di strade "intermedie", rispetto alle tipologie sopra elencate, quali le strade urbane interzonali, aventi funzioni intermedie tra le strade urbane locali e le strade urbane di quartiere, sono state introdotte con le Direttive per la redazione, adozione e attuazione dei Piani urbani del traffico, emanate dal Ministero LLPP il 24/06/1995.

Risulta chiaro che il D.M. del 5/11/2001 non solo costituisce un riferimento per le norme funzionali e geometriche per la costruzione di una strada, ma stabilisce tutte le indicazioni per la progettazione dei singoli elementi che costituiscono la fermata degli autobus nel sistema di trasporto pubblico locale, come ad esempio decreta che la larghezza minima dei marciapiedi in 1,50 m, in presenza di occupazioni di suolo pubblico (pensilina) la larghezza minima di circolazione dei pedoni deve essere non inferiore a 2 m (art. 20 c. 3); lungo le strade con velocità di progetto superiore a 70 km/h (tipo B, C, D) il marciapiede deve essere protetto con dispositivi di ritenuta, mentre negli altri casi il marciapiede deve essere delimitato da un ciglio sagomato; è necessario garantire le distanze di visuale libera in funzione alla classe funzionale della strada e alla velocità operativa.

È evidente che in riferimento al tipo di strada in cui è posizionata la fermata, le normative vigenti in materia determinano accorgimenti atti a garantire la massima

sicurezza degli utenti. Di seguito sono descritti i criteri di selezione della tipologia di fermata in relazione alla classificazione delle tipologie stradali.

### 1.5.1. Fermate poste lungo strade urbane

Il Regolamento (DPR 495 de 16/12/1992) all'art. 352 c. 5 stabilisce che nei centri abitati le “[...] *aree di fermata, ove possibile, devono essere collocate in spazi esterni alla carreggiata, dotati di agevoli raccordi di entrata ed uscita [...]*”.

#### **Fermate localizzate lungo le strade urbane di scorrimento (tipo D) o urbane di quartiere (tipo E), poste all'esterno della carreggiata**

Le localizzazione delle fermate lungo le strade urbane principali è opportuno prevederla al di fuori della carreggiata stradale, con un adeguato spazio di fermata e raccordi di ingresso e uscita, dove in particolare per le strade di tipologia D lo spazio di fermata (golfo di fermata) può essere dimensionato secondo quanto stabilito nel Regolamento (DPR 495 de 16/12/1992) all'art.352 c. 6, anche se non obbligatorio per le fermate in ambito urbano. Per tali tipologie di strada, particolare importanza è attribuita al traffico urbano, pertanto è necessario sottolineare la presenza delle fermate attraverso particolari soluzioni di arredo urbano, al fine di attribuire una maggiore riconoscibilità o a rappresentare la zona della fermata come punto di riferimento sul percorso stradale.

La tipologia di fermata può essere caratterizzata da raccordi in ingresso e in uscita, di lunghezza pari ciascuno a 15,00 m, e da una piazzola di sosta aventi dimensioni minime di lunghezza 20,00 m e larghezza 3,00 m, in cui l'attraversamento pedonale è da disporre in coda ad entrambe le fermate.

#### **Fermate localizzate lungo le strade urbane di scorrimento (tipo D) o urbane di quartiere (tipo E), poste all'interno della carreggiata**

Le localizzazione delle fermate in questa tipologia deve prevedere la presenza del marciapiede, adeguatamente collegato alla rete pedonale esistente con attraversamento posizionato in coda a entrambe le fermate. Inoltre in presenza di una corsia ciclabile è necessario la prosecuzione della stessa, con sopraelevazione del piano ciclabile a quota del marciapiede in corrispondenza della fermata, attraverso la realizzazione di scivoli, atti a garantire ai ciclisti il cambiamento di quota. Naturalmente il marciapiede dovrà



essere attrezzato per la circolazione (promiscua) dei pedoni e dei ciclisti, tramite l'utilizzo di appositi accorgimenti.

Inoltre si raccomanda, in presenza di stalli di sosta, l'ampliamento del marciapiede verso il centro della carreggiata con l'eliminazione di alcuni stalli di sosta, al fine di migliorare la visibilità ai conducenti, dei veicoli in transito, dei pedoni in attraversamento, oltre ad evitare la sosta illegale in corrispondenza della fermata.

Nei casi in cui vi è presenza di pista ciclabile, è consigliabile ampliare il marciapiede d'attesa, così da occupare l'intera larghezza della corsia ciclabile con l'attraversamento della stessa quota.

### **La segnaletica**

La segnaletica, orizzontale e verticale, rappresenta un elemento di fondamentale importanza nell'individuazione della fermate, in quanto garantisce sia agli utenti sia ai guidatori una maggior chiarezza dell'utilizzo degli spazi circostanti. Il Regolamento (DPR 495 de 16/12/1992) stabilisce che la fermata in carreggiata deve essere delimitata da una striscia longitudinale gialla discontinua o da una striscia di margine continua con due strisce trasversali gialle continue che si raccordano perpendicolarmente alle precedenti, come nel caso di strade extraurbane. Inoltre nella zona di fermata è vietata la sosta dei veicoli, pertanto è necessario porre apposti segmenti alternati, gialli e neri, sulla faccia verticale del ciglio sagomato dei marciapiedi o della struttura verticale che delimita la strada, come esposto nell'art. 152 c. 3 del Regolamento sopra citato. Naturalmente per quanto riguarda la segnaletica verticale nel caso di presenza di parcheggio di scambio in corrispondenza della fermata o di un capolinea, può essere utilizzato il segnale che indirizza il passaggio tra il mezzo privato e il mezzo pubblico. Altre tipologie di segnali utili a favorire l'intermodalità sono forniti nel Regolamento (DPR 495 de 16/12/1992).

Per garantire una maggiore visibilità e continuità ai percorsi pedonali e ciclabili, in ambito urbano possono essere realizzati attraversamenti pedonali rialzati a quota del marciapiede, raccordati mediante scivoli con il piano stradale. Al fine di consentire sicurezza degli autobus e dei mezzi pesanti, le caratteristiche geometriche da osservare sono le seguenti: dislivello minimo di 15 cm, lunghezza minima della piattaforma rialzata di 600 cm e lunghezza delle rampe minimo di 375 cm con pendenza degli scivoli non superiore al 4%.

### 1.5.2. Fermate poste lungo strade extraurbane

Il Nuovo codice della strada, per le strade extraurbane (Regolamento, art. 352 c. 6), stabilisce che nel caso in cui le fermate degli autobus possano rappresentare intralcio o pericolo per la circolazione in relazione al restringimento della carreggiata, è necessario prevedere appositi golfi di fermata fuori dalla carreggiata, provvisti di raccordi di entrata e uscita, di lunghezza minima di 30 m.

#### **Fermate poste lungo strade extraurbane principali (tipo B)**

Il Nuovo codice della strada, art.2, stabilisce che le piazzole di fermata degli autobus lungo le strade extraurbane principali devono essere individuate in spazi fisicamente separati dalla piattaforma principale. L'accessibilità degli utenti del servizio alle fermate deve essere garantita attraverso percorsi pedonali esterni (e separati dalla piattaforma principale), in collegamento con la rete pedonale locale e con aree attrezzate, in cui l'attraversamento pedonale a raso lungo tali tipologie di strade non è ammesso. Nel caso in cui si riscontra una mancanza di ulteriori indicazioni normative, per tali tipologie di strada la localizzazione, le caratteristiche geometriche e le caratteristiche costruttive delle piazzole di fermata degli autobus sono da stabilire con l'ente gestore della strada già nelle fasi di progettazione.

#### **Fermate poste lungo strade extraurbane secondarie (tipo C)**

Le fermate posizionate lungo le strade extraurbane secondarie devono essere localizzate al di fuori della carreggiata stradale prevedendo adeguati raccordi di entrata e di uscita, oltre allo spazio propriamente detto di fermata. Inoltre deve essere disposto un marciapiede destinato agli utenti di almeno 1,5 m di larghezza, illuminato, posto esternamente alla carreggiata, la larghezza della piazzola di fermata deve essere pari a 3,00-3,50 m, la lunghezza minima a 20,00 m e i raccordi devono avere lunghezza pari a 15,00 m.

#### **Fermate poste lungo strade extraurbane locali (tipo F)**

Le fermate lungo le strade extraurbane locali devono prevedere la realizzazione di due fermate posticipate in carreggiata (una per senso di marcia), in cui è necessario realizzare un marciapiede di larghezza di almeno 1,50 m, illuminato e raccordato con la rete pedonale esistente.

## **La segnaletica**

In riferimento al trasporto pubblico locale su strade extraurbane, la segnaletica deve tener conto delle dimensioni dei mezzi utilizzati, infatti se gli autobus rientrano nella sagoma limite (ex art. 61 del Nuovo codice civile della strada) la lunghezza massima dei mezzi è di 12,00 m e la larghezza di 2,55 m, ma nel caso in cui si tratta di linee in cui la domanda di trasporto è elevata, i mezzi possono avere anche dimensioni pari a 18,00 m, pertanto la segnaletica deve considerare la dimensione massima dei mezzi utilizzati.

In riferimento alla segnaletica orizzontale, le strisce di delimitazione della fermata in carreggiata dei mezzi di trasporto pubblico sono rappresentate da una striscia longitudinale gialla discontinua individuata a una distanza minima di 2,70 m dal marciapiede o dalla striscia di margine continua con due strisce trasversali gialle continue che si raccordano in modo perpendicolari alle precedenti, come espresso nell'art. 151 del Regolamento (DPR 495 de 16/12/1992). Inoltre la prima e l'ultima parte delle piazzole di fermata possono prevedere una striscia gialla a zig zag e sulla pavimentazione della zona centrale deve essere scritto BUS, a distanza pari a 1/3 della sua lunghezza a partire dal lato di approccio.

Inoltre in relazione all'attraversamento pedonale, si deve prevedere la realizzazione di segnaletica di rallentamento (con effetto ottico, acustico/vibratorio) attraverso bande trasversali o realizzabili con opportuni mezzi di segnalamento orizzontale, come esposto nell'art. 179 del Regolamento (DPR 495 de 16/12/1992), mentre nell'art. 139 del medesimo Regolamento è stabilito che è necessario prevedere una striscia di separazione dei sensi di marcia continua in prossimità dell'attraversamento pedonale che vieti il sorpasso tra autovetture.

Per quanto concerne la segnaletica verticale il Regolamento (DPR 495 de 16/12/1992) prevede l'utilizzo di appositi segnali, appartenenti alla categoria dei segnali di indicazione di servizi utili (art. 136 c. 6), atti a indicare la fermata degli autobus (per la salita e la discesa dei passeggeri), la cui apposizione è a cura del gestore del servizio, previa intesa con l'ente proprietario della strada (art. 352 c.1).

In relazione all'attraversamento pedonale a raso, lungo le strade di tipo C e F, si prevede l'utilizzo di segnali di pericolo attraversamento pedonale con luci gialle lampeggianti, poste a una distanza di 150 m dall'attraversamento o a una distanza di visibilità, basata sulla velocità operativa dei veicoli, oppure l'utilizzo di un segnale di attraversamento

pedonale posto in corrispondenza dell'attraversamento, con luci lampeggianti, installato su di un pastorale, attrezzato per l'illuminazione dell'attraversamento.

## Capitolo secondo

### *Il sistema di trasporto pubblico locale.*

#### 2.1. Introduzione

Il Trasporto Pubblico Locale raffigura un settore molto importante della branca dell'ingegneria dei trasporti, il cui studio è finalizzato alla progettazione funzionale di interventi infrastrutturali e organizzativi in un sistema di trasporto. I sistemi di trasporto definiscono i diversi modi di trasporto che un utente può usufruire per soddisfare le proprie esigenze nello spostamento, sia su scala urbana sia su scala extraurbana.

Dagli inizi del 900, i sistemi di trasporto pubblico erano progettati in relazione al loro inserimento all'interno di reti infrastrutturali e in conformazione all'urbanistica esistente, con eccezione del reti ferroviarie sotterranee, che per loro natura necessitavano di uno studio particolare del territorio oggetto di intervento. Naturalmente, oggi, l'approccio progettuale è cambiato e il sistema di trasporto pubblico collettivo condiziona gli assetti urbani interni generando trasformazioni negli schemi di circolazione tradizionali, precludendo il transito a veicoli privati lungo alcune strade e promuovendo la realizzazione di nuove infrastrutture. Infatti a seguito di quanto descritto, oggi, la programmazione di un servizio di trasporto, al fine di ottenere risultati efficienti e efficaci, si basa su una serie di informazioni inerenti sia al sistema di trasporto sia al sistema socio-economico in cui si va ad operare.

Naturalmente per poter analizzare le relazioni prodotte dai vari sistemi di trasporto e tutti i suoi dettagli è necessario distinguere tecnicamente il tipo di mezzo di trasporto utilizzato, distinguendo in prima analisi i mezzi di trasporto su gomma (autobus e filobus) e i mezzi di trasporto su rotaia (metropolitana, tram e ferrovia suburbana). In particolare i mezzi su gomma hanno una maggiore flessibilità d'esercizio, al contrario i mezzi guidati da rotaia sono vincolati alla traiettoria imposta dalla guida. Chiaramente tale distinzione evidenzia che mentre i mezzi su gomma hanno la possibilità di aggirare una eventuale ostruzione improvvisa provocando ritardi nei tempi di esercizio, i mezzi su rotaia hanno necessità di avere la sede stradale libera per effettuare la propria corsa, determinando così un arresto se la sede non sia sgombra dall'eventuale congestione e provocando nei fatti un'interruzione dell'operatività dell'intero sistema. Da questa semplice distinzione, nel corso degli anni, è scaturita la diffusione del mezzo di trasporto su gomma per alcune città, mentre per altre realtà urbane, dove si ritenne

conveniente mantenere il sistema di trasporto su rotaie, ci si ritrova oggi con un patrimonio insostituibile che necessitano della ricostruzione di nuove linee secondo i criteri più innovativi. Chiaramente le mutate situazioni degli assetti urbani hanno incentivato al disuso del mezzo pubblico e conseguentemente un maggior utilizzo del mezzo privato, quest'ultimo atto a soddisfare maggiormente le esigenze di mobilità del singolo cittadino. Infatti in seguito al crescente utilizzo del mezzo privato e al sempre più evidente fenomeno di congestione urbana, si è arrivati alla necessità di determinare, per i mezzi di trasporto pubblico su gomma, delle traiettorie vincolate lungo i percorsi privilegiati, favorendone così la marcia e la precedenza rispetto ad altri veicoli. Le reti stradali urbane sono state in tal modo investite da cambiamenti che hanno portato alla realizzazione di corsie preferenziali le quali, attraverso segnaletica, separazioni fisiche e un efficiente regime di controllo, sono concesse all'uso esclusivo dei mezzi pubblici di trasporto (o altri servizio di pubblica utilità).

## 2.2. La classificazione del sistema di trasporto pubblico locale

I sistemi di trasporto sono stati da sempre classificati secondo diversi aspetti, ma in rapporto al tipo di mezzo utilizzato è possibile classificarli in sistemi di trasporto privato, sistemi di trasporto a noleggio e sistemi di trasporto collettivo, come proposto da Vuchic (Vuchic 1981; Vuchic 1992).

I sistemi di trasporto privato prevedono l'utilizzo di veicoli di proprietà dell'utente stesso che utilizza il mezzo; il sistema di trasporto a noleggio è un servizio a pagamento da parte degli utenti con l'utilizzo di un mezzo non di proprietà dell'utente che ne usufruisce, caratterizzato da percorsi ed orari variabili in relazione alle esigenze del singolo utente; il sistema di trasporto collettivo consiste in un servizio di trasporto a pagamento utilizzabile da più utenti contemporaneamente, aventi orari e percorsi predeterminati. In particolare i sistemi di trasporto collettivo possono essere ulteriormente classificabili secondo diverse caratteristiche, quali la tecnologia, il tipo di servizio e il vincolo di percorso (right of way, "R/W"), e quest'ultima rappresenta la caratteristica maggiormente utilizzata. In relazione a tale caratteristica è possibile identificare il sistema di trasporto urbano, semirapido, rapido e speciale, considerandone per ognuno il tipo di sede viaria utilizzata. Il servizio di trasporto collettivo urbano identifica quel servizio garantito dagli autobus e dai tram, i quali non possiedono una sede viaria propria ma utilizzano la rete stradale urbana a traffico misto. Il servizio di

trasporto semirapido è rappresentato dai sistemi di trasporto sia su rete a traffico misto sia avente la linea riservata (come nel caso delle metropolitane leggere), mentre i sistemi di trasporto rapidi sono quei sistemi che viaggiano in una sede propria, garantendo affidabilità nei tempi e sicurezza, appartengono a questa categoria le metropolitane, i treni regionali e le monorotaie. Per sistemi di trasporto speciale si intendono tutti quei sistemi aventi una guida completamente automatica come le funicolari e i sistemi a nastro. Altre differenziazioni sono riconducibili alla programmazione delle fermate (differente se si tratta di trasporto pubblico locale o meno), al periodo operativo (servizio regolare, servizio speciale o servizio irregolare) e alla velocità di corsa dei veicoli. In relazione a quanto esprime Vuchic è possibile effettuare ulteriori classificazione in base a differenti parametri tecnico-operativi riferiti alla linea, come la frequenza di servizio, la velocità commerciale, la capacità di transito (massimo flusso possibile su una linea) e la capacità di produzione del servizio (con riferimento al prodotto della velocità commerciale per la capacità di linea).

Ulteriori classificazioni sono state effettuate da Gelmini (Gelmini, 1988), il quale mette in evidenza le principali caratteristiche dei diversi sistemi di trasporto urbano classificandoli in sistemi individuali (sistemi in cui gli utenti possono scegliere l'orario, l'origine e la destinazione dello spostamento), sistemi semi-collettivi (sistemi in cui gli utenti possono accordarsi singolarmente con l' esercente su orari e località di origine e destinazione), sistemi collettivi (sistema in cui il servizio è utilizzabile contemporaneamente da più persone, a orari stabiliti e con fermate specifiche) e sistemi a moto continuo (sistema in cui l'utente non ha necessità di attendere per utilizzarlo). In particolare lo stesso Gelmini effettua ulteriori nei sistemi collettivi, classificandoli in sistemi convenzionali ordinari (autobus, filovie, metropolitane leggere, metropolitane e ferrovie regionali), sistemi convenzionali speciali (ascensori, funicolari e linee a cremagliera) e sistemi non convenzionali (autobus a batteria, bus bimodali, bus a controllo automatico di guida, monorotaie e altri sistemi). Naturalmente anche altri studiosi del settore hanno effettuato ulteriori classificazione, in relazione alle diverse caratteristiche considerate, ma per lo studio affrontato in questo lavoro risulta sufficiente la trattazione precedentemente esposta.

## 2.3. Il sistema di trasporto

L'insieme di componenti che determinano la domanda, nei vari punti di un territorio, e l'offerta dei servizi di trasporto, atti al soddisfacimento della domanda stessa, costituiscono un sistema di trasporto. Nella rappresentazione di un qualsiasi sistema di trasporto, gli elementi determinanti nella progettazione non sono tutti gli elementi della società nel suo complesso, ma sono tutti quegli elementi (e le loro relazioni) rilevanti che costituiscono il sistema di analisi, mentre il rimanente costituisce l'ambiente esterno.

Per quanto riguarda un sistema urbano, questo presenta una struttura gerarchizzata, costituita da vari sottoinsiemi, tra i quali il sistema delle attività, ovvero l'insieme degli individui e dei loro comportamenti che generano la domanda di mobilità e il sistema di trasporto.

Il sistema delle attività, in riferimento alla distribuzione geografica (nell'area urbana si definiscono le zone), è costituito da tre sottoinsiemi: il sistema immobiliare (differenti destinazioni d'uso), le attività economiche e le residenze familiari. In relazione al sistema delle attività vi è il sistema di trasporto, formato a sua volta da due componenti principali: la domanda di mobilità e l'offerta di trasporto. La domanda è strettamente connessa alla necessità delle famiglie e dei lavoratori di utilizzare le diverse funzioni urbane dislocate nelle varie zone urbane. L'offerta è costituita dalle infrastrutture e dai servizi che determinano le opportunità di viaggio.

Il campo di interesse della teoria dei sistemi di trasporto è lo studio e la simulazione degli elementi e delle relazioni che costituiscono il sistema di trasporto in relazione al sistema delle attività, ovvero si considera l'influenza del sistema delle attività sul sistema di trasporto, con particolare attenzione alla domanda di mobilità.

Inoltre il sistema di trasporto è definito da componenti e reciproche relazioni che caratterizzano il sistema di analisi, che prevedono l'identificazione delle caratteristiche spaziali e temporali, definendone le componenti della domanda di mobilità.

### 2.3.1. Caratteristiche spaziali

In relazione all'identificazione delle caratteristiche spaziali sono previste tre fasi, ovvero la delimitazione dell'area di studio, la suddivisione dell'area in zone di traffico e l'individuazione della rete di base.



L'area di studio è l'area geografica in cui si analizza il sistema di trasporto e si intende intervenire, studiandone gli spostamenti rilevanti che si hanno al suo interno, in considerazione della maggior parte degli spostamenti che hanno origine e destinazione all'interno della medesima area. Il territorio interessato viene delimitato come cordone, permettendo in tal modo di definire tutto ciò che ricade fuori da questo come ambiente esterno. È evidente che nell'analizzare il sistema di trasporto nella specifica area di studio è necessario considerare tutti gli elementi che influenzano il sistema, pertanto come area di studio, in base allo studio che è necessario svolgere, può definirsi un intero paese (piano nazionale dei trasporti) o un'area urbana o parte di essa (per interventi di gestione di traffico locale).

L'area di studio è, a sua volta, suddivisa in zone di traffico, ovvero in unità geografiche, che permettono di analizzare in maniera più ordinata gli spostamenti che si hanno all'interno del territorio analizzato. Gli spostamenti all'interno delle zone di traffico sono definiti spostamenti interzonali, mentre gli spostamenti effettuati nella medesima zona di traffico sono denominati intrazonali. Questa distinzione è utile per definire il centroide di zona, che rappresentano tutte le origini e le destinazioni all'interno di una zona, mentre per rappresentare gli spostamenti in entrata e uscita dall'area di studio si definiscono dei centroidi esterni.

Naturalmente nell'individuazione delle zone di traffico è necessario effettuare alcuni accorgimenti, quali:

- l'individuazione di separatori fisici del territorio come confini di zona, in quanto essendo degli impedimenti per il collegamento fra aree contigue necessitano di condizioni di accesso differenti;
- l'aggregazione di unità territoriali amministrative, in modo da avere l'associazione dei dati socioeconomici utili per il dettaglio del sistema delle attività;
- un maggiore dettaglio per le zone di traffico nelle vicinanze di uno specifico elemento del sistema di trasporto in cui si vuole analizzare il flusso di traffico con maggiore precisione;
- la definizione delle zone di traffico in base all'aggregazione di territori omogenei in relazione alle attività insediate, all'accessibilità, alle infrastrutture e ai servizi.

Per quanto riguarda la rete di base, questa definisce l'insieme degli elementi fisici descritti per un'applicazione, ove le infrastrutture e i servizi di trasporto sono individuati in virtù della funzione di collegamento tra le zone di traffico presenti nell'area di studio e l'ambiente esterno, determinando un'interdipendenza tra l'individuazione della rete di base e le aree di zone di traffico.

### 2.3.2. Caratteristiche temporali

In un sistema di trasporto, uno degli elementi fondamentali è la determinazione degli intervalli temporali, in quanto le caratteristiche della domanda e dell'offerta variano nel tempo e su diverse scale temporali.

È necessario sottolineare che le scale temporali sono considerate in modo differente se si è nella fase di progetto o nella fase di interventi su una rete già esistente. Infatti nel caso in cui si è nella fase di progetto si considerano informazioni su brevi periodi di massimo carico, ovvero il periodo di punta, informazioni ottenute simulando le condizioni di un periodo di riferimento o di simulazione, inoltre le valutazioni richiedono informazioni sulle prestazioni di un progetto in un arco temporale da confrontare con la sua vita tecnica.

Il periodo di analisi è la durata temporale, dato rilevante per lo studio di un dato sistema, il quale può includere uno o più periodi di simulazione.

Naturalmente se tutte le caratteristiche rilevate sono costanti durante il periodo di riferimento e indipendenti dal particolare istante nel quale sono state simulate, si ha la condizione di “*stazionarietà intraperiodale*”, mentre se all'interno del periodo di riferimento si ha la variazione della domanda e dell'offerta si è nella condizione “*dinamica intraperiodale*”, dove i modelli assumono che alcuni elementi del sistema restino costanti all'interno del periodo.

Il sistema di trasporto, oltre alle considerazioni appena citate, necessita di esaminare altri tre tipi di variazioni temporali, quali: le variazioni di lungo periodo o trend, le variazioni cicliche e le variazioni intraperiodali.

In particolare le variazioni di lungo periodo sono “*variazioni di livello globale e di struttura che si evidenziano sommando i flussi di domanda su un numero consistente di periodo di riferimento*”<sup>1</sup>. Le variazioni di lungo periodo sono pertanto le variazioni

---

<sup>1</sup> Ennio Cascetta, Modelli per i sistemi di trasporto – Teoria e applicazioni, 2006 UTET Università

determinate in seguito a cambiamenti socio-economici e territoriali, che determinano cambiamenti nella domanda di mobilità.

Le variazioni cicliche sono variazioni che interessano molti periodi temporali di riferimento all'interno di un medesimo periodo di analisi e si ripetono ciclicamente. Chiaramente all'interno di un periodo di analisi possono verificarsi diverse variazioni cicliche relative a fattori differenti, come le variazioni della domanda giornaliera in una settimana e le variazioni in diverse momenti di un giorno.

Le variazioni intraperiodali sono le variazioni della domanda e dell'offerta nei periodi di riferimento aventi caratteristiche identiche, come ad esempio le variazioni di domanda nei momenti di punta della giornata rispetto ai momenti di altri giorni aventi le medesime caratteristiche.

È evidente che in base al tipo di trasporto che si intende progettare il periodo di analisi cambia, ad esempio per un piano di traffico di un'area urbana, le variazioni di lungo periodo della domanda quotidiana può non essere considerato, in quanto l'orizzonte temporale di progettazione è di breve periodo.

## 2.4. Modelli del sistema di trasporto

I sistemi di trasporto, la progettazione di componenti fisici e gli interventi sono influenzati dalla domanda di mobilità e dall'offerta che i servizi offrono, pertanto per un'attenta analisi all'intero settore si ricorre alla modellizzazione dei sistemi di trasporto, dove un insieme di azioni e interventi coordinati definiscono un progetto o un piano di azione. Gli elementi sui quali i modelli vengono definiti sono: la delimitazione fisica, la discretizzazione dello spazio, l'identificazione dei servizi e dei periodi di simulazione, l'ipotesi sulla variabilità intraperiodale e il tipo di interazione domanda-offerta.

La delimitazione fisica definisce il sistema di trasporto all'interno di un territorio circoscritto, in relazione alla domanda e all'offerta proveniente dall'ambiente esterno.

La discretizzazione dello spazio rappresenta la zonizzazione del territorio in cui si realizzano la domanda e l'offerta di trasporto, assumendo che i punti di partenza e di arrivo in una medesima zona sono concentrati in un unico punto definito come centroide di zona.

L'identificazione dei servizi di trasporto rappresentano le infrastrutture e i servizi che collegano i centroidi presenti all'interno dell'area di studio e che collegano quest'ultimi

con i centroidi esterni. Mentre per quanto riguarda l'identificazione dei periodi di simulazione ci si riferisce alla determinazione dell'ampiezza del periodo di analisi e alla selezione delle variazioni cicliche significative, da analizzare con conseguente determinazione dei periodi di riferimento o simulazione.

L'ipotesi sulla variabilità intraperiodale ipotizza che la domanda di trasporto e l'offerta siano costanti durante un periodo di tempo abbastanza lungo da raggiungere condizioni stazionarie, in tal modo le variabili significative assumono valori che sono indipendenti dall'istante di tempo di riferimento. I modelli con dinamica intraperiodale, al contrario, simulano esplicitamente come l'offerta e la domanda variano all'interno di ciascun periodo di riferimento. Per quanto riguarda il tipo di interazione domanda-offerta si assume che il sistema è in una configurazione di equilibrio nella quale i flussi di domanda, i flussi di percorso e i costi sono mutuamente consistenti.

Naturalmente questi tipi di modelli sono integrati con i modelli che simulano la localizzazione delle attività e i livelli di produzione, i quali variano a seconda del tipo di analisi si effettua nella scala territoriale.

## 2.5. La domanda di mobilità

La domanda di mobilità che usufruisce del servizio di trasporto offerto è costituito dai viaggiatori che si spostano in una specifica area. La domanda svolge un ruolo determinante nell'analisi e nella modellizzazione dei sistemi di trasporto in quanto nella ricerca della soddisfazione dei bisogni di mobilità trova fondamento la progettazione e la valutazione dei servizi di trasporto. È evidente che lo spostamento che gli utenti compiono non producono utilità in sé e per sé, ma è complementare allo svolgimento di altre attività in luoghi diversi da quello in cui si abita ed è chiaro che gli spostamenti sono sempre legati a esigenze di tipo lavorativo, di studio o altro. Pertanto la domanda di mobilità deriva dal sistema di offerta del trasporto e in particolar modo dall'assetto territoriale esistente.

Il flusso di domanda può quindi essere definito come *“il numero di utenti con determinate caratteristiche che consuma il servizio offerto da un sistema di trasporto in un periodo di tempo prefissato ovvero come un flusso di spostamenti”*<sup>2</sup>. La domanda risulta essere l'aggregazione dei singoli spostamenti, ovvero il recarsi da un luogo di partenza (origine) a uno di arrivo (destinazione), utilizzando differenti modi di trasporto

---

<sup>2</sup> Ennio Cascetta, Modelli per i sistemi di trasporto – Teoria e applicazioni, 2006 UTET Università

o più mezzi. La definizione degli spostamenti può effettuarsi distinguendo i flussi in ambito spaziale per Origine e Destinazione, al fine di costruire delle matrici caratterizzanti i flussi di domanda. Le matrici saranno costituite da un numero di righe e di colonne pari al numero di centroidi fra i quali vi sono possibili spostamenti, determinando un elemento  $d_{od}$ , ovvero il numero di spostamenti che hanno inizio da un centroide  $i$  (origine) e fine nel centroide  $j$  (destinazione) nell'unità di tempo.

I modelli di domanda riproducono gli aspetti determinanti della domanda di mobilità in relazione ai sistemi delle attività e ai livelli di servizi proposti dal sistema di offerta. Tali simulazioni pertanto riproducono il numero di spostamenti (ovvero il livello di domanda) nel periodo di riferimento e la distribuzione di questi sul territorio in relazione alle diverse modalità di trasporto e ai differenti percorsi possibili.

Un modello di domanda di mobilità è incentrato su una descrizione matematica che permette di relazionare un sistema di attività e di offerta ottenendo il valore medio del flusso di domanda in un determinato periodo di riferimento. Il flusso di domanda rappresenta un'aggregazione di spostamenti individuali, dove ogni spostamento è il risultato ottenuto dalla scelta dell'utente basata sul servizio di trasporto, in cui chiaramente le scelte dell'utente sono dettate da diverse circostanze e da differenti necessità, pertanto i modelli matematici presenti in letteratura e utilizzati sono numerosi e differenti tra loro. In virtù della loro diversità è possibile classificare i modelli in base alla tipologia delle scelte, ai condizionamenti reciproci delle scelte, al livello di aggregazione delle variabili utilizzate e alle ipotesi di base effettuate sui modelli.

Considerando la classificazione basata sulla tipologia delle scelte, la distinzione è effettuata in relazione alle scelte e modelli di mobilità, ovvero la relazione è fondata su decisioni che influenzano indirettamente lo spostamento (in base al contesto e ai condizionamenti che il singolo individuo subisce dalle circostanze in cui vive), come la residenza in cui vive, il luogo di lavoro, il possesso di patente di guida e il possesso di automobile, circostanze che determinano scelte stabili nel tempo in quanto ogni variazione comporta una spesa elevata. Sempre nella classificazione di tipologie di scelte rientrano i modelli cosiddetti di viaggio, ovvero i modelli basati sulle caratteristiche del viaggio e sugli spostamenti che lo compongono, come la sequenza degli spostamenti che inizia e termina nel luogo di residenza, la frequenza dello spostamento, la scelta della destinazione nonché il modo di trasporto e il percorso da effettuare.

Nella classificazione basata sui reciproci condizionamenti delle decisioni fanno parte i modelli per la domanda di spostamenti, i modelli per la domanda di viaggi e i modelli di partecipazione alle attività. Nei modelli per la domanda di spostamenti si assume che le scelte relative ad ogni spostamento si effettuano indipendentemente dalle scelte degli altri spostamenti del medesimo viaggio o dagli altri viaggi (ipotesi approssimata accettata per i viaggi la cui domanda è caratterizzata da due spostamenti nel periodo considerato, ovvero viaggi ad anello, quali casa-destinazione-casa). Nei modelli per la domanda di viaggi l'utente sceglie contestualmente tutte le destinazioni che interessano l'intero viaggio, pertanto una destinazione intermedia sarà valutata sulla base delle zone di destinazioni precedenti e successive e il modo di trasporto sarà valutato in considerazione degli spostamenti complessivi da svolgere. Nei modelli di partecipazione alle attività si simula la domanda di mobilità in relazione alla necessità dell'utente di partecipare alle diverse attività nei differenti luoghi; in tali modelli si analizza le relazioni e i condizionamenti che si hanno tra i diversi viaggi di una persona all'interno di una giornata e più in generale si considerano i viaggi delle persone appartenenti a una stessa famiglia.

In relazione alla classificazione dei modelli di domanda sulla base dei livelli di aggregazione delle variabili utilizzate, i modelli possono essere aggregati o disaggregati. I modelli aggregati sono riferiti a un aggregato di utenti o al singolo utente (considerando i tempi e i costi degli spostamenti che avvengono fra i punti di due zone di traffico, il numero di auto in possesso dal nucleo familiare). I modelli disaggregati sono considerati tali in quanto alcune variabili presentano un grado di aggregazione più o meno elevata (il grado di aggregazione delle variabili dipende dallo scopo del modello della domanda).

La classificazione in relazione alle ipotesi di base permettono una distinzione in modelli comportamentali e modelli non comportamentali. I modelli comportamentali sono la conseguenza di esplicite ipotesi sul comportamento di scelta degli utenti, mentre i modelli non comportamentali rappresentano le relazioni fra la domanda e le variabili del sistema (di attività e di offerta) senza ipotesi sui comportamenti degli utenti.

L'indagine è possibile condurla dopo aver definito le condizioni e i vincoli del problema considerato, partendo dall'oggetto dello spostamento e dai decisori individuati. In particolare le condizioni rappresentano le risposte e la distribuzione di queste, le quali si ricercano in modo piuttosto uniforme all'interno del range di distanze considerato per la calibrazione; i vincoli, introdotti nei modelli di domanda, delineano le distanze degli

spostamenti, imponendo i limiti di massimo e di minimo. Inoltre successivamente è necessario determinare le condizioni e i vincoli relativi agli spostamenti che si intende studiare e modellizzare. È evidente che le segmentazioni della domanda in base alle caratteristiche dell'utente, è possibile effettuarle in funzione delle statistiche disponibili (in genere le statistiche utilizzate sono prodotti ufficialmente dall'ISTAT, dai report dei piani regionali o più in generale dal Piano Generale dei Trasporti). Inoltre per la definizione dell'indagine un ulteriore elemento determinante è la chiarificazione delle specifiche funzionali dei modelli che si intendere sviluppare, definendo in tal modo se il modello sarà utilizzato ai fini descrittivi, valutandone in tal modo i pesi e i valori di reciproca sostituzione degli attributi, o invece se il modello sarà utilizzato in un contesto previsionale.

## 2.6. L'offerta di mobilità

L'offerta di mobilità è rappresentata dal servizio offerto dalle diverse aziende operanti nel settore del trasporto pubblico. Tali aziende consentono lo spostamento degli utenti sul territorio, garantendo un livello di servizio minimo definito in specifici documenti redatti dagli enti preposti.

I modelli di offerta di mobilità sono caratterizzati dalla simulazione delle prestazioni e dei flussi derivanti dalla domanda degli spostamenti degli utenti e dalle caratteristiche tecniche intrinseche del sistema stesso. In particolare i modelli di offerta simulano i servizi per gli utenti e le prestazioni delle infrastrutture, nonché gli impatti esterni, utilizzando i risultati della teoria del deflusso.

Per determinare una efficiente offerta di mobilità, garantendone i servizi minimi, è necessario partire da una ristrutturazione della rete di offerta e dalla individuazione di un sistema integrato. Naturalmente nella progettazione di un sistema integrato le componenti da analizzare sono quelle di esercizio, di tipo fisico e quelle tariffarie. In particolare le componenti di esercizio prevedono una adeguata progettazione degli elementi della rete dei servizi, ovvero itinerari, orari e turnazioni in relazione alla capacità dei mezzi; le componenti di tipo fisico consistono nell'individuazione di nodi di interscambio, al fine di garantire all'utente un minor tempo di attesa e l'integrazione tariffaria prevede la determinazione di un piano tariffario, che permette la ripartizione delle entrate tra le aziende consorziate per la gestione del servizio.

### 2.6.1. Modelli per la progettazione delle reti di trasporto pubblico

I modelli per la progettazione di rete presenti in letteratura sono raggruppabili in base alle variabili di progetto, agli obiettivi (aziendali e sociali) e ai vincoli di progetto (tecnici, flussi, domanda, costi).

Le variabili di progetto sono suddivise in variabili strategiche e variabili tattico-operative, in particolare le prime riguardano l'individuazione dei nodi di interscambio e dei terminali e il dimensionamento della flotta, le seconde sono relative agli itinerari da seguire, alle frequenze del servizio per ogni itinerario, agli orari del servizio e alla turnazione del personale e dei veicoli basata su modelli della ricerca operativa.

Nella progettazione di una rete di trasporto pubblico è importante individuare i principali protagonisti: da un lato vi è il gestore dell'azienda, il cui obiettivo principale è massimizzare l'efficienza in termini di costi e l'efficacia in termini di livello di servizio; dall'altro lato vi sono gli utenti utilizzatori del servizio, che basano le proprie decisioni sulle informazioni dei viaggi precedenti e sulle informazioni che l'azienda fornisce.

Un'ulteriore classificazione dei modelli matematici per la progettazione delle reti può essere basata sulla risoluzione dello stesso, distinguendo in tal modo i modelli di simulazione e i modelli di ottimizzazione, in virtù dell'interazione tra le strategie del gestore e dell'utente. I modelli di simulazione effettuano la modellizzazione su entrambe le strategie (del gestore e dell'utente) determinando una soluzione approssimata della loro interazione che, conseguentemente, produce un progetto di massima basato sull'esperienza, le cui soluzioni sono successivamente analizzate da un modello e infine valutate. In pratica il modello matematico di simulazione è una relazione che permette di mettere in relazione il fenomeno da analizzare con le quantità da cui si immagina esso dipende, cercando di riprodurre (simulare) la realtà.

Nei modelli di ottimizzazione si procede semplificando almeno una delle due strategie determinando una soluzione esatta della loro interazione, in particolare le soluzioni derivanti dal modello sono analizzate attraverso un procedimento iterativo. In particolare la determinazione delle soluzioni proveniente da un problema di ottimizzazione può essere di due tipologie, ovvero modelli analitici e modelli su rete. I modelli analitici sono dei modelli caratterizzati da schematizzazioni sia della rete sia del comportamento degli utenti; i modelli su rete permettono l'ottimizzazione di alcune componenti di esercizio, come la frequenza, gli orari, l'itinerario, il dimensionamento dei veicoli, attraverso l'utilizzo dei grafi e di algoritmi di esercizio.



I modelli di offerta di trasporto e i relativi algoritmi rappresentano uno strumento di elevata importanza per la modellizzazione di un sistema di trasporto. Nel modello si realizza una descrizione matematica semplificata dei fenomeni fisici provenienti dall'analisi e dalla progettazione di un dato sistema in esame. In generale un modello di offerta è definito seguendo le fasi di delimitazione dell'area di studio; la zonizzazione, la selezione degli elementi di offerta rilevanti; la costruzione del grafo; l'individuazione delle funzioni di prestazione e di costo e l'identificazione delle funzioni di impatto. Nelle prime tre fasi si definisce il sistema di offerta e nelle fasi successive ci si riferisce al tipo di sistema di trasporto: se si tratta di servizi continui o di servizi programmati, come treni o autobus.

La determinazione di un grafo di trasporto necessita la definizione delle fasi di spostamento e degli eventi che dipendono dal sistema fisico sul quale si intende procedere. Nell'analisi della costruzione del grafo di trasporto, un importante insieme di nodi è costituito dai nodi centroidi che rappresentano l'inizio e la fine degli spostamenti della zona in esame. Il centroide di zona è in generale un nodo fittizio al quale corrisponde un insieme di punti interni alla zona nel quale inizia o termina uno spostamento e conseguentemente si posiziona in modo da essere baricentrico rispetto a tali punti o alle variabili non direttamente misurabili (proxy) considerate. I centroidi di cordone rappresentano i luoghi in cui entrano o escono gli spostamenti dall'area di studio, che solo in parte si svolgono all'interno dell'area oggetto di analisi.

Un grafo è costituito da archi, che individuano gli spostamenti, che possono essere distinti in archi reali e archi connettori. Gli archi reali sono delle fasi dello spostamento effettuato su componenti fisiche (servizi o infrastrutture), come il viaggio effettuato tra due fermate consecutive. Gli archi connettori rappresentano la fase dello spostamento effettuato tra un centroide di zona e un elemento fisico della rete. In realtà un grafo di trasporto rappresenta il sistema che si intende analizzare e pertanto presenterà diversi livelli di dettaglio a seconda di ciò che si sta studiando.

I sistemi di trasporto con servizio discreto riguardano quei sistemi il cui accesso è possibile solo in alcuni punti e in determinati istanti.

Un servizio di linea è un insieme di corse che hanno in comune gli stessi terminali, le stesse fermate intermedie e le stesse caratteristiche di prestazione, pertanto in un grafo di linea i nodi rappresentano le fermate. In particolare i nodi di accesso rappresentano l'arrivo dell'utente alla fermata, i nodi di fermata delineano la salita a bordo di un veicolo e i modi di linea raffigurano le partenze e gli arrivi dei veicoli di una

determinata linea. Le fasi di uno spostamento sono rappresentate da archi: spostamento tra nodi di accesso, attesa a una fermata, la salita e la discesa di una certa linea, lo spostamento tra due fermate e la sosta del veicolo alla fermata. Pertanto un sistema di trasporto collettivo può essere descritto attraverso la combinazione di grafi, ovvero combinando un grafo di linea e un grafo di accesso, in cui in particolare gli archi di accesso possono rappresentare diversi modi di accesso in base a ciò che è necessario modellizzare.

### 2.6.2. Modelli di utilità aleatoria

Gli spostamenti che quotidianamente si effettuano sono il frutto di numerose scelte realizzate dagli utenti sul servizio di trasporto, scelte di svariata natura e legate alle esigenze di ogni singola persona. Ciascun contesto di scelta, definito come alternative disponibili indica la dimensione di scelta, ovvero in ambito di trasporto riguarda le alternative discrete a disposizione. In letteratura vi sono dei modelli matematici utilizzati per simulare la domanda di trasporto al fine di ottenere dei modelli comportamentali, utili a definire i comportamenti di scelta degli utenti, definiti come modelli di utilità aleatoria.

I modelli di utilità aleatoria sono basati sull'ipotesi che ogni utente sia un decisore razionale, ovvero sia un utente che massimizza l'utilità relativa alle proprie scelte, pertanto le ipotesi su cui i modelli si basano sono che l'utente nell'effettuare la scelta considera le alternative disponibili (le quali costituiscono l'insieme di scelta, che può essere un insieme differente per i diversi utenti). Il decisore assocerà a ogni alternativa un'utilità, in modo da poter scegliere l'alternativa che la massimizza. Naturalmente ogni alternativa dipende da una serie di caratteristiche misurabili (attributi), che permettono di valutare l'alternativa e confrontarla con quelle disponibili. È evidente che nel momento in cui si effettuano delle analisi, l'analista non è in grado di conoscere con certezza l'utilità associata dal generico decisore all'alternativa, pertanto è necessario prevedere una variabile aleatoria nella fase di simulazione del comportamento. L'utilità percepita può essere considerata come la somma di un'utilità sistematica e un residuo aleatorio, dove l'utilità sistematica è la media dell'utilità riconosciuta da tutti gli utenti aventi le medesime esigenze e il residuo aleatorio è lo scostamento dell'utilità percepita dall'utilità sistematica.

## 2.7. Modelli di ottimizzazione del servizio di trasporto pubblico locale

Tutti i giorni, analizzando le attività che svolgiamo è possibile osservare come l'idea di ottimizzare è un aspetto intrinseco nei comportamenti di ognuno, in cui si cerca di ottenere il miglior risultato con il minimo sforzo o sfruttare al meglio le risorse impiegate nello svolgere un dato compito. Nella formulazione dei problemi di ottimizzazione, si richiede infatti di individuare una o tutte le soluzioni che risultano ottimali rispetto al criterio di valutazione delle soluzioni ammissibili per una specifica richiesta del problema. Naturalmente la costruzione di un modello matematico come astrazione di un problema reale è un processo articolato e difficilmente sistematizzabile e gli elementi che ne permettono la definizione sono le variabili, le funzioni obiettivo e i vincoli. In particolare le variabili di un modello rappresentano gli elementi del sistema in cui opera; la funzione obiettivo definisce il criterio di scelta tra le possibili soluzioni del problema, ovvero è lo strumento che permette di ottenere le soluzioni richieste (ossia quelle che minimizzano o massimizzano il "profitto") all'interno dell'insieme delle soluzioni ammissibili. L'insieme delle soluzioni ammissibili rappresenta l'insieme in cui va ricercata la soluzione che rende minima o massima la funzione obiettivo, al fine di evitare quei punti in cui sono definite le variabili ma non risultano utili al problema. Tale insieme è definito attraverso l'utilizzo di vincoli che delimitano e delineano l'insieme entro cui è possibile risolvere il problema.

Tra i problemi di ottimizzazione presenti in letteratura e utilizzabili nell'ambito del trasporto pubblico, è possibile effettuare una classificazione tra i modelli di localizzazione continua, effettuata in considerazione dell'intero spazio, e i modelli di localizzazione discreta, che lavorano attraverso l'utilizzo di un set di nodi candidati.

I principali modelli utilizzati per la localizzazione delle fermate per il trasporto pubblico locale sono i modelli di ottimizzazione di Shoebel e i modelli di set covering. Nella trattazione di tali modelli risulta evidente che nell'analizzare le problematiche, i modelli presentano una difficile risoluzione analitica del problema (modelli NP-hard) oltre ad essere modelli che non permettono di considerare molte criticità presenti sul territorio, in quanto come esposto precedentemente, risulta complesso o quasi impossibile tradurre in astrazione matematica aspetti intrinseci sia del territorio analizzato sia aspetti propri della valutazione nella localizzazione delle fermate nel trasporto pubblico locale. Un criterio valido atto a considerare le tante criticità presenti nel problema della localizzazione delle fermate è la possibilità di utilizzare un metodo multicriterio

attraverso l'utilizzo dei GIS. Di seguito sono descritti in dettaglio i principali modelli utilizzati in letteratura.

### 2.7.1. Approccio di ottimizzazione continua

In letteratura uno dei più grandi contributi sui modelli continui è fornito dal lavoro di Wirasinghe e Ghoneim [5], basato sull'ottimizzazione della localizzazione delle fermate. Tale lavoro è svolto con l'obiettivo di utilizzare una funzione basata sul costo totale, composto dal tempo di salita e discesa, dal tempo di percorrenza di una corsa e dal tempo di funzionamento lungo il percorso di transito. Gli autori identificano tre componenti principali che influiscono sulla localizzazione delle fermate: il raggiungimento delle fermate da parte degli utenti, la corsa e il funzionamento e inoltre approssimano la domanda come funzione di distanza  $x$  lungo il percorso, con domanda discontinua solo nelle maggiori intersezioni e nelle stazioni. *Se  $x$  è la localizzazione lungo il percorso, la condizione ottimale in prossimità di  $x$  per il vantaggio è dato da  $s_x$ , che rappresenta la posizione della fermata in prossimità di  $x$ , calcolata come riportato di seguito:*

$$s_x^* = 2 \sqrt{\frac{\phi(x)C(x)\gamma_r + \gamma_b\phi(x)}{\gamma_w P}} \quad [1]$$

*Dove*

$\Phi(x)$  = ritardo dovuto alla fermata

$C(x)$  = Domanda complessiva in  $x$  (sia di salita sia di discesa)

$\gamma_r$  = Costo unitario di una corsa

$\gamma_b$  = Costo unitario di funzionamento

$\gamma_w$  = Costo unitario a piedi

$P$  = Domanda totale

Il posizionamento della fermata deriva dalla considerazione che gli utenti minimizzano il tempo della camminata a piedi rispetto al tempo totale del viaggio che include sia il

percorso a piedi da effettuare sia il tempo della corsa. Questa assunzione porta al risultato che la pensilina dovrà essere posizionata a metà strada tra due fermate.

Tale argomentazione è stata ulteriormente affrontata da Furth e Rahbee.

Un ulteriore studio è stato portato avanti da Van Nes, R. and P.H.L. Bovy [4] in cui si assume che il tempo impiegato alla fermata è costante, indipendentemente dal numero di fermate presenti, in modo da rendere indipendente la domanda.

### 2.7.2. Approccio di ottimizzazione discreta

Il più grande contributo riguardante l'analisi discreta per il problema di localizzazione delle fermate è fornito dal lavoro svolto da Furth e Rahbee [1]. Nel loro lavoro si fa riferimento all'analisi discreta per modellare l'impatto del cambiamento dello spazio delle fermate degli autobus sul costo totale, quest'ultimo determinato sulla base del tempo di cammino a piedi effettuato parallelamente alla linea di transito, del tempo di percorrenza, considerando le salite e discese, e del tempo dell'operatività che è fornito dal ritardo accumulato alle fermate in relazione alla componente stocastica. Per una corsa data, le fermate candidate vengono assunte come posizionate ad ogni intersezione, considerando inizio e fine corsa fissi. A differenza dei modelli continui, la domanda è variabile lungo tutto il percorso come per i saliti e i discesi ad ogni fermata. La domanda per la fermata è gestita da entrambi i lati della carreggiata con appropriati attraversamenti per le vie trasversali. La mancanza di dati geografici contribuisce a una valutazione visiva dell'intensità della domanda lungo ogni blocco. La domanda richiesta lungo la strada principale o le arterie parallele è considerata come domanda distribuita mentre per quanto riguarda la domanda proveniente dalle arterie trasversali è considerata come domanda concentrata. Una considerazione omessa dalla formulazione è la distanza perpendicolare alla strada principale da percorrere a piedi, come se la decisione dello spazio di fermata potrebbe essere considerato indipendente da questo effetto sull'assunzione di una rete a griglia rettilinea. Questa è uno dei punti critici della formulazione, in quanto ignora la complessità della rete stradale e le eventuali curve, utilizzando una linea rettilinea piuttosto che una rete stradale reale e, allo stesso tempo, usando i blocchi invece che i centri di domanda. Le intuizioni adottate da Furth e Rahbee furono considerevoli come la sensibilità di variazione della domanda lungo il percorso, la localizzazione della fermata calcolata sulla base della somma pesata del tempo di camminata e del tempo della corsa, l'inclusione nell'analisi della

localizzazione della fermata del tempo di cammino a piedi lungo la linea di transito, l'impatto del tragitto percorso a piedi basato su un modello geografico, la componente stocastica del ritardo dovuta alla fermata e la ricerca di uno spazio adeguato per ogni fermata.

### 2.7.3. Set Covering Approach

Il problema di set covering (copertura d'insieme), nella sua accezione più generale, viene utilizzato in matematica per comparare due o più insiemi al fine di trovare un insieme che rappresenterà tutti con il minimo numero di membri. La complessità di tale problema lo colloca nella categoria dei problemi di tipo NP-Hard, essendo rappresentativo della ricerca del caso peggiore in termini di tempo di percorrenza. Gli algoritmi utilizzati per la soluzione del problema di set covering, propongono la risoluzione attraverso un insieme finito in un ragionevole arco temporale. Nell'applicazione di tale problema nell'ambito del trasporto pubblico significa trovare il minor numero di punti o di centroidi di area che possono essere serviti dalla rispettiva fermata vicina. Tale approccio non è tuttavia preferibile, principalmente a causa della complessità esponenziale del tempo di percorrenza. È possibile comunque formulare il problema di set covering sia in analisi discrete sia in analisi continue, studiate da ricercatori principalmente in Europa per trovare una localizzazione ottimale delle fermate lungo le linee del trasporto pubblico. Tale procedure sono state utilizzate sia nella valutazione di nuove linee sia nella valutazione di quelle esistenti. Nell'utilizzo di questi metodi è possibile utilizzare sia la teoria dei grafi e delle matrici sia la teoria dell'ottimizzazione attraverso la formulazione degli algoritmi. L'obiettivo di tale metodo è di minimizzare il tempo impiegato per coprire completamente l'insieme dei centri di domanda congiuntamente alla riduzione del costo dell'operazione. Il più grande contributo a riguardo è stato fornito da Schobel et. al. [2],[3] in cui nell'affrontare il problema della localizzazione delle fermate continue nel trasporto pubblico, noto come "*complete stop location*" (CSL), l'obiettivo principale è di incrementare l'accesso in una linea di transito esistente, in cui per il modello di accesso i centri di domanda sono gli insediamenti. Il modello sul tempo di viaggio determina il tempo risparmiato in seguito all'aggiunta di una fermata, considerando diverse modalità di accesso su una funzione lineare a tratti. Il ritardo percepito da ogni passeggero a ogni fermata è considerato come unità se e quando la fermata è inserita nell'insieme corrente.

Il ritardo dovuto alla fermata non è dato da alcuna considerazione stocastica, pertanto l'obiettivo è di massimizzare il tempo risparmiato ai centri di domanda minimizzando il ritardo grazie all'aggiunta di una nuova fermata. Se l'aggiunta di una fermata comporta un bilancio positivo, allora ne verrà previsto l'inserimento, considerando la domanda fissa e il costo di una nuova pensilina trascurabile. Naturalmente la distanza tra le fermate e i punti di domanda è basata sull'applicazione euclidea, con un raggio massimo prescritto. Tale problema è conosciuto come NP-Complete, in cui vi è la possibilità di non ottenere soluzioni.

### 2.7.3.1. Modelli di localizzazione p-median e p-centro

Nelle problematiche inerenti alla pianificazione e alla gestione delle reti di servizio particolare rilievo è costituito dai modelli e algoritmi di localizzazione su reti, il cui obiettivo è basato sulla localizzazione dei centri di servizio su una rete al fine di soddisfare la domanda da parte degli utenti che usufruiscono della rete stessa. La localizzazione di un servizio in un dato punto, evidentemente modifica l'assetto della domanda circostante e naturalmente come conseguenza implica una maggiore qualità degli altri centri di servizio dislocati sulla rete. Pertanto questi modelli definiscono dei risultati di localizzazione caratterizzati da un'omogeneità sull'area interessata, risultando più efficaci rispetto ai metodi che definiscono le localizzazioni singolarmente.

I principali modelli classici di localizzazione sono p-mediana e p-centro, dove i modelli p-mediana permettono di individuare la posizione di un numero di servizi con l'obiettivo di minimizzare la media della distanza tra i punti di domanda e il servizio più vicino; i modelli di p-centro consentono di minimizzare la massima distanza di un utente dal più vicino punto di servizio. Tali modelli sono stati inizialmente analizzati con gli studi di Hakimi negli anni '60, e successivamente elaborati secondo i differenti campi di applicazione, determinandone una nuova generazione di modelli. Nei modelli classici di localizzazione, la domanda di servizio da parte degli utenti è pensata come se avesse origine sui nodi della rete e presumendo che la domanda sia la motivazione dello spostamento sulla rete; pertanto attraverso tali modelli si intende stabilire la localizzazione dei centri di servizio al fine di ottimizzare una funzione obiettivo in relazione alla distanza che gli utenti devono percorrere per usufruire del servizio. Inoltre per poter usufruire del servizio, gli utenti sono costretti a muoversi verso il punto in cui tale servizio è fornito e il costo di tale spostamento rappresenta il costo che l'utente

paga per usufruire del servizio stesso. Attraverso tali modelli è possibile localizzare un numero stabilito di centri di servizio in modo da minimizzare il costo complessivo, in cui in particolare con i modelli p-mediana è minimizzata la somma dei costi totali di spostamento. Inoltre i centri di servizio possono essere localizzati sui nodi di una rete determinandone un problema di vertice, oppure in un punto qualsiasi degli archi e dei nodi determinando un problema assoluto. Analizzando in dettaglio i modelli si ha un grafo bipartito completo  $G = (C; I; E)$  in cui  $C$  rappresenta l'insieme dei clienti da servire ( $|C|=n$ ) e  $I$  l'insieme dei nodi del grafo dove è possibile localizzare i centri di servizio ( $|I|=m$ ). Ogni arco  $(i;j)$  è caratterizzato da un peso  $c_{ij}$ , che corrisponde al costo da pagare se il cliente  $j$  è servito dal centro  $i$ . Nella definizione del modello matematico è necessario considerare le variabili binarie  $x_i \forall i \in I$  e  $y_{ij} \forall i \in I$  e  $j \in C$  tale che se  $x_i$  vale 1 il centro di servizio  $i$  è attivo mentre se vale 0 non lo è, mentre se  $y_{ij}$  vale 1 il cliente è servito dal centro di servizio, se vale 0 non è servito.

Nel modello di localizzazione p-mediana la formulazione segue le seguenti espressioni:

$$\min \sum_{i \in I} \sum_{j \in C} c_{ij} y_{ij} \quad (1)$$

$$\sum_{i \in I} x_i = p \quad (2)$$

$$\sum_{i \in I} y_{ij} = 1 \quad \forall j \in C \quad (3)$$

$$y_{ij} \leq x_i \quad \forall i \in I \quad \forall j \in C \quad (4)$$

$$x_i \in \{0,1\} \quad \forall i \in I \quad (5)$$

$$y_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I \quad \forall j \in C \quad (6)$$

Nell'espressione iniziale del modello si richiede la minimizzazione dei costi totali di servizio e con il successivo vincolo (espressione 2) si impone l'apertura di  $p$  centri di servizio. Nell'espressione 3, si impone che ogni utente sia servito da un solo centro di servizio pertanto con il successivo vincolo si richiede il legame tra le due variabili assicurando che un utente sia servito da un centro di servizio solo nel caso in cui quest'ultimo sia aperto, conseguentemente se  $x_i=0$  allora le variabili  $y_{ij}$  devono necessariamente assumere 0 per ogni  $j \in C$ . Da qui emerge che ogni utente  $j$  può essere servito da un unico centro di servizio, ovvero dal centro a cui è associato il costo  $c_{ij}$  minimo. È evidente che definito il sottoinsieme  $X \subseteq I$  in cui localizzare i centri, la relazione tra gli utenti e l'insieme degli impianti avviene risolvendo il problema



$$\text{minimize } \sum_{i \in I} \sum_{j \in C} c_{ij} y_{ij} \quad (7)$$

In cui la soluzione ottima è riscontrata risolvendo separatamente i problemi singoli relativi ad ogni utente.

Per quanto riguarda il modello di localizzazione p-centro, il cui obiettivo risulta più adatto a considerare le esigenze degli utenti, esaminando la situazione dell'utente più sfortunato, è basato sulla localizzazione di p centri di servizio (nodi) sul territorio interessato, al fine di minimizzare la massima distanza, e conseguentemente il tempo di spostamento, di un utente dal nodo stesso. Tale modello può essere schematizzato su un grafo orientato, non orientato o misto e differisce dal modello p-mediana nella relazione obiettivo iniziale, essendo in questo caso  $\text{minimize } \max \sum_{i \in I} \sum_{j \in C} c_{ij} y_{ij}$ . In particolare il problema p-centro, utilizzato maggiormente per la localizzazione di servizi pubblici, nella previsione di più centri di servizio da attivare ( $p \geq 2$ ) è un tipo di problema NP-hard (difficile), l'unico caso in cui è possibile svolgere tale problema è nel considerare l'attivazione di un unico centro ( $p=1$ ) per il quale è noto un algoritmo di complessità polinomiale. Nel caso in cui il grafo è orientato, per la proprietà di localizzazione su vertice, la localizzazione di un centro risulta di facile risoluzione, in quanto la localizzazione ottimale risulterà corrispondente a un nodo del grafo e pertanto è necessario risolvere in maniera ripetuta l'algoritmo di Dijkstra per la ricerca di cammini di costo minimo in un grafo. Nel caso in cui il grafo è non orientato, la localizzazione di un centro potrebbe trovarsi all'interno di un arco e pertanto la procedura di risoluzione è affidato allo svolgimento dell'algoritmo di Hakimi. Tale algoritmo prosegue in maniera iterativa ottenendo la localizzazione del centro confrontando il costo che si avrebbe localizzando tale centro su ciascun arco del grafo, ovvero è ipotizzata la localizzazione del centro su un generico arco, lungo il quale è scelta la localizzazione che minimizza il costo di raggiungimento del nodo più distante. Infine comparando il costo associato alla localizzazione su ciascun arco, si determina quello minimo.

È evidente, come già esposto prima, che tali modelli non possono essere utilizzati nei casi in cui è prevista la localizzazione di più centri, in quanto la risoluzione è riconducibile ai casi NP-hard. Inoltre nel caso in esame non si affronta il problema della riallocazione delle fermate considerando un singolo parametro e la singola fermata, bensì si analizza l'intera linea gestendo un insieme di parametri e aspetti intrinseci del territorio e della gestione della linea stessa, nonché dell'interazione della linea in esame con le altre linee esistenti, operanti nel sistema di trasporto pubblico locale.

## Capitolo Terzo

### *Stato dell'arte dei Decision Support System (DSS)*

#### *Analisi della rete di trasporto locale*

##### 3.1. Generalità

I Decision Support System sono degli strumenti informatici atti a sostenere l'utente nelle decisioni. Tali strumenti al fine di aiutare nella fase di scelta l'utente, utilizzano dati e modelli matematici per analizzare le informazioni presenti nel database e fornire in tal modo un quadro generale del problema e allo stesso tempo informazioni di dettaglio sul problema analizzato, senza sostituirsi al decisore. La decisione, effettuata in maniera razionale, rappresenta così una scelta tra molteplici alternative che il sistema prospetta ai decisori, pertanto l'intero processo decisionale fa parte della tematica del problem solving. Naturalmente l'utilizzo di questi strumenti è legato al crescente utilizzo del computer in diversi settori, nonché dell'utilizzo di sistemi di database di grande dimensioni in cui sono archiviate e organizzate dati utili alla gestione di una data tematica.

I primi sistemi ad essere introdotti dagli anni 50 furono i *Transaction Processing Systems (TPS)*, strumenti utili per la gestione delle attività aziendali le quali si svolgevano con ripetizione ai livelli più bassi dell'organizzazione, raccogliendo una grande mole di dati in tempi ristretti e ovviamente con costi ridotti. Successivamente, lo sviluppo tecnologico comportò una crescita, cosicché vennero introdotti i *Management Information Systems (MIS)*, strumenti utili nella gestione aziendale ai livelli più alti. Un elemento particolare, che contraddistingueva tali strumenti, era rappresentato dalla capacità fornire periodicamente dei report, predefiniti e standardizzati, i quali se da un lato favorivano il gestore fornendo informazioni estratte in maniera appropriata e secondo aggregazioni prestabiliti, dall'altro presentavano dei limiti, in quanto fornivano poche informazioni utili sull'attività di pianificazione e controllo e in molti casi elidevano le informazioni che l'utente aveva necessità di conoscere per migliorare la gestione aziendale. Fu così che si cercò di adottare un approccio differente, ovvero di individuare gli strumenti utili per l'utente al fine di utilizzare le informazioni, provenienti da dati specifici formanti un quadro di insieme, necessarie nel processo decisionale. Si individuò così la necessità di creare un nuovo database che separatamente dal database aziendale ne gestisse i dati presenti in quest'ultimo e ne

estrasse le informazioni ricavate dall'analisi critica dei diversi dati provenienti dai vari settori e livelli. Nacquero così i Decision Support System, un sistema software di supporto alle decisioni, atto ad analizzare i dati a disposizione sul database, estraendone in breve tempo le informazioni utili per l'utente decisore, sia in fase operativa sia nelle decisioni strategiche a lungo termine.

Dagli anni '70 a oggi si susseguirono varie definizioni per i DSS, ma oggi tale strumento è un sistema informativo intelligente, che aiuta l'utente a prendere decisioni senza sostituirsi ad esso, aventi le seguenti caratteristiche: facilità di uso alla portata di tutti gli utenti, flessibilità nel lavorare in un ambiente interattivo ed efficace nell'utilizzo di modelli e analisi dei dati.

La divulgazione di tale strumento non fu legata solo al settore aziendale, ma vide larga applicazione in diversi settori, in quanto l'elemento comune nei diversi ambiti fu la necessità di archiviare e analizzare una grande mole di dati, dai quali era ed è possibile ottenere informazioni di sintesi che consentono di valutare un fenomeno, scoprire correlazioni significative e acquisire conoscenze utili, per individuare i punti di criticità che ogni singolo problema presenta, e necessarie per compiere decisioni strategiche.

I campi di applicazione di tali software sono svariati, larga diffusione è presente in ambito aziendale, ma anche nel settore commerciale (per l'analisi delle vendite, quindi il controllo delle spedizioni e degli inventari, la gestione dei clienti, delle richieste e dei reclami effettuate da quest'ultimi), nel settore manifatturiero (per il controllo dei costi di produzione, gestione delle merci, dei fornitori e degli ordini), nel settore finanziario (per analizzare i rischi, gestire l'utilizzo dei prodotti finanziari, delle carte di credito e dei loro canali, nonché per il rilevamento delle frodi), nel settore delle telecomunicazioni (per la gestione del flusso di chiamata e del profilo dei clienti), in ambito sanitario (per l'analisi e la gestione dei ricoveri e delle dimissioni e per la contabilità dei costi), nel settore dei trasporti (per la gestione dei parcheggi dei mezzi, la gestione dei carichi, la distribuzione dei servizi).

### 3.2. Componenti di un DSS

Le componenti principali di un DSS sono la base di dati, la base di modelli, il sistema di software, il data warehouse, il data mining, le query, l'OLAP (On-line Analytical Processing) e il knowledge. Di seguito analizziamo in dettaglio ogni componente.

## **La base di dati**

La base di dati è il componente che possiede i dati e le informazioni che interessano il decisore, indipendentemente dalle basi di dati gestionali e integrata con informazioni esterne.

## **La base di modelli**

La base di modelli è il componente che possiede le informazioni, ovvero i modelli o procedure, per risolvere i problemi dell'utente. Tale componente consente di organizzare e gestire i modelli al fine di utilizzare il processo dei dati.

## **Il sistema di software**

Il sistema di software è il componente che prevede la ripartizione in tre componenti: il DBMS (DataBase Management Software), il MBMS (Model Base Management Software), il DGMS (Dialogue Generation Management Software).

Il DBMS è un software che consente un'organizzazione dei dati, memorizzarli, modificarli, gestirli permettendo una interrogazione semplice della base dati. Il MBMS è un software che facilita la memorizzazione, la modifica e l'uso di modelli e differentemente dal DBMS seguono approcci diversi, non gestendo i dati ma le procedure. Il DGMS è il software che determina l'interfaccia utente, definendone l'interazione con le operazioni che l'utente richiede. È un software che permette all'utente di utilizzare il DSS e pertanto determina le comunicazioni che possono avvenire tra l'uomo e sistema.

## **Il data warehouse**

Il data warehouse è un database che contiene dati utili ai processi decisionali ma è separato dal database operativo. Quest'ultimo database è aggiornato costantemente perché deve visualizzare il momento corrente mentre il data warehouse ha il compito di memorizzare solo alcune informazioni dell'attività di gestione, in tal modo conterrà solo informazioni relative all'aggregazione di dati particolari utili alle attività richieste. Nel data warehouse i dati memorizzati sono una grande mole ed è necessario, al fine di analizzare i dati correttamente, memorizzare tutte le informazioni utili e connesse con i dati esaminati.

## **Il data mining**

Il data mining è un processo che permette di analizzare un insieme di dati, generalmente una grande dimensione, permettendo di trovare informazioni in un database in considerazione di diverse classificazioni: sottogruppi omogenei (clustering), vari dati (association), analisi di serie storiche (sequencing), dati previsionali (forecasting). Le principali tecniche che utilizza il data mining sono le reti neurali, gli algoritmi di clustering e gli algoritmi genetici.

## **La query**

La query è un processo di esame, che interroga i dati presenti nel database attraverso specifiche istruzioni dei dati che sono in analisi. Tale procedimento non ha valenza decisionale ma consente una rapida analisi delle informazioni necessarie.

## **L'OLAP (On-line Analytical Processing)**

La componente OLAP è un sistema software che consente di analizzare i dati in tempo reale, da differenti punti di vista (determinazione di un'analisi multidimensionale) e a diversi livelli di aggregazione (roll up) e disaggregazione (drill down). L'utente avendo la possibilità di muoversi sui diversi livelli di gerarchia ha la possibilità di analizzare in dettaglio l'informazione e allo stesso tempo avere un'analisi di insieme della problematica analizzata.

## **Il Knowledge**

La componente Knowledge, o anche detta Knowledge management, è la componente che organizza le informazioni e i dati al fine di fornire la conoscenza e l'apprendimento continuo, ovvero aiuta a conoscere l'organizzazione dei dati.

### **3.3. Transportation – Decision Support System (T-DSS)**

Nell'ambito del trasporto pubblico locale, l'approccio ottimale si baserebbe sulla costruzione di un Sistema Informativo di Supporto alle Decisioni (DSS), in grado di costituire il riferimento per gli utilizzatori nella fase decisionale.

L'idea di applicazione dei DSS ai sistemi di trasporto nell'ambito urbano è stata considerata da diversi autori (Barcelo, Ulihead & Esquius, Hounq Soo & Dusan Teodorovic & Collura, Ortuzar ecc.) in molti studi.

J. Barcelo (1997) ha studiato l'applicazione di un DSS per la gestione dei sistemi di trasporto di Madrid utilizzando i modelli implementati in AIMSUN e GERTRAM (software integrati per la modellazione dei sistemi di trasporto). Gli autori A. Ulied & A. Esquius (Ulied et al. 2002) hanno preso in considerazione l'utilizzo di una piattaforma DSS per la gestione e il controllo dei trasporti a livello europeo. Alcuni studi considerano l'applicazione dei DSS per il controllo intelligente del traffico all'interno dell'area di studio del DSS. Ad esempio, Houng Y. Soo, Dusan Teodorovic, J. Collura (Soo ecc, 2002) ha presentato un sistema olistico di tipo DSS per la valutazione analitica delle preemption (pre-rilascio) dei sistemi di sicurezza integrati nei veicoli e dei sistemi di controllo delle priorità di transito.

L'analisi delle fonti di informazione ha dimostrato l'attuale esistenza di una grande varietà di DSS utilizzati nell'ambito dei sistemi di trasporto locale.

La funzione principale di un DSS è quella di estrarre nel minor tempo possibile e in maniera versatile le informazioni utili ai processi decisionali, provenienti da una rilevante quantità di dati. Il DSS è infatti supportato da una base di dati o di conoscenza, che aiuta l'utilizzatore a decidere in maniera ottimale; esso non è solo un'applicazione informatica, perché contiene anche strumenti di Business Intelligence e di tecnologie dei Sistemi Esperti, quali modelli di supporto decisionale e di ottimizzazione.

Il DSS rappresenta dunque uno strumento indispensabile per la valutazione ed il miglioramento degli effetti per gli utenti finali e per la qualità della circolazione. Gli obiettivi specifici che un DSS di questo tipo deve prefiggersi sono:

- l'individuazione di un insieme di possibili soluzioni per la localizzazione delle fermate e di instradamento dei mezzi al fine di ottenere una maggiore efficienza ed efficacia delle risorse impegnate ed una maggiore qualità del servizio offerto agli utenti e, per essi, all'intero sistema della mobilità cittadina;
- la possibilità di effettuare la validazione sulla pratica realizzabilità delle soluzioni ottenute dai modelli di ottimizzazione testandone gli effetti indotti mediante simulazione degli stessi;
- il confronto tra diverse soluzioni con lo scopo di individuare quello che, nel complesso, minimizzi la somma dei costi sostenuti per gli interventi con quelli dovuti alla diminuzione dei costi di gestione derivanti dall'ottimizzazione delle linee;
- fornire le indicazioni necessarie ad una allocazione ottima delle risorse.

Il DSS deve essere, dunque, uno strumento di supporto alle decisioni per l'ottimizzazione del trasporto pubblico locale sia a livello tattico sia a livello operativo, dovrà pertanto svolgere anche ulteriori funzioni:

- Analisi dello scenario esistente;
- Previsione della variazione dei costi connessi alla gestione del sistema al variare della configurazione delle linee in termini di fermate e percorsi alternativi sulla rete;
- Valutazione delle prestazioni in termini di livello di servizio fornite dalle linee al variare dei diversi scenari ipotizzati.

### 3.4. Architettura del DSS

Tra le tante architetture definite per determinare un DSS quella che maggiormente ha favorito lo sviluppo è presentata da Sprague e Carlson<sup>3</sup>. In sintesi, in relazione a quanto questi autori hanno affermato, un DSS ha tre livelli funzionali, corrispondenti a tre livelli tecnologici: un processo decisionale (livello alto), un generatore, ovvero una serie di moduli hardware e software con i quali può essere assemblato un DSS (livello intermedio) e una serie di componenti di base (hardware e software) che in base al modo in cui sono assemblati possono determinare uno specifico DSS o un generatore DSS.

Nella determinazione di un DSS, nel caso in cui il DSS definito non è in grado di soddisfare le esigenze richieste è necessario effettuare delle modifiche, da svolgere preferibilmente nel processo decisionale al fine di garantire un'implementazione rapida. In tal senso in relazione a quanto detto, il concetto di un generatore di DSS venne sviluppato e organizzato in modo tale da essere composto da 5 moduli software integrati<sup>4</sup>, aventi ognuno una specifica funzione per lo scambio dei dati. I moduli identificati furono: il gestore dei database, il gestore della base dei modelli, il generatore delle uscite grafiche, il generatore dei tabulati e l'interfaccia utenti. Naturalmente tale suddivisione è stata utile per gli sviluppatori di DSS, in quanto permette di operare in maniera tempestiva sull'eventuale problema mentre l'utente interagisce solo con l'interfaccia, considerando gli altri quattro moduli come unica entità. L'architettura così

---

<sup>3</sup> Sprague, R. H., and Carlson, E. D., *Building Effective Decision Support Systems*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1982.

<sup>4</sup> M.P. Armstrong, P.J. Densham, G. Rushton, *Architecture for microcomputer based decision support system*, Proceedings of 2<sup>nd</sup> International Symposium on Spatial Data Handling 1986

organizzata è quella maggiormente seguita, in quanto l'evoluzione tecnologica e i software disponibili rendono possibile la sua realizzazione.

È evidente che la definizione del ruolo e delle funzioni tipiche dei diversi componenti del sistema presuppone che quest'ultimo sia suddiviso in sottosistemi logici indipendenti, dei quali devono essere specificate le caratteristiche funzionali e individuati i criteri per la valutazione delle operazioni necessarie, criteri basati sull'analisi delle esigenze che il sistema deve soddisfare e sulla conoscenza dell'ambiente in cui si sviluppa.

### 3.4.1. I sistemi di supporto alle decisioni territoriali

L'applicazione dei sistemi di supporto alle decisioni con i dati di carattere territoriale necessita l'utilizzo di funzioni tipiche dei Sistemi Informativi Territoriali (SIT), pertanto si parla di Spatial DSS, ovvero di sistemi di supporto alle decisioni in ambito spaziale. È evidente che per poter utilizzare e gestire informazioni di tipo territoriale, con applicazione al settore dei trasporti è necessario combinare più strumenti come i DSS, i GIS e strumenti di telerilevamento, al fine di poter soddisfare le richieste degli operatori per analizzare il territorio interessato dal problema in esame.

L'architettura del sistema sarà organizzata in uno o più sistemi GIS, i quali sono in grado di gestire anche i dati alfanumerici connessi alle informazioni geografiche. È evidente che in alcuni casi, per la trattazione del problema, è necessario unire le funzioni svolte dal GIS con quelle appartenenti ai DSS, senza che le funzioni del primo interferiscano con il secondo e viceversa. Dall'unione di questi due strumenti ci si ritrova davanti all'utilizzo di un Geo-DSS, dove il problema da risolvere è quello di far interagire in maniera correlata i differenti ambienti, in modo da ottenere che i risultati delle fasi di navigazione e di elaborazione di uno dei due strumenti, si riflettano sull'altro per la successiva lavorazione. Per far sì che quanto detto sia possibile, è necessario che un Geo-DSS abbia cinque finestre fra di loro interagenti, tre per impostare le scelte e due per visualizzare i risultati<sup>5</sup>, aventi le funzioni di individuare l'area geografica da indagare (in base all'esigenza può contenere strumenti di analisi GIS con i vari livelli di indagine), selezionare gli elementi tematici da analizzare (garantendo la navigazione all'interno di basi di dati alfanumeriche aventi riferimenti territoriali), impostare i parametri dei modelli e simulazione di nuovi scenari (attraverso

---

<sup>5</sup> P.J.Densham, *Spatial decision support system, Geographical information systems* – pag.403,412 – Longman scientific & technical 1991



le tabelle what-if), visualizzare i risultati richiesti tramite le query o i modelli attraverso tabelle o grafici e visualizzare tali risultati attraverso carte tematiche.

### 3.4.2. Architettura dei Geo-DSS

Per capire bene l'utilizzo dei Geo-DSS è necessario effettuare lo studio della loro architettura, in quanto non solo è utile per chiarire come l'utilizzatore si interfaccia con tali strumenti, ma permette un utilizzo ottimale dello strumento. Le operazioni richieste dallo strumento prevedono un consistente investimento di risorse, dovute alla complessità dell'architettura dell'applicazione e della struttura dei dati. L'architettura di un Geo-DSS è organizzata in tre livelli logici: il livello di estrazione dei dati, il livello di gestione dei dati e il livello di presentazione ed elaborazione.

Il livello di estrazione dei dati, prevede un insieme di funzioni che estraendo i dati da determinati archivi, pre-elaborano il dato al fine di snellire le operazioni successive, creando archivi intermedi mantenuti in un server. In questo livello vengono svolte tutte le operazioni più pesanti e più lunghe (come le operazioni geografiche di inclusione e una prima sintesi dei dati). Naturalmente questi tipi di operazioni non hanno alcun impatto sui tempi di risposta rispetto alle interrogazioni degli utenti e pertanto vengono definite asincrone. In particolare in questa fase è possibile analizzare le informazioni presenti sia nelle banche dati numeriche sia le informazioni geografiche, permettendo di asportare dati da archivi monotematici (come ad esempio limiti amministrativi, dati di fonte ISTAT, misure di qualità), compiere una serie di pre-elaborazioni di carattere geografico (come ad esempio calcolare l'estensione di un dato territorio soggetto a dei vincoli) e memorizzare i dati sul server.

Il livello di gestione dei dati è il livello in cui è richiesta una funzione specifica che deve mantenere la coerenza tra gli archivi centrali e quelli in utilizzo dai Geo-DSS (dove in quest'ultime vengono riportate tutte le variazioni apportate sui dati, effettuate dallo strumento di lavoro). In particolare in questa fase si adattano le informazioni geografiche e alfanumeriche (ricavate dalla fase di estrazione) a una struttura di dati predefinita, si modificano le modalità di aggregazione dei dati e si predispongono strumenti di gestione dell'ambiente.

Il livello di presentazione e elaborazione è il livello in cui si ricevono i dati pre-elaborati necessari per l'analisi specifica. In questo fase sono implementate le funzioni che forniscono l'aggiornamento dei dati, lavorando così con le informazioni presenti nel database e "dialogando" con il server DSS per operare con i dati necessari per

l'indagine da seguire. In questo livello sono possibili due fasi: una di navigazione geografica e una di navigazione statistica. La navigazione geografica permette di analizzare le informazioni tramite carte con livelli di dettaglio crescente: visualizzazione della rete nazionale, visualizzazione della rete regionale e selezione di una stazione di misura prescelta e dell'area di riferimento relativa. In ogni carta vi saranno elementi attivi e passivi, gli elementi attivi (hotspot) possono essere aree, linee, punti che rappresentano elementi grafici identificabili con facilità dall'utente e selezionabili al fine di ottenere informazioni territoriali; gli elementi passivi (layer) sono gli strati di sfondo con cui l'utente può interagire. È chiaro che in una carta geografica vi possono essere numerosi layer e hotspot, ma un numero eccessivo di tali elementi determina la complessità delle mappe e più spazio di memoria per le operazioni necessarie al lavoro da effettuare.

La navigazione statistica consente di effettuare operazioni di funzioni di navigazione e funzioni di visualizzazione. Per quanto riguarda le funzioni di navigazione queste garantiscono all'utente l'interazione in modo diretto con i dati rappresentati sia in forma grafica sia in forma tabulare, selezionando una riga di una tabella o un elemento di un grafico, dando la possibilità di analizzare livelli di dettaglio crescenti. L'utente può pertanto, a ogni livello di dettaglio definire una riga di una tabella o un elemento di un grafico, proseguire nella navigazione o tornare a livello precedente.

### 3.5. Analisi dei modelli per i DSS

Uno dei componenti fondamentali dei DSS che garantisce all'utente una serie di strumenti con i quali poter formulare più ipotesi per ottenere una soluzione (semplice e rapida) ai possibili scenari è l'utilizzo di modelli. Naturalmente la struttura interna dei modelli, nonché la tipologia, è differente in base agli obiettivi che lo studio prefissa di raggiungere, pertanto è possibile individuare i modelli di simulazione, modelli di programmazione, modelli di pianificazione e modelli statistici. Per quanto riguarda i modelli di simulazione si possono avere tre tipi: fisici (che consentono di riprodurre in scala il sistema reale), analogici (che permettono di rappresentare il sistema in un altro ambiente che riproduce le stesse regole e condizioni del sistema originario), deterministici (con cui è simulata l'evoluzione temporale di un fenomeno). Per quanto riguarda i modelli di programmazione, si tratta di modelli che utilizzano tecniche di programmazione lineare, i modelli di pianificazione sono utilizzati per indicazioni di

massima e di tendenza, senza indicazioni sul livello di errore dei risultati, mentre per quanto riguarda i modelli statistici necessitano dell'utilizzo di serie storiche al fine di effettuare previsioni di evoluzioni. È chiaro che per la risoluzione di problemi è necessario combinare i vari tipi di modelli in funzione del problema da studiare.

### 3.5.1. Analisi dei modelli per il trasporto pubblico locale

Nella fase di pianificazione del trasporto pubblico locale le esigenze da considerare sono molteplici: dalle ragioni legate all'ambiente e al territorio in cui si va ad operare a ragioni economiche e sociali intrinseche del territorio stesso. È evidente che lo sviluppo del settore dei trasporto pubblico locale è legato soprattutto alla consapevolezza dell'ingente quantità di traffico generato dall'utilizzo dei mezzi privati, i quali provocano effetti negativi sulla qualità di vita della collettività, come l'inquinamento, il rumore e la congestione stradale i cui effetti inevitabilmente si ripercuotono sulla vita del singolo individuo. Ma il mancato decollo del trasporto pubblico locale è legato a problematiche riconducibili a tre macro-tematiche: la localizzazione delle fermate, la gestione del ritardo e la tariffa di pianificazione<sup>6</sup>.

La rete di trasporto comprende nel suo insieme la collocazione delle stazioni e delle linee degli autobus, argomenti di notevole importanza non solo per la progettazione ex-novo della rete, ma anche nella realizzazione di modifiche delle reti esistenti, in considerazione della localizzazione di nuove stazioni, della chiusura di stazioni esistenti o dell'apertura di nuove linee di trasporto.

### 3.5.2. Analisi per localizzazione delle fermate

Un elemento di progettazione del servizio di trasporto che interessa sia i passeggeri sia gli operatori del settore è la localizzazione delle fermate e le tre caratteristiche che è necessario considerare sono:

- tempo di camminata, tempo che l'utente impiega per raggiungere la fermata più vicina,
- durata della corsa, tempo impiegato per effettuare una corsa completa in relazione alle fermate effettuate,
- durata operativa, tempo necessario ad effettuare una corsa al netto delle fermate.

---

<sup>6</sup> A. Schöbel, *Optimization in Public Transportation*, Softcover reprint of hardcover 1st ed. 2006. 2010, Springer, Berlin

Tali specifiche devono essere bilanciate al fine di ottenere un livello di servizio efficiente. Negli Stati Uniti, la pratica corrente di progettazione e allocazione delle fermate prevede circa 7~8 fermate per miglio, aspetto caratterizzato da due risvolti: se da un lato (per gli utenti) risulta positivo in termini di tempo impiegato per raggiungere a piedi la fermata più vicina, dall'altro rappresenta uno svantaggio in termini di tempo complessivo della corsa.

In Europa nella progettazione e allocazione delle fermate sono previste da 2 a 3 fermate per chilometro, determinando un servizio di trasporto più veloce ed efficiente in termini di durata complessiva della corsa, ma risultando allo stesso modo poco conveniente in termini di tempo impiegato per il raggiungimento della fermata più vicina da parte degli utenti.

L'elemento che pone maggiore difficoltà nell'allocazione delle fermate è la definizione dell'impatto del tempo di camminata degli utenti per raggiungere la fermata e conseguentemente l'origine e la destinazione di questi ultimi. Infatti se precedentemente gli studiosi distribuivano le fermate in maniera uniforme sul territorio interessato dalla linea di trasporto, è evidente che oggi è necessario distribuire le fermate sulla linea di trasporto in base alla domanda richiesta nella specifica zona, in quanto il territorio analizzato sarà articolato in modo tale da avere zone con più densità abitativa e zone dove la densità è minima (tale aspetto è riscontrabile dall'edilizia caratterizzante l'area considerata, ovvero se risulta predominante le costruzioni unifamiliari o plurifamiliari, dalle quali consegue una minore o maggiore densità abitativa, aspetto che si traduce in più o meno domanda di mobilità). È necessario pertanto studiare un modello che consideri in prima analisi gli aspetti del territorio e della distribuzione della popolazione, che tradotto in termini più appropriati per le tematiche trattate significa considerare i dati demografici e di densità abitativa della zone interessate dalla linea in esame e conseguentemente dalla domanda di mobilità intrinseca della zona stessa.

### 3.6. Dataset per l'analisi della localizzazione delle fermate

L'approccio proposto per la modellizzazione dello spazio di fermata è basata sui dati raggruppati in tre categorie:

- La rete stradale per l'accesso pedonale
- I blocchi di informazioni relativi alla distribuzione della domanda
- I dati relativi alla fermata, con il tempo della corsa e i tempi dei saliti e discesi con relativi carichi a bordo.

Questi tre insiemi di dati non provengono da un'unica fonte, infatti i dati riguardanti la rete stradale derivano dal settore dei trasporti, mentre per quanto riguarda le informazioni sulla distribuzione di domanda è necessario organizzare i dati provenienti dall'urbanistica, ovvero da informazioni legate alla conurbazione del territorio nonché alla densità abitativa della stessa, e i dati relativi alle corse e ai tempi di svolgimento del servizio sono da reperire tramite le aziende operanti nel settore di trasporto pubblico ove disponibili.

Un'altra fonte di dati utile alla valutazione del servizio e, più in particolare, all'analisi dell'allocazione delle fermate, è rappresentata dallo smartphone. Attraverso l'utilizzo di questi dispositivi, grazie alla sensoristica di cui sono dotati, è possibile acquisire una serie di informazioni utili alla ricostruzione delle caratteristiche principali di una linea di trasporto pubblico locale.

### **Dati della rete stradale**

I dati della rete stradale di accesso pedonale sono di solito reperibili presso gli enti gestori delle strade e autostrade, con riferimento a tutte le strade che garantiscono la connessione del grafo stradale di tutti i centri abitati elencati nella relativa copertura ISTAT. I dati sono estratti attraverso l'utilizzo di QuantumGIS nella modalità OpenGIS Web Service (OWS), quest'ultimi sono informazioni geospaziali pubblicati e condivisi tramite web su standard definiti dall'Open Geospatial Consortium (OGC), organizzazione internazionale volontaria e no profit impegnata nella definizione di standard per servizi geografici.

Nel caso particolare dell'oggetto in esame i dati utilizzati hanno una base cartografica utilizzante la piattaforma di mappatura Open Street Map, la quale rende disponibili dati cartografici liberi e gratuiti, senza restrizioni legali o tecniche.

### **Dati territoriali**

Le informazioni inerenti il territorio in riferimento ai dati catastali, possono essere ricavati tramite delle indagini catastali, ovvero visure, che permettono di analizzare il tessuto edilizio presente sul territorio, ovvero il tipo di costruzione (se abitazione unifamiliare o plurifamiliare) che caratterizza il quartiere o l'area di interesse, o in generale delineare l'area in residenziale, commerciale, industriale o di servizi.

I dati geografici sono principalmente utilizzati attraverso dei vettori, ovvero dei poligoni che definiscono l'area a cui sono associati degli attributi che definiscono le proprietà del

territorio. Attraverso l'utilizzo del GIS i dati del poligono sono convertiti in centroidi che permettono di utilizzare più semplicemente le relazioni geometriche.

I dati territoriali utilizzati per l'analisi della linea in esame sono selezionati da un insieme di provider che, in maniera gratuita e libera da qualsiasi vincolo, distribuiscono dati geografici sul territorio nazionale.

Tra i vari provider disponibili è possibile utilizzare dati appartenenti al Comitato Permanente per i Sistemi Informativi Geografici (CPSG), raccolti all'interno del database DBPrior10K. Il CPSG produce specifiche tecniche per la sperimentazione oltre a monitorare le sperimentazioni in realizzazione in ambito regionale. In particolare i DBPrior10K sono composti da diversi livelli informativi, come la viabilità stradale, la viabilità ferroviaria, l'idrografia, gli ambiti amministrativi e i centri abitati.

Un'ulteriore fonte di dati è il Geoportale Nazionale (GN), portale tematico che garantisce la consultazione e l'utilizzo di dati territoriali relativi al contesto nazionale. Grazie alla visualizzazione e uso della cartografia di base nazionale, il portale persegue l'obiettivo di promuovere e diffondere l'utilizzo dei Sistemi Informativi Territoriali, attraverso la disponibilità di informazioni ambientali e territoriali. Tra gli stati cartografici disponibili vi sono: ortofoto, cartografia IGM, modello digitale del terreno, limiti amministrativi, aree protette, pianificazione del territorio e altri strati, descritti in dettaglio nei capitoli successivi.

### **Dati di transito della fermata**

I dati di transito delle linee esistenti in genere sono gestite dall'aziende operanti sul territorio e le informazioni in genere sono relative alla posizione di arresto, alla frequenza, al tempo di esecuzione e al conteggio di salite e discese per ogni direzione. Pertanto le caratteristiche operative della linea oggetto di studio sono ottenute dalla Carta dei Servizi redatta dal Consorzio Autolinee, disponibile sul sito ufficiale.

Inoltre il dataset della fermata deve contenere le posizioni geografiche delle fermate della linea per ogni direzione, considerando il conteggio di salite e discese a ogni fermate nel periodo di tempo. Naturalmente i tempi di percorrenza non sono facilmente disponibili e pertanto sono raccolti direttamente sul campo grazie all'osservazione durante la corsa sul mezzo.

Nel caso particolare del lavoro svolto, i dati delle caratteristiche fisiche della linea sono ricavati attraverso misurazioni condotte direttamente sul territorio mediante l'uso del software per smartphone Android "Digital Bus Ride".

### 3.7. GIS location-allocation

La localizzazione delle fermate delle linee di trasporto pubblico locale rappresentano uno degli elementi fondamentali nella progettazione sia di una nuova linea sia di una linea esistente, in quanto raffigura un aspetto cruciale per gli utenti (in relazione all'area di attesa, all'accessibilità, ad attraversamenti pedonali, alla presenza di aree di interscambio), ma anche per il gestore della linea.

Spesso il posizionamento reale delle fermate risulta essere in contesti complessi, come casi in cui vi è una pluralità di vincoli architettonici, spazi in cui vi è una scarsa accessibilità dei pedoni o casi in cui la posizione è lungo arterie con intensi flussi veicolari, esempi che determinano una reale mancanza di sicurezza per gli utenti che usufruiscono del servizio, generando un ridotto utilizzo dello stesso.

Attraverso l'utilizzo del GIS, adatto ad analizzare il territorio puntualmente e nelle condizioni reali è possibile evidenziare una moltitudine di problematiche ed evitare, allo stesso tempo, una progettazione che non garantisca al gestore un servizio efficace e all'utente una carenza di sicurezza e comfort.

Le fermate dell'autobus, oltre ad essere fulcro per l'utilizzo del trasporto pubblico, rappresentano un elemento di connessione di quest'ultimo con lo spostamento pedonale e, a tal fine, necessitano la massima attenzione per garantire un livello di sicurezza ottimale e favorire conseguentemente un maggior utilizzo del trasporto pubblico. È evidente che un'adeguata localizzazione e accessibilità delle fermate determina un maggior utilizzo del trasporto pubblico locale e, in considerazione a quanto stabilito in relazione al raggio di influenza nell'individuazione di poli attrattori, risulta immediato procedere con prime valutazioni a riguardo del contesto urbano in cui è collocata o si prevede di collocare la fermata. Analizzando il territorio, in considerazione del raggio di influenza della fermata, è necessario far riferimento al tessuto urbano presente, con particolare attenzione alle diverse densità abitative, alle zone produttive e commerciali, alla presenza di particolari poli attrattori, come le scuole e i servizi sanitari (i quali possono determinare particolari esigenze), all'arredo urbano e a tutto ciò che caratterizza l'area urbana e suburbana.

Attraverso l'utilizzo del GIS è possibile localizzare lungo il tracciato stradale, e successivamente riallocare, le fermate degli autobus garantendo l'accessibilità in sicurezza, partendo dall'individuazione delle singole criticità sul territorio stesso. Grazie a tale strumento è possibile effettuare un'analisi multicriterio, grazie all'individuazione sul territorio di aspetti che evidenziano le criticità in relazione al contesto urbanistico, alle caratteristiche funzionali della strada, alla sicurezza e fruibilità dell'area di attesa, alla sicurezza dei percorsi di accesso alla fermata, alla sicurezza degli attraversamenti, alla visibilità delle fermate in relazione alla conformità dell'assetto stradale e alla distanza dalle intersezioni e tra le distanze.

In particolare, in ambito urbanistico le possibili criticità individuabili sono: la scarsa connettività dell'assetto pedonale all'area servita dalla fermata, che causa un aumento delle distanze per la fermata o in alcuni casi un'accessibilità poco diretta (problematica legata alla presenza di linee ferroviarie, recinzioni, corsi d'acqua, assetti viari a fondo cieco); la presenza di molteplici attraversamenti stradali lungo il percorso pedonale per il raggiungimento della fermata più vicina, caratterizzati da elevati tempi di attesa; il posizionamento errato della fermata davanti gli ingressi delle sedi di enti o servizi (sanitari, commerciali, culturali, scolastici); il posizionamento della fermata in punti in cui il raggiungimento presenta percorsi con pendenze non ridotte, a discapito delle persone con minore capacità motoria o degli anziani; l'assenza di adeguati percorsi pedonali che permettono di servire l'accessibilità della fermata o l'assenza di adeguate condizioni di sicurezza della tratta stradale. In relazione alle caratteristiche funzionali della strada, le criticità che è possibile evidenziare sono legate ai diversi utilizzi di un medesimo tratto stradale come nel caso in cui un tratto interno al centro abitato, appartenente a un percorso sovracomunale caratterizzato da un traffico avente velocità veicolare elevato, soggetto sia ai flussi in transito sia al traffico locale. Tale aspetto rileva il conflitto tra le elevate velocità proprie del traffico extraurbano con le esigenze del traffico urbano, contraddistinto da velocità ridotte e dalle fermate del trasporto pubblico. Un'ulteriore criticità, legata alla funzionalità della strada, è riscontrabile nel contesto ambientale disordinato e privo di adeguate segnalazioni delle strade esterne al centro abitato, ma pur sempre ricadenti in zona urbanizzata o suburbanizzata, dove è evidente che le velocità sostenute dai guidatori sono incompatibili con la presenza di attraversamenti pedonali non regolamentati e segnalati.

Un ulteriore aspetto, nel quale è possibile molto spesso riscontrare delle criticità, è la sicurezza e fruibilità dell'area di attesa, in quanto spesso la superficie usufruibile



dell'area è assente o insufficiente in relazione al numero di utenti in determinate fasce orarie. Altre criticità legate a questo aspetto possono essere i casi in cui l'area di attesa è localizzata in punti non adeguati, come il caso in cui si trova in corrispondenza di un'area di intersezione; oppure l'area di attesa è utilizzata come area per la sosta di veicoli o interferisce con un percorso ciclabile.

Naturalmente in riferimento alla sicurezza di accesso alla fermata, attraverso l'utilizzo del GIS, è possibile rilevare l'assenza di marciapiede e percorsi pedonali eccessivamente tortuosi che comportano percorsi più lunghi, caso in cui l'utente spesso è portato a seguire percorsi più brevi non sicuri.

## Capitolo Quarto

### *Trasporto pubblico locale. Architettura della piattaforma*

#### 4.1. Introduzione

La rilevante importanza dello studio del territorio unitamente allo sviluppo tecnologico ha determinato un crescente utilizzo dei sistemi informativi territoriali, i quali consentono una migliore gestione dei dati per la pianificazione territoriale.

L'architettura maggiormente diffusa, tra quelle possibili, è quella che prevede l'utilizzo di una base di dati centralizzata, che può a sua volta essere organizzata in uno o più tiers (livelli). Sicuramente, al fine di rendere disponibile i contenuti della piattaforma è necessaria l'implementazione di una struttura che faccia riferimento al paradigma client-server.

I sistemi client-server sono un'evoluzione dei sistemi basati sulla condivisione semplice delle risorse: la presenza di un server permette ad un certo numero di client di dividerne le risorse, lasciando che sia il server a gestire gli accessi alle risorse per evitare conflitti di utilizzazione tipici dei sistemi a condivisione semplice.

Un altro elemento della piattaforma fondamentale nella gestione dei dati territoriali è costituito dal GIS (Geographical Information System). In diversi ambiti applicativi, i GIS sono divenuti un indispensabile strumento non soltanto per l'archiviazione dei dati, ma anche per quanto riguarda l'analisi e l'elaborazione dei dati geo-referenziati. La trattazione dei dati geografici è utilizzata nella maggior parte delle attività, sia in ambito pubblico sia in ambito privato, su diverse scale e livelli di interesse e in tal senso la sua codifica rappresenta, insieme alle mappe digitali, una importante conoscenza. L'acronimo GIS indica un Sistema Informativo Geografico, cioè un insieme di strumenti che consentono di analizzare le proprietà spaziali e le relazioni tra oggetti ed eventi, ovvero permettono di mappare e analizzare entità nello spazio e nel tempo. In realtà il processo di analisi delle carte geografiche tramite sovrapposizioni di lucidi tematici è un procedimento già noto per lo studio del territorio, ma con l'avvento della tecnologia informatica il GIS ha velocizzato e migliorato i metodi manuali. La tecnologia GIS consente di utilizzare informazioni digitali per affrontare e risolvere problemi reali complessi, attraverso l'analisi vettoriale degli elementi digitalizzati e la sovrapposizione dei diversi livelli cartografici. In generale, un sistema informativo

consente attraverso l'analisi degli eventi e delle criticità, in base alle finalità, la programmazione degli interventi strategici.

Un importante requisito utile alla diffusione di informazioni che siano universalmente validi, è l'utilizzo di un formato standard dei dati; in particolare, l'adozione di uno standard di tipo "open" garantisce la diffusione e l'interscambio per la maggior parte dei sistemi a livello globale.

## 4.2. Il sistema informativo geografico – GIS

Il GIS rappresenta uno strumento atto ad acquisire, archiviare, interrogare, analizzare e visualizzare informazioni di tipo geografico, al fine di migliorare l'efficienza e la tempestività delle decisioni, ottimizzando i tempi, nonché tenendo in considerazione i problemi di economicità e priorità delle azioni. In virtù della natura geografica dei dati, questi possiedono un riferimento spaziale quindi una posizione sulla terra e in tal senso danno la possibilità di essere mappati. In sintesi il GIS è uno strumento *computer-based* atto ad analizzare spazialmente aree geografiche tramite la rappresentazione digitale unitamente ad altre informazioni alfanumeriche legate allo studio che si intende effettuare. Questo strumento è pertanto un sistema composto da *hardware*, *software*, e persone in grado di utilizzare il sistema e sviluppare le analisi.

### 4.2.1. La struttura dati

Il miglior utilizzo delle informazioni geografiche è legato ai vari tipi di dati e alla loro struttura, nonché alla loro organizzazione che ne determina le potenzialità a loro associate.

Una prima differenza legata alla struttura del dato è basata sulla fonte del dato stesso, infatti nei casi in cui la produzione di informazione geografica è molto simile ai concetti del disegno geometrico, le informazioni sono memorizzati come punti, linee e poligoni, quindi si parla di struttura vettoriale; nei casi in cui l'acquisizione dell'informazione avviene tramite celle elementari regolari che corrispondono a porzioni quadrate di territorio si parla di struttura raster. Le carte tematiche possono essere costituite da immagini (dati raster), le quali, come anche per i testi, possono essere associate a vari elementi, oppure possono essere costituite da disegni (dati vettoriali), i quali sono associati a tabelle di dati, database di attributi, sui quali si possono effettuare ricerche e

analisi. La struttura dei dati può dipendere anche dalle modalità di reperimento dello stesso, per esempio un modello altimetrico del terreno può essere generato misurando sul terreno angoli e distanze di punti da vertici trigonometrici di posizione nota, successivamente attraverso opportuni calcoli è possibile risalire alle coordinate planimetriche e altimetriche dei punti scelti, il risultato digitale è un piano quotato costituito da una rete irregolare di punti sparsi. Un ulteriore esempio è descritto da alcune rappresentazioni tematiche ottenute schematizzando le informazioni territoriali su una griglia geografica ottenuta suddividendo ulteriormente la rete di meridiani e paralleli, in questo caso ogni cella elementare, in cui l'informazione è rappresentata da un numero, ha forma trapezoidale; è da sottolineare che tali strutture a celle irregolari non sono più usate, in quanto generalmente si cerca di riportarle a strutture di celle regolari, al fine di semplificare la gestione, l'archiviazione e l'elaborazione.

La scelta dell'utilizzo di una particolare struttura può essere legata anche alla disponibilità del software di trattare e sfruttare le potenzialità del dato. Gli algoritmi matematici che possono elaborare dati geografici operano su determinate strutture e non su altre, pertanto la scelta della struttura dipende in maniera determinante dalle elaborazioni che si intendono effettuare e dai risultati che si vogliono ottenere; inoltre è necessario tener conto della struttura dei dati anche per quanto riguarda la generazione di carte geografiche di alta qualità topografica o di facile comprensione tematica.

È necessario sottolineare che le strutture dei dati sono determinanti per l'utilizzazione all'interno dei sistemi e quindi in maniera del tutto analoga sono determinati per l'utilizzatore, in quanto ne deve conoscere le caratteristiche al fine di ottenere il massimo rendimento delle peculiarità.

#### 4.2.1.1. Dati vettoriali

I dati vettoriali sono informazioni costituiti da elementi semplici quali punti, linee e poligoni codificati e memorizzati sulla base delle loro coordinate. L'individuazione di un punto avviene attraverso le sue coordinate reali  $(x_1; y_1)$ ; per quanto riguarda una linea o un poligono è necessario considerare i suoi vertici  $(x_1, y_1; x_2, y_2; \dots)$ , inoltre a ciascun elemento è legato un record della tabella associata che contiene tutte le informazioni dell'oggetto rappresentato.

Le caratteristiche di un dato vettoriale sono di tipo geometrico, topologico e informativo. La caratteristica geometrica considera la rappresentazione cartografica

degli oggetti rappresentati, come la forma (punto, linea, poligono), la dimensione e la posizione geografica. La caratteristica topologica si riferisce alle relazioni reciproche tra gli oggetti, quali la connessione, adiacenza, inclusione, coincidenza, ecc. La caratteristica informativa riguarda le informazioni associate al dato oggetto, ovvero i numeri, i testi, ecc.

Tra i vari formati vettoriali disponibili il più diffuso è lo shapefile (noto anche come shape o shp), tanto da diventare oggi uno standard e per quanto riguarda i sistemi informativi geografici il formato vettoriale più diffuso è lo shapefile ESRI. Tale formato è stato sviluppato ed emesso come tipologia open source da ESRI Italia S.p.A, Environmental Systems Research Institute, al fine di sviluppare l'interoperabilità fra i sistemi ESRI e altri GIS, diventando in tal senso uno standard per il dato vettoriale spaziale. Il file in formato shape descrive a livello spaziale punti, poligoni, e polilinee e successivamente a ciascun elemento può essere associato un attributo che descrive la voce. Praticamente il formato registra i dati geometrici "primitivi", detti "feature", che da soli non sono utili in quanto non hanno attributi che dettagliano cosa rappresentano, pertanto una tavola di records registra proprietà e attributi per ogni primitiva "Shape" dello shapefile. Una limitazione dello shapefile è che non possono contenere informazioni topologiche sulle loro feature. Un aspetto importante è che le shape unitamente agli attributi possono generare infinite rappresentazioni di dati geografici, dai quali dipende l'accuratezza delle analisi geospaziali, nonché lo studio effettuato attraverso il GIS.

#### 4.2.1.2. Dati raster

I dati raster danno informazioni del mondo reale tramite una matrice di celle, generalmente di forma quadrata o rettangolare, formata dall'unità minima detta pixel e codificata attraverso righe e colonne. Ad ogni pixel è associato un valore che rappresenta l'informazione sulla quale la mappa assume un determinato rettangolo di territorio, esprimendo informazioni di tipo grafico, come colori, tonalità, ecc., e di tipo descrittivo, come altitudine, pendenza, temperatura, ecc., assumendone il loro significato in base a ciò che si sta rappresentando. Per quanto riguarda la dimensione del pixel, generalmente, è in relazione con la descrizione e precisione del dato ed è espressa nell'unità di misura della carta, ovvero metri, chilometri, ecc.

È chiaro che i dati raster non sono individuati mediante coordinate ma, come descritto

precedentemente, da pixel, pertanto il numero di pixel presenti per la rappresentazione di una detta mappa determina più o meno la precisione di rappresentazione, ovvero un maggiore numero di pixel di minore area permette di ottenere più precisione nella raffigurazione dell'immagine (ma allo stesso tempo occupa più spazio nella memoria di massa del computer a disposizione), un minor numero di pixel di maggiore area determina meno precisione nella raffigurazione dell'immagine (ma meno spazio occupato nella memoria del computer).

Un ulteriore dettaglio da considerare è che le diverse tipologie di dati sono adatti a differenti usi, infatti mentre la cartografia vettoriale è utile nell'utilizzo di informazioni che variano in modo discreto (ad esempio la rappresentazione delle strade o una carta dell'uso del suolo), la cartografia raster è indicata per la rappresentazione di informazioni con variabilità continua (ad esempio la mappa dell'altitudine o una carta di acclività del versante).

#### 4.2.2. Sistemi di riferimento geografico e proiezioni cartografiche

I sistemi di riferimento sono gli strumenti che permettono di individuare un punto sulla terra mediante le opportune cartografia, ognuna delle quali segue uno studio accurato di determinati fattori. È necessario sottolineare che l'individuazione di un punto sulla terra avviene mediante la conoscenza delle coordinate geografiche, latitudine e longitudine, ovvero degli angoli rispettivamente determinati il primo, la latitudine, a partire dal piano dell'equatore e il secondo, la longitudine, misurato dal meridiano di Greenwich, espressi in termini di gradi, primi e secondi (come se fossero porzioni di cerchio).

Un aspetto determinante da tenere in considerazione è la forma in cui il nostro pianeta si presenta, infatti mentre nelle raffigurazioni convenzionali più elementari la Terra è rappresentata con una forma sferica perfetta, dagli studi affrontati dalla geodesia si è riscontrato che la Terra può essere approssimata a un geoide o a un ellissoide, in quanto la sua forma, irregolare, è dovuta da molteplici fattori, come le forze (di attrazione gravitazionali, di movimenti di rotazione e traslazione, ecc.) che agiscono sulle sue masse (solide e liquide). Come emerso dagli studi della geodesia è chiaro quindi sottolineare che in base all'approssimazione della Terra a un geoide o a un ellissoide, bisogna considerare le dimensioni dell'ellissoide che meglio approssimano la reale forma terrestre e gli scostamenti che si hanno rispetto al geoide (forma riconosciuta

tramite le misure gravimetriche). In base a quanto detto precedentemente, bisogna chiarire che la superficie che noi vediamo è la superficie topografica (orografia del terreno, ecc.), la superficie che noi percepiamo in base alla forza gravitazionale è la superficie geoidica, mentre la superficie ellissoidica è un'astrazione matematica, che ci permette di studiare la terra attraverso modelli analitici. La superficie geoidica in relazione alla superficie ellissoidica (presa come riferimento), presenta degli scarti, le ondulazioni, che tenuti in considerazione unitamente al fatto che la verticale dell'ellissoide e quella del geoide si forma un angolo, detto deflessione della verticale, consentono di studiare la superficie mediante gli studi gravimetrici e riportare su mappa la differenza di quota in ogni punto.

In base all'orientamento del geoide rispetto all'ellissoide si possono ottenere diversi risultati, determinando allo stesso tempo cartografie più o meno affidabili.

Se si considera l'orientamento forte, ovvero se l'ellissoide è orientato rispetto al geoide in modo che è garantita la tangenza tra le due superfici e la coincidenza tra la verticale geoidica e la verticale ellissoidica, la cartografia prodotta dalla proiezione sul piano della superficie ellissoidica presenterà un elevato grado di affidabilità per il territorio circostante il punto di tangenza.

Se si considera un orientamento debole, o medio, ovvero se l'ellissoide è orientato rispetto al geoide in modo che non vi è un punto in cui sia garantito la tangenza tra le due superfici, ma si ha una posizione reciproca in modo che gli scarti tra le due superfici siano minimi per un vasto territorio, la cartografia prodotta dalla proiezione sul piano della superficie ellissoidica sarà affidabile per un vasto territorio circostante il punto di contatto.

Se si considera un orientamento geocentrico o globale, ovvero se l'ellissoide è orientato rispetto al geoide in modo che vi sia coincidenza tra il centro dell'ellissoide e il centro di massa del geoide, la cartografia prodotta dalla proiezione sul piano della superficie ellissoidica non risulterà ottimale ma permette di avere un unico sistema di riferimento per l'intero pianeta.

Da quanto emerge, il miglior sistema di riferimento per l'intero pianeta risulta quello dell'orientamento geocentrico, sottolineando che lo studio degli scarti (le ondulazioni) tra ellissoide e geoide risulta indispensabile.

Il sistema di riferimento Nazionale Italiano, Roma 1940, tiene in considerazione l'ellissoide internazionale di Hayford e l'orientamento forte in corrispondenza

dell'Osservatorio Astronomico di Roma Monte Mario. L'ellissoide è tangente al geoide in corrispondenza dell'osservatorio e in questo punto vengono attribuite le coordinate geografiche ricavate da misure astronomiche, inoltre nel punto di tangenza si ha coincidenza tra la verticale geoidica e la verticale ellissoidica e conseguentemente si ha la minimizzazione tra le deviazioni della verticale e gli scarti tra le superfici geoidica e ellissoidica su tutto il territorio interessato dal sistema di riferimento, con orientamento dell'asse di rotazione dell'ellissoide nella direzione del Nord astronomico.

Il sistema di riferimento Europeo, ED50, tiene in considerazione l'ellissoide internazionale di Hayford e l'orientamento debole in corrispondenza dell'Osservatorio Astronomico di Potsdam. L'ellissoide è tangente al geoide in corrispondenza dell'osservatorio e in questo punto vengono attribuite le coordinate geografiche ricavate da misure astronomiche, inoltre nel punto di tangenza lo scarto tra la verticale geoidica e la verticale ellissoidica è medio per tutto il territorio europeo.

Il sistema di riferimento Mondiale, WGS84, considera l'orientamento geocentrico con l'ellissoide WGS84 e tiene in considerazione le ondulazioni esistenti tra la superficie geoidica e la superficie ellissoidica.

L'esigenza di adottare un unico sistema di riferimento per tutto il pianeta è stato dettato dalla necessità di avere un'unica lettura universale dei dati, in quanto punti con le stesse coordinate in sistema diversi non necessariamente coincidono e allo stesso tempo il medesimo punto può avere coordinate diverse in sistemi differenti, in tal senso si evince la necessità di costituire una rete di satelliti che implementi il sistema di riferimento.

Un datum, o sistema di riferimento, è pertanto costituito da un ellissoide e del suo orientamento rispetto al geoide, e da una rete compensata di punti.

Il GPS è uno strumento che permette di localizzare un punto sulla superficie terrestre tramite l'utilizzo di satelliti in orbita intorno al nostro pianeta.

Le proiezioni sono operazioni matematiche che permettono di rappresentare su un piano la forma tondeggiante a geoide della terra. Il sistema di proiezioni rappresenta il modo attraverso il quale un oggetto sulla superficie terrestre, quindi tridimensionale, è raffigurato su un piano cartesiano, ovvero in due dimensioni.

I sistemi di riferimento maggiormente utilizzati sono: il sistema latitudine-longitudine, la proiezione Universale Trasversa di Mercatore (spesso denominata UTM) e la Gauss-Boaga, e in base ad ognuno di questi sistemi di riferimento la proiezione implica una distorsione, più o meno accentuata, dei dati utilizzati.

Per quanto riguarda il sistema latitudine-longitudine i dati sono espressi in gradi,



associato spesso al sistema di riferimento WGS84 (*World Geodetic System*, definito nel 1984), quest'ultimo usato dal sistema GPS; in genere tale tipo di sistema è poco utile per piccole distanze, in quanto la lunghezza dell'arco, che si forma tra il centro della terra al punto considerato presente sulla superficie terrestre, non è costante e la rappresentazione cartografica non è sferica ma planare.

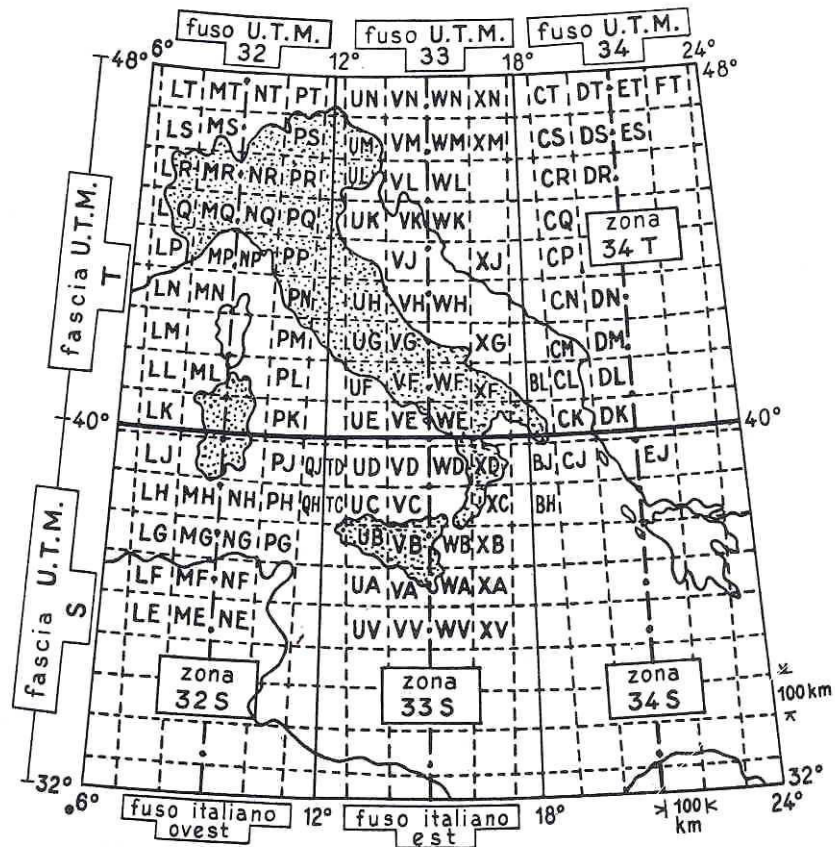


Figura 1 - Proiezione UTM - Fusi

La proiezione Universale Trasversa di Mercatore, UTM, è un sistema di riferimento, espresso in metri, in cui si ha la divisione per fusi in base alla longitudine e in fasce in base alla latitudine. In particolare il globo è diviso in 60 fusi di 6° gradi di ampiezza, ciascuno intorno a un meridiano di riferimento, numerati progressivamente a partire dal meridiano di Greenwich da ovest a est; è suddiviso in venti fasce (da 80° nord a 80° sud) di 8° di latitudine, indicate dalle lettere inglesi da C a X. È necessario sottolineare che l'intersezione tra fusi e fasce determina delle aree, dette zone, individuate dalla lettera del fuso unitamente alla lettera della fascia. Per quanto riguarda il nostro paese, l'Italia ha la parte occidentale sul fuso 32, la parte orientale sul fuso 33 e per una parte della regione Puglia interessa anche il fuso 34, per quanto riguarda i meridiani centrali sono il 9° e il 15°, ed in relazione alle lettere che individuano le fasce è compresa nelle

lettere T e S.

La proiezione di Gauss-Boaga rappresenta il procedimento matematico che dalle coordinate geografiche latitudine-longitudine calcola le coordinate cartografiche sul piano. Questo tipo di proiezione è del tutto simile all'UTM, differenziandosi nel fatto che mentre la proiezione UTM utilizza un cilindro tangente all'equatore, la proiezione Gauss-Boaga utilizza un cilindro tangente a un meridiano, detto meridiano di riferimento, il quale con l'equatore forma segmenti di retta con angolo retto nell'origine delle coordinate, avente unità di misura i metri. È da sottolineare che tale tipo di sistema di proiezione è un caso particolare del sistema di proiezione di Gauss.

Un file GIS utilizza un sistema di proiezione e di coordinate per memorizzare la posizione del dato e definire posizione geografica, ed è in grado di gestire contemporaneamente dati provenienti da sistemi di proiezione e riferimento differente, effettuando conversioni fra i vari sistemi. È necessario sottolineare che diversamente dalla cartografia su carta, la scala in un GIS non è indice della scala di visualizzazione ma evidenzia la qualità del dato, ovvero nel GIS è possibile ingrandire le varie porzioni di territorio e il programma indica la scala ideale alla quale visualizzare il dato, senza evidenziare le imperfezioni.

#### 4.2.3. Fase di acquisizione dei dati

La prima fase per utilizzare il GIS è l'acquisizione dei dati, la quale può avvenire attraverso differenti procedure, ovvero tramite la digitazione di mappe esistenti, scannerizzando informazioni, tramite l'acquisizione di dati da GPS (dati di tipo cartografico) oppure inserendo dati testuali (dati di tipo non grafico).

Il primo passo per la fase di acquisizione è la cartografia esistente, necessaria per capire lo stato del territorio e, grazie alla propria datazione, individuare i cambiamenti che il territorio stesso ha subito. In relazione alle cartografie è necessario distinguere le carte topografiche e le carte tematiche. Le carte topografiche possiedono diverse informazioni sul territorio combinati insieme tra loro, tra cui i toponimi, pertanto per procedere all'acquisizione delle informazioni è opportuno separare le informazioni creando diversi strati omogenei; le carte tematiche rappresentano un solo aspetto del territorio e pertanto sono monotematiche.

Altri tipi di dati geografici sono rappresentati dalle foto aeree e dalle immagini satellitari, le quali descrivono la situazione reale del territorio. Queste informazioni per

essere validate hanno la necessità di essere affiancate ai rilevamenti effettuati in sito attraverso il GPS (Global Positioning System), strumento atto a rilevare le coordinate reali del punto in cui ci si trova, permettendo un rapido posizionamento sulla mappa dei dati individuati. Queste procedure sono utili per raccogliere le informazioni e per determinare gli strati informativi, al fine di procedere con l'acquisizione informatica dei dati geografici, sia di natura vettoriale sia di natura raster, e dei dati non geografici, di tipo alfanumerico.

L'acquisizione di dati in formato vettoriale è possibile distinguere in due fasi, la prima fase è di georeferenziazione, attraverso la quale il disegno viene inquadrato nel sistema di coordinate reali scelto come riferimento, la seconda fase è la digitalizzazione, in cui gli elementi geografici (costituiti da punti, linee o poligoni) sono disegnati tramite gli strumenti informatici. I punti rappresentano gli oggetti spaziali che possiedono una precisa posizione sulla mappa in relazione alla scala di rappresentazione; le linee sono utilizzate per rappresentare percorsi che hanno un inizio e una fine delineate o in ogni caso tracciati precisi lineari; i poligoni rappresentano aree di territorio o rilevanti superfici.

I dati in formato raster sono dati che utilizzano una matrice a maglia quadrata regolare, codificata attraverso righe e colonne, in modo da suddividere il territorio in particelle uguali (pixel). Per procedere all'acquisizione di tali dati è necessario fissare dei parametri al fine di costruire la griglia, pertanto è da stabilire: le dimensioni della cella che rappresenta le dimensioni reali della particella di territorio in considerazione; il numero di righe e colonne della matrice; il tipo di dato da inserire; le coordinate della cella situata in alto a sinistra, rappresentante il punto georeferenziato.

Per quanto riguarda i dati non geografici, ovvero di tipo alfanumerico, questi forniscono un'informazione descrittiva, denominata attributo, delle entità presenti in un mappa memorizzata nel database. Tali attributi dipendono dal tipo di entità e dalle caratteristiche rappresentanti il dato, come ad esempio l'attributo "posizione" che qualifica la posizione geografica di tutte le entità.

Acquisiti i dati, sia di natura vettoriale sia di natura raster, e determinati gli attributi il GIS lavora l'elaborato in esame attraverso la costruzione della topologia. La topologia crea una logica tra i dati forniti e definisce la relazione posizionale delle entità, fornendo informazioni.

I dati organizzati in una struttura tabellare, creano un database associato e permettono la visualizzazione attraverso delle mappe avente lo stesso aspetto di una carta tematica, e

costituiscono in tal modo un livello informativo. Determinata la mappa, questa può essere interrogata attraverso semplici procedure, fornendo dei dati che potranno essere ulteriormente elaborati, generando nuovi livelli informativi nonché nuove carte tematiche. In tal senso il GIS è uno strumento informatico che permette di creare nuove mappe tramite l'interpolazione di dati o la sovrapposizione di mappe.

#### 4.2.4. Fase di analisi

L'elaborazione dei livelli informativi e la successiva analisi prevede due aspetti, ovvero che l'analisi sia riferita a informazioni appartenenti a una stessa tematica o che l'analisi sia riferita a informazioni appartenenti a temi differenti. Ciò che veramente distingue i due aspetti è che nel primo caso l'analisi è basata sulle modifiche di un particolare aspetto del territorio avvenute in un arco temporale considerevole, nel secondo caso l'analisi è centrata sull'applicazione di complessi modelli di analisi comprendenti più livelli informativi, atti a determinare i legami e collegamenti possibili tra diversi fattori al fine di soddisfare le esigenze dettate dalle problematiche connesse al territorio oggetto di studio. In considerazione al fatto che un territorio è considerato tale perché è composto da più fattori che interagiscono tra loro, l'aiuto che il GIS dà è quello di scomporre il territorio nei singoli fattori che lo compongono, analizzarli singolarmente e ricomporli in modo ragionato al fine di valutare le possibili interazioni ed eventuali progetti futuri.

La procedura che dalla sovrapposizione di due livelli di informazione relativi allo stesso segmento di territorio ne costruisce un terzo livello viene denominata *overlay topologico*. Tale procedura è una delle prerogative dei sistemi informativi geografici, infatti attraverso questa funzione è possibile determinare un unico database avente dati che provengono da due livelli differenti; tale funzione è del tutto simile a quella presente nei programmi CAD, ma mentre questi strumenti permettono un overlay grafico, tramite la sovrapposizione di layer, il GIS permette la sovrapposizione di dati determinando un nuovo livello sul quale poter lavorare e effettuare nuove analisi. Tale aspetto, di carattere fondamentale dei GIS, permette una semplificazione nello studio del territorio a livello tecnologico, una crescente disponibilità di dati geografici digitali nonché una accresciuta cultura e valorizzazione dell'informazione geografica che determina una crescita anche per quanto riguarda la gestione del dato cartografico e territoriale e dei sistemi di supporto alle decisioni ambientali e territoriali.

#### 4.2.5. Visualizzazione dei dati

I dati, dopo essere stati analizzati, in base al tipo di analisi effettuata sono visualizzati attraverso diagrammi, dati statistici, prodotti cartografici. È necessario sottolineare che per quest'ultimi prodotti, relativi all'aspetto cartografico, la qualità cartacea è legata molto al tipo di stampante scelta o al plotter. Inoltre gli elaborati cartografici per poter essere utilizzati devono possedere una serie di requisiti fondamentali, che permettono una lettura universale, come: il titolo della mappa, aventi indicazioni relative alla tematica rappresentata; il campo cartografico e la denominazione dell'area oggetto di studio dal punto di vista amministrativo; la posizione geografica, ovvero le coordinate reali e il sistema di riferimento adottato; l'orientamento; la scala di rappresentazione; la legenda; e nel caso di carte storiche o di rilievi è necessario specificare la data di realizzazione.

#### 4.3. Database

Un database rappresenta un archivio di dati o anche un insieme di archivi, in cui le informazioni sono strutturate e collegate tra loro secondo un modello, il quale può essere di natura relazionale, gerarchico, reticolare o a oggetti. Tale modello è utile al fine di garantire una efficiente gestione, nonché organizzazione, dei dati nel momento in cui un utente ne richiede una consultazione, tramite le *query*, ovvero le interrogazioni, quest'ultime possibili attraverso le applicazioni software dedicate, praticamente attraverso un DataBase Management System, DBMS.

Nell'identificare un database come un archivio di dati è necessario sottolineare che la parola archivio può essere interpretata sia come archivio "fisico", ovvero un hardware cioè un sistema che permette di memorizzare i dati per una successiva elaborazione tramite il processore; sia come archivio "logico", ovvero i dati strutturati e la parte software (DBMS) che ne permette la gestione e interrogazione.

##### 4.3.1. Database geografico

Uno dei concetti fondamentali necessari per l'analisi di dati spaziali in un Sistema Informativo Geografico (GIS) è una specifica formale delle relazioni geometriche tra componenti spaziali arbitrarie nonché un sistema di memorizzazione di queste informazioni. Termini come "vicino", "lontano" o "nei pressi di" non sono ancora chiaramente identificati con relazioni tra numeri interi. Il trattamento di relazioni fra

oggetti di tipo spaziale rappresenta un requisito essenziale nei sistemi GIS. Quindi una definizione formale di relazioni spaziali risulta fondamentale per chiarire le differenti interpretazioni da parte di diversi sistemi interconnessi per dedurre delle relazioni fra gli oggetti spaziali che si vogliono rappresentare.

I progressi tecnologici relativi alla gestione delle basi di dati relazionali offrono attualmente la possibilità di memorizzare i dati elaborati da un sistema GIS in un database spaziale, piuttosto che utilizzare file di archiviazione basata su specifici software. Un database spaziale è una struttura dati ottimizzata per la memorizzazione e l'interrogazione di oggetti nello spazio, tra cui punti, linee, polilinee, poligoni, ecc.

Il crescente utilizzo delle basi di dati spaziali nella gestione di dati territoriali sta nel fatto che la distribuzione di dati GIS in forma di file secondo standard di fatto non è più possibile in quanto:

- la quantità di dati ed il numero di sistemi eterogenei è cresciuto molto;
- il numero ed il tipo di utenti è cresciuto molto;
- si deve disporre di meccanismi di controllo del flusso delle informazioni.

L'utilizzo di database con estensione spaziale risponde a queste esigenze permettendo flessibilità, affidabilità e controllo sui flussi informativi.

In particolare, una base di dati spaziale basata su oggetti è un database che memorizza i dati sotto forma di oggetti caratterizzati da attributi di posizione nello spazio. Un oggetto di tipo geografico (più in generale geometrico) è basato sulla rappresentazione del mondo come superficie occupata da oggetti riconoscibili (ad esempio città, strade, fiumi, ecc.), che esistono indipendentemente dalla loro posizione. Tali oggetti possono essere semplici (punti o linee), oppure possono essere entità più complesse rappresentative ad esempio di città.

I dati spaziali sono memorizzati in tabelle all'interno del database, ogni caratteristica spaziale corrisponde a una riga della tabella. La funzione spaziale è memorizzata in uno speciale tipo di geometria, ogni attributo corrisponde ad una colonna della tabella.

L'Open Geospatial Consortium ha creato le specifiche e gli standard per l'aggiunta di funzionalità spaziali ai DBMS (Database Management System). Una delle ragioni fondamentali per le quali viene impiegato un database spaziale per la memorizzazione delle informazioni geografiche è la possibilità di organizzare i dati secondo un modello Entità-Relazione per effettuare analisi spaziali attraverso l'utilizzo delle interrogazioni.

Il modello Entità-Relazione (modello ER) è un modello concettuale dei dati e, come tale, descrive ad alto livello la realtà modellata indipendentemente da come i dati

verranno logicamente e fisicamente rappresentati. Il modello ER definisce uno schema concettuale dei dati. Uno schema descrive la struttura o forma dei dati, ma non descrive i dati veri e propri, vale a dire le istanze o occorrenze dello schema. Ad esempio, lo schema ER può dire che l'entità strada ha gli attributi nome e geometria ma non dice quali sono gli effettivi valori di questi attributi. I valori verranno inseriti alla fine della progettazione in fase di popolamento della base di dati.

Lo schema ER è costituito da diverse componenti:

- diagramma ER: è una rappresentazione diagrammatica della realtà che evidenzia le entità, le relazioni tra entità e gli attributi di entrambi;
- documentazione: una spiegazione (in linguaggio naturale) dei concetti presenti nel diagramma ER;
- regole aziendali: sono delle regole che aggiungono dei vincoli sui dati che non sono rappresentabili con il modello ER.

Le interrogazioni delle basi di dati vengono effettuate attraverso l'utilizzo del linguaggio SQL (Structured Query Language). SQL è un linguaggio di tipo non procedurale (vale a dire non necessita di blocchi di codice identificati da un nome o racchiusi da delimitatori specifici) che consente di operare sui dati di un database tramite frasi che non fanno uso di simboli, ma solo di alcune parole chiave del linguaggio corrente ("select", "from", "where", ecc). In particolare, il termine Structured (strutturato) di SQL è riferito al fatto che si può inserire un'interrogazione all'interno di un'altra interrogazione, più in generale si parla di query innestate.

Oltre alle tipiche interrogazioni SQL quali ad esempio "SELECT", le basi di dati geografiche sono in grado di eseguire una vasta gamma di operazioni spaziali. Vengono di seguito riportate le operazioni più comuni peraltro specificate dallo standard OGC:

- Misure spaziali: consentono di calcolare la lunghezza di una linea, l'area di un poligono, la distanza tra due geometrie, ecc;
- Funzioni spaziali: consentono la modifica di funzioni esistenti per crearne di nuove, per esempio la creazione di un buffer intorno ad una geometria, l'intersezione di diverse geometrie, ecc;
- Predicati spaziali: Consentono l'esecuzione di operazioni booleane tra diverse geometrie;
- Costruttori Geometria: crea nuove geometrie, di solito specificando i vertici (punti o nodi), che ne definiscono la forma;

- Funzioni di osservazione: rappresentano interrogazioni spaziali che restituiscono informazioni specifiche su una funzionalità come la posizione del centro di un cerchio o il centroide di un'area specifica.

I principali DBMS utilizzano indici per cercare rapidamente i valori archiviati, ma la maggior parte di essi non consentono di ottimizzare le interrogazioni spaziali. Invece, i database spaziali utilizzano un indice ottimizzato per velocizzare le operazioni di analisi spaziale nel database, come ad esempio la distanza tra due punti o se due punti ricadono all'interno di una specifica area.

I principali indici spaziali sono elencati di seguito:

- Griglia (indice spaziale),
- Z-Order (curva),
- R-tree (è in genere il metodo preferito per l'indicizzazione dei dati spaziali, gli oggetti quali forme, linee e punti sono raggruppati per categorie. Gli oggetti vengono aggiunti ad ogni categoria attraverso l'utilizzo di un indice in base alla sua dimensione.
- M-tree: si tratta di un indice che può essere utilizzato per la risoluzione delle interrogazioni più complessi come confrontata utilizzando un metrica arbitraria.

I campi di applicazione sono innumerevoli: indirizzi geo-codificabili, memorizzazione posizioni, cartografia, indagini Statistico / demografiche, epidemiologia, Informazione Meteorologica, urbanistica.

Spesso il concetto di GIS e di DBMS (o Database Management System) vengono erroneamente confusi per la caratteristica di gestione del dato. In realtà, il GIS differisce dal DBMS in quanto si occupa essenzialmente dell'elaborazione e manipolazione dei dati georeferenziati, anche se questi possono essere memorizzati in un DBMS o in singoli file.

Per la rappresentazione dei dati in un sistema informatico occorre formalizzare un modello rappresentativo flessibile che si adatti ai fenomeni reali. Nel GIS abbiamo tre tipologie di informazioni:

- 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 ecc...);



- Informative: riguardanti i dati (numerici, testuali ecc...) associati ad ogni oggetto.

Il GIS può prevedere la gestione di queste informazioni in un database relazionale. L'aspetto che caratterizza il GIS è quello geometrico: esso memorizza la posizione del dato impiegando un sistema di proiezione reale che definisce la posizione geografica dell'oggetto. Il GIS gestisce contemporaneamente i dati provenienti da diversi sistemi di proiezione e riferimento (es. UTM, WGS84 o Gauss Boaga).

A differenza della cartografia su carta, la scala in un GIS è un parametro di qualità del dato e non di visualizzazione. Il valore della scala esprime le cifre significative che devono essere considerate valide delle coordinate di georeferimento.

Quindi il database geografico può essere definito come un archivio di entità territoriali e delle loro relazioni, strutturato in file organizzati da un sistema che ne garantisca la gestione efficiente e l'accesso da molte applicazioni ed utenti.

### **Vantaggi nell'utilizzo di una Base di Dati Spaziale**

Utilizzare un database geografico strutturato e gestito da un DBMS, come abbiamo visto, porta molti vantaggi, che possono essere così riassunti:

- controllo centralizzato: il sistema, con la supervisione di un DB Manager, controlla che vengano osservate le restrizioni, la sicurezza, gli accessi, i conflitti, l'integrità dei dati e gli aggiornamenti;
- indipendenza dalla struttura dei dati: gli applicativi non hanno bisogno di conoscere come sono fisicamente strutturati ed archiviati i dati perché accedono al database attraverso il DBMS; ciò facilita anche l'implementazione di nuovi applicativi;
- condivisione dei dati: il DBMS controlla e garantisce l'accesso al database da parte di più utenti (ed applicazioni) in contemporanea, anche sulle medesime aree geografiche e quindi sugli stessi dati;
- riduzione delle ridondanze: la condivisione di un unico database evita inutili duplicazioni dei dati con tutte le conseguenze relative al disallineamento delle modifiche e degli aggiornamenti; le ridondanze generate dal DBMS per motivi di efficienza del sistema sono comunque gestite e controllate;
- accesso diretto ai dati: tutte le tipologie di utenti (non informatici, informatici, specialisti applicativi) possono accedere ai dati ed eseguire qualsiasi tipo di

analisi senza compromettere l'integrità dei dati, con interfacce semplici ed intuitive, senza dover conoscere la struttura degli archivi;

- efficienza: l'accesso multiutente a grandi volumi di dati richiede efficienza e prestazioni elevate che sono garantite dalla struttura fisica e di accesso che ogni DBMS propone; non sono però necessarie solo le potenzialità del DBMS, ma anche test e verifiche per adattare al meglio la struttura alla tipologia ed alle dimensioni dei dati;
- sicurezza: il DB Manager può definire i profili degli utenti e le porzioni del database a cui possono accedere; attraverso accessi controllati può estrarre o inserire nuovi dati, apportare aggiornamenti, modificare la struttura per migliorare le prestazioni, modificare il modello fisico per inserire nuove entità e relazioni;
- linguaggi standard: le applicazioni si interfacciano con un DBMS attraverso linguaggi standard tipo SQL (Standard Query Language) che garantiscono univocità nella modalità di dialogo fra il sistema ed i programmi.

Per passare ad un DBMS sono però previsti diversi costi (in termini di hardware, di software e di risorse) sia per migrare i dati nel database che per lo sviluppo o l'adattamento degli applicativi. Oltre a quello economico, ci sono anche altri aspetti da considerare, e cioè: un aumento naturale di complessità del modello logico e fisico dei dati (dovuto al passaggio da un dataset composto da file ad un database strutturato) e rischi maggiori per la sicurezza dei dati (dovuti alla centralizzazione dei dati in un unico sistema). Per questi motivi è necessario valutare con attenzione il passaggio da dataset a database, procedendo con un'accurata analisi costi-benefici.

### **Tipologie di Database Management System**

In un database il modello dei dati può essere di quattro tipi: rettangolare (o flat file), gerarchico, a rete (network) e relazionale.

Il rettangolare è il modello più semplice; qui tutti i dati possono essere inseriti in un'unica grande tabella nella quale ad ogni oggetto corrisponde un record; il limite maggiore di questo modello consiste nella difficoltà di impostare livelli diversi di aggregazione.

Il modello gerarchico, concepito dall'IBM negli anni '60, prevede che i dati siano organizzati in una struttura ad albero; le relazioni tra le entità sono definite dall'organizzazione della gerarchia. Quindi nel modello gerarchico le relazioni possono

essere “uno-a-uno” oppure “uno-a-molti”, e le ricerche sono effettuate seguendo l’albero gerarchico. Se si vogliono conoscere tutti i capi progetto, gli analisti, i programmatori e gli operatori di una specifica divisione, la ricerca è molto efficiente, perché esiste una relazione diretta tra i capi progetto e le divisioni, tra gli analisti e le divisioni e così via; se invece si vogliono conoscere tutti i progetti che afferiscono ad una specifica divisione, la ricerca segue due fasi: in primo luogo si devono selezionare tutti i capi progetto che afferiscono alla divisione, in secondo luogo tutti i progetti che afferiscono ai capi progetto selezionati; il processo sarà quindi meno efficiente, perché è necessario operare una selezione su un’entità intermedia e può diventare ancora più onerosa se le entità intermedie sono più di una.

In alternativa potremmo relazionare direttamente le divisioni ai progetti, ed i capi progetto a questi ultimi: in tal caso però la prima ricerca che abbiamo ipotizzato (tutti i capi progetto, gli analisti, i programmatori e gli operatori di una specifica divisione) avrebbe a sua volta “i progetti” come entità intermedia per selezionare i capi progetto che afferiscono alla divisione. Questo costituisce pertanto una prima limitazione del modello gerarchico: una scarsa flessibilità quando sia necessario passare ad una ricerca diversa da quella per la quale è stata impostata la struttura. Un’altra limitazione del modello gerarchico è che i campi non chiave non possono essere usati nella ricerca: ad esempio non può essere effettuata una ricerca dei programmatori per età o per nome, perché questi non sono campi chiave; per poter eseguire le ricerche è quindi necessario porre i campi di ricerca come campi chiave e quindi ristrutturare il database. In conclusione, questo tipo di modello è molto efficiente solo quando la struttura è ottimizzata per rispondere a determinate richieste, che quindi devono essere conosciute prima della progettazione del database; in campo geografico invece è richiesta una grande flessibilità, perché è praticamente impossibile stabilire a priori tutte le richieste, per cui il modello gerarchico non è applicato.

Il modello a rete può essere considerato il superamento dei limiti di flessibilità del modello gerarchico; infatti in questo tipo di modello un’entità può avere più genitori e non è richiesta una radice.

Nonostante il modello a rete sia più flessibile, le strutture e le relazioni sono sempre difficilmente modificabili; questo ne ostacola l’uso per le applicazioni in campo geografico.

## **Database Relazione per i GIS**

I database relazionali si prestano all'uso con dati geografici anche perché il legame dei dati geografici con i dati alfanumerici è enormemente facilitato.

Esistono essenzialmente due modi di utilizzare i database relazionali per strutturare anche dati geografiche.

1. I dati geografici sono strutturati in file di formati generalmente proprietari e si relazionano alle informazioni descrittive attraverso tabelle di attributi che possono essere inserite in un database relazionale vero e proprio; le funzioni di ricerca e selezione permettono di operare direttamente sia sui dati geografici che sugli attributi archiviati nel database relazionale; alcuni software permettono di organizzare i file dei dati geografici in strutture efficienti ed indicizzate, garantendo anche la gestione di grandi volumi di dati.
2. I dati geografici sono archiviati insieme agli attributi descrittivi, direttamente nel database relazionale che ne preserva gli aspetti topologici; in questo caso i dati, attraverso specifiche funzioni di caricamento, sono tagliati ed organizzati in modo molto efficiente; in genere seguono una logica strutturale che organizza i dati vettoriali secondo una griglia regolare che, attraverso indicizzazioni a cascata, permette accessi particolarmente veloci e prestazioni eccezionali anche con volumi molto grandi di dati; inoltre i dati geografici usufruiscono in questo modo di tutti gli strumenti di controllo, sicurezza e gestione propri degli RDBMS.

Questa seconda possibilità è quella che maggiormente si presta a gestire grandi volumi di dati.

Le soluzioni offerte dal mercato sono essenzialmente due:

1. RDBMS che contengono già funzioni di strutturazione di dati geografici al proprio interno e che garantiscono l'accesso ai medesimi con varie interfacce (anche prodotte da aziende di software GIS, anziché di RDBMS).
2. Prodotti GIS che creano strutture particolarmente efficienti direttamente nei database relazionali; in tal caso è possibile scegliere quale RDBMS utilizzare ed è anche possibile realizzare SIT ibridi utilizzando contemporaneamente database relazionali di diversi produttori.

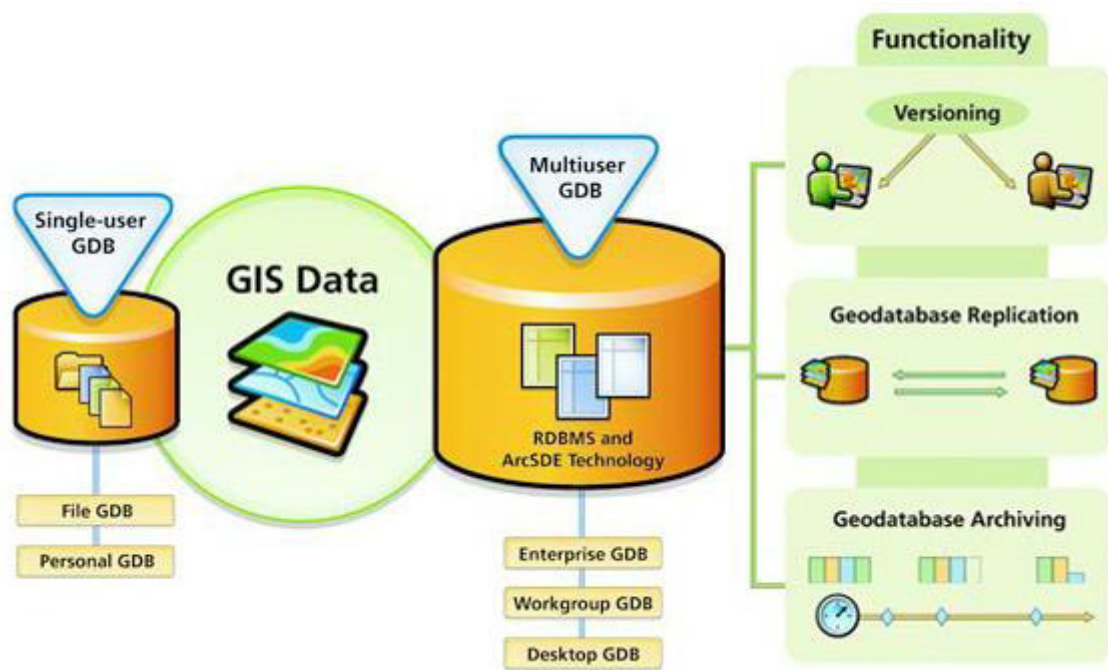


Figura 2 - Schema DBMS relazionale a supporto di un GIS

#### 4.4. Modelli di riferimento per informazioni - open standard

Il successo avuto in tutto il mondo dai prodotti WEB e dal sempre più diffuso internet è legato a una serie di fattori, ma in particolar modo al crescente sviluppo tecnologico e alla necessità di comunicare rapidamente e in modo del tutto efficace in tutto il mondo. La necessità di comunicare e interagire con tutto il mondo in tempo reale, ha sottolineato il crescente bisogno di utilizzare un linguaggio che permettesse di operare nella stessa maniera da luoghi differenti, garantendo una chiara e univoca lettura dei dati da tutti gli operatori, al di là delle differenze culturali e sociologiche legate alla zona di appartenenza. Gli standards utilizzati nei vari prodotti hanno reso possibile tutto questo, determinando in tal modo il successo dei servizi di rete e dei prodotti WEB.

Gli standards sono una fondamentale chiave per garantire a migliaia di applicazioni e tecnologie di essere interoperabili e descrivono i requisiti necessari, riconosciuti come tali nell'Internet Engineering Task Force (IETF), nell'International Organization for Standardization (ISO), o nell'Open Geospatial Consortium (OGC). L'interoperabilità tra i prodotti è pertanto l'elemento base che permette la condivisione dei dati e delle risorse e in tal modo determina un crescente sviluppo e un sempre più utilizzo di standards comuni. Infatti molte applicazioni, che garantiscono la sicurezza e hanno migliorato lo stile di vita di tutti, sono caratterizzate dalla comunicazione tra diversi sistemi (in quanto non è possibile che una singola organizzazione produca tutti i dati e

un solo produttore fornisce tutti i sistemi) e, in tal senso, le organizzazioni aperte promulgano e sponsorizzano i temi sui processi aperti e pubblicizzano la diffusione di standards “aperti”, al fine di evitare quella chiusura che si ha nel momento in cui si utilizzano architetture di sistema differenti, basate su interfacce proprietarie. È necessario fare una distinzione tra standard aperto e open source, spesso confusi e utilizzati in maniera analoga per indicare la stessa cosa. Infatti gli standards aperti sono quei standards che hanno specifiche sviluppate attraverso un processo aperto, l’open source è un software disponibile gratuitamente per qualsiasi scopo.

#### 4.4.1. Open standard

Lo standard “open” è definito tale quando non è proprietario, ovvero è posseduto in comune ed è rivisto tramite un processo aperto, dove ogni azienda o organizzazione può partecipare. Le caratteristiche di tale tipo di standard sono: licenza aperta, ovvero non vi sono richiesti diritti o pagamenti, in tal senso si include l’accesso libero, pubblico e aperto a tutte le specifiche di interfaccia (ovvero si presenta neutrale rispetto a qualsiasi tipo di tecnologia). In considerazione di quanto esposto una società che stabilisce uno standard non è definibile aperto, anche se non presenta alcun costo ed è disponibile a chiunque, la prerogativa infatti per lo sviluppo di open standard è lo sviluppo di questi tramite processi aperti, in cui coesistono la cooperazione di più soggetti.

Un esempio di cooperazione per la determinazione di standards aperti è la OGC – *Open Geospatial Consortium* – un consorzio internazionale di aziende, agenzie governative e università che partecipano a sviluppare standard di interfaccia pubblicamente disponibile. Tale consorzio segue delle politiche che garantiscono un processo aperto, sottolineando come le richieste e modifiche pervenute da ogni partecipante a seguito di ogni problematica segnalata vengono trattate in modo tempestivo e senza pregiudizi; inoltre sempre all’interno di tali politiche sono considerate controlli di qualità standardizzati atti a garantire la determinazione di standard aperti. Lo sviluppo OGC effettuato è fornito sotto forma di documenti XML e il processo per la diffusione di un modello è quello di pubblicare una specifica dei documenti.

##### 4.4.1.1. Informazioni Geospaziali

Le informazioni geospaziali sono elementi utilizzati in molti dati e pertanto il fattore tempo e luogo sono elementi determinanti nel lavoro degli standards OGC, in quanto tali fattori consentono di rendere reale i fenomeni studiati.

La localizzazione è un'informazione semplice che in genere le persone utilizzano in maniera spontanea e intuitiva, in quanto nella vita quotidiana ci si ritrova a dover dare indicazioni sulla propria posizione geografica, sia per quanto riguarda l'aspetto lavorativo sia per quanto riguarda la sfera privata del singolo individuo. È chiaro che per quanto riguarda la sfera lavorativa, l'individuazione della posizione geografica e il trasferimento dell'informazione tramite l'utilizzo degli strumenti più opportuni, necessita la chiarificazione della corretta posizione e del sistema di riferimento spaziale utilizzato. Le posizioni possono essere individuate attraverso differenti tipi di sistemi di referenziazione geografica: l'individuazione di luoghi civici, che spesso hanno la necessità di avere un maggior dettaglio; l'utilizzo di coordinate e segmenti lineari. Le coordinate sono una sequenza di numeri che designano la posizione di un punto nel spazio e sono espresse nel sistema di riferimento delle coordinate (CRS). Tale sistema è un sistema che ha come riferimento la terra e sono definite nell'ISO 19111, documento che descrive la trasformazione delle coordinate e la conversione tra sistemi di coordinate differenti, al fine di permettere un'integrata collaborazione tra operatori usanti differenti sistemi. La proiezione su mappa delle coordinate tiene in considerazione la conversione tra il sistema di coordinate geodetiche e la proiezione su piano, convertendo latitudine e longitudine geodetiche in coordinate planari. In tal senso si ottiene il sistema di coordinate in due dimensioni chiamato sistema di riferimento di coordinate proiettate.

La mappa è una visualizzazione di informazioni geografiche, ma non è il dato stesso. L'OGC KML Standard è un linguaggio XML che permette di codificare e trasportare la visualizzazione di dati geografici in tecnologia *Earth* come applicazioni mobile o browser web. In sintesi KML codifica cosa visualizzare e come rappresentarlo, in quanto la visualizzazione grafica comprende la presentazione dei dati grafici sul globo e anche il controllo della navigazione degli utenti (ovvero di dove andare e dove guardare), pertanto lo sviluppo degli OGC KML standard Best Practice fornisce le linee guida per lo sviluppo dello standard OGC KML.

La rappresentazione digitale del mondo reale può essere ipotizzata come un insieme di aspetti, infatti ogni singolo non è altro che un'astrazione di un fenomeno reale ovvero per quanto riguarda l'aspetto geografico non è altro che la descrizione associata a una posizione rispetto alla Terra. L'approccio OGC per la modellazione di informazioni geografiche segue le linee fissate dalla norma ISO 19109:2005. La modellazione delle informazioni geografiche determina la conoscenza di molteplici proprietà caratterizzanti

ogni singolo aspetto. Tali tipi di proprietà possono essere operazioni, associazioni o attributi. Gli attributi possono essere molteplici: spaziale, temporale, qualità, posizione, tematica, metadati. È importante sottolineare che le informazioni geografiche possono essere di due categorie: discrete e continue; per quanto riguarda le informazioni discrete si riferiscono a oggetti che hanno confini ben definibili o estensione spaziale chiara, mentre le informazioni geografiche continue non hanno una chiara estensione e possono variare nello spazio. Il valore che un'informazione geografica continua può assumere ha significato se riferito ad una precisa posizione e in un particolare momento, infatti per la natura di alcune componenti del territorio alcune informazioni possono essere considerate discrete e continue alternativamente e pertanto le informazioni geografiche possono essere letti tramite dati di tipo raster o dati di tipo vettoriale. Un significato importante per la lettura dei dati è l'aspetto geometrico e topologico che permette una lettura chiara ed esaustiva delle informazioni richieste. Infatti la geometria fornisce il mezzo per la descrizione quantitativa dei dati spaziali, come dimensione, posizione, forma, orientamento e non è altro che la rappresentazione di punti, linee, poligoni che formano un oggetto geometrico. In particolare un oggetto geometrico è la combinazione tra la geometria di coordinate e il sistema di coordinate di riferimento utilizzato. La topologia, invece, è utile per caratterizzare le relazioni tra gli oggetti geometrici e mette in relazione le istanze funzionali al di là della caratteristica geometrica; infatti una caratteristica delle operazioni di interrogazione spaziale sono un processo che caratterizza le relazioni topologiche tra le diverse funzioni.

## GML Standards – Geography Markup Language

Il Markup language geografico è la grammatica XML che permette di esprimere le caratteristiche geografiche e in tal senso i server GML per i sistemi geografici necessitano di standards aperti per garantire la possibilità di interscambio di informazioni geografici tramite Internet. Il modello di informazioni GML è basato sugli standards internazionali ISO 19100 e sulle specifiche OGC.

In particolare il GML definisce la sintassi, i meccanismi e convenzioni dello schema XML che provvedono a ottenere framework aperti per la descrizione di applicazioni geospaziali per la trasmissione di informazioni geografiche e sostenere la creazione, manutenzione e conservazione di profili di schemi applicativi geospaziali e set di dati,



al fine di aumentare la capacità delle organizzazioni di condividere gli schemi applicativi geografici e le informazioni che ne descrivono il contenuto.

In tal senso, per garantire una maggiore diffusione di tali strumenti si è cercato di individuare per ogni profilo lo standard che ne permettesse un maggior utilizzo.

Uno dei tanti campi di applicazione del GML e in particolare del CityGML riguardano l'urbanistica e la progettazione architettonica, attività turistiche, i catasti, la sicurezza del territorio, dei veicoli e dei pedoni, le telecomunicazioni mobili e la robotica mobile.

I modelli CityGML sono basati su modelli ricchi di informazioni di uso generale, oltre a essere fornito di informazioni geometriche e di aspetto, lavorando sulla rappresentazione, conservazione e scambio di città virtuali 3D e modelli di paesaggio.

Il linguaggio BXML, Binary Extensible Markup Language, delinea un formato di codifica binaria per la buona rappresentazione dei dati XML, in particolare i dati caratterizzati da vettori di numeri.

## OGC SWE Standards – Sensor Web Enablement Information

L'OGC Sensor Web è un insieme di interfacce e protocolli che permette a un sensore web di accedere a tutti i tipi di sensori presenti sul web, infatti con il crescente utilizzo di sensori di ogni genere è necessario utilizzare degli standard affinché i dati registrati siano utilizzabili in rete. I componenti fondamentali che è necessario seguire sono costituiti da standard di:

- Observations & Measurements (O&M) Standard
- Sensor Model Language (SensorML) Standard
- SWE Common Data Model Standard
- Sensor Observation Service (SOS) Standard
- Sensor Planning Service (SPS) Standard
- Sensor Alert Service (SAS) Best Practice
- Web Notification Service (WNS) Best Practice

Gli OGC Observations & Measurements (O&M) Standard, pubblicati anche come ISO 19156, definiscono lo schema da utilizzare quando si effettuano delle osservazioni e per gli elementi coinvolti in quest'ultime. Una osservazione è un fenomeno istantaneo o di un periodo a cui è associata, tramite una procedura (un sensore, un algoritmo o uno strumento), un numero o un termine. L'implementazione XML di tale standard fornisce un modello per le funzionalità di campionamento quando si fanno osservazioni, codifica

importante per il Sensor Observation Service (SOS) Standard. In particolare delineano modelli per lo scambio di informazioni che descrivono le osservazioni e i loro risultati. L'OGC Sensor Model Language (SensorML) Standard definisce le linee guida per definire le caratteristiche geometriche, dinamiche e di osservazione dei sensori e sistemi di sensori possono essere definiti. Tali tipi di linguaggio determina la definizione di modelli di sensori per la geolocalizzazione di osservazioni da sensori remoti. È possibile definire diversi modelli matematici per individuare una posizione di un campione all'interno di una varietà di sistemi di coordinate. Tutti i processi e le componenti all'interno del SensorML sono codificati come schema di applicazione del modello di funzionalità nel codice GML.

L'OGC SWE Common Data Model Standard si pone come obiettivo il possibile accesso ai sensori e a tutti gli strumenti che lavorano con il recepimento dell'immagini da qualsiasi punto web, infatti già in precedenza l'OGC aveva stabilito degli standards per i servizi web di dati geospaziali: OpenGIS Sensor Observation Service (SOS), interfaccia per il servizio web per la richiesta, filtraggio, recupero di informazioni da sensori in situ o dinamici; OpenGIS Sensor Planning Service (SPS), interfaccia per i sensori di attività che permette la riprogrammazione o la taratura, l'avvio e la modifica di missioni di sensori, (OGC SPS Earth Observation Satellite Tasking Extension supporta il processo di programmazione dei sistemi di sensori per l'osservazione della terra utilizzati da molti *provider* di dati satellitari); OGC Sensor Alert Service (SAS) definisce un'interfaccia di servizi web per la pubblicazione e la sottoscrizione di avvisi provenienti da sensori.

### **Metadati geografici**

L'OGC in relazione a metadati geografici ha adottato l'ISO 19115:2003, in cui un l'informativo geografico-metadato delinea lo schema per l'identificazione, la portata, la qualità, lo schema spaziale e temporale, il riferimento spaziale e la distribuzione di dati geografici digitali, al fine di catalogare un set di dati e la descrizione di questi, i dati geografici, le singole caratteristiche geografiche e le proprietà. Inoltre l'OpenGIS Service Architecture ha pubblicato l'ISO 19119:2005, definendo uno schema di metadati di servizio per un catalogo, come accade per i set di dati metadati.

## **Geospatial Digital Rights Management Reference Model – GeoDRM RM**

L'OGC Geospatial Digital Rights Management Reference Model (GeoDRM RM) delinea un modello per la gestione dei diritti digitali delle risorse geospaziali. Il modello di riferimento fornisce un modello per i diritti che gli utenti (associati agli atti) possono eseguire nei confronti di una particolare risorsa geospaziale e le relative informazioni utilizzate nelle applicazioni e concessioni di tali diritti, come i metadati proprietari, diritti disponibili e l'emittente di tali diritti.

## **OGC WEB Services – Geospatial Services**

Il crescente utilizzo del computer e l'uso di sistemi di informazione ha favorito una maggiore applicazione di dati geospaziali all'interno di diverse discipline. I dataset geospaziali sono sempre condivisi e utilizzati per svariati scopi, sistemi di informazione geografica, sistemi di sensori, mappatura automatizzata, gestione delle strutture, analisi del traffico, sistemi di geolocalizzazione e altre tecnologie per le informazioni geospaziali sono sempre più integrati.

L'OGC OpenGIS Service Architecture delinea un quadro di riferimento per gli sviluppatori al fine di creare software che consentano agli utenti di accedere ed elaborare i dati geospaziali provenienti da diverse fonti, all'interno un ambiente aperto con interfacce informatiche generiche. È chiaro che per quadro di riferimento per gli sviluppatori si intende che gli standard OGC sono fondate su un piano globale e comune al fine di favorire il geoprocessing interoperabile; inoltre fornire la possibilità agli utenti di effettuare query di geodati da database remoti e controllare le risorse di elaborazione a distanza (come nei sistemi informativi che impiegano architetture orientate ai servizi) garantisce una apertura dell'ambiente informatico permettendo di operare in contesti in cui non si hanno interfacce proprietarie. Naturalmente gli standard OGC definiscono una specifica concettuale, ovvero una semantica geospaziale comune, come base per le molteplici specifiche di implementazione della piattaforma. È chiaro che una specifica verrà considerata completa quando avrà un modello concettuale o un'implementazione. I servizi offerti dall'OGC sono definiti sulla base dei principi fondamentali di un'architettura orientata ai servizi (SOA):

- un servizio è parte delle funzionalità offerte da un provider attraverso l'utilizzo di interfacce;
- un'interfaccia è un insieme di operazioni che consente a un provider la pubblicazione di un servizio in un formato leggibile;
- un'operazione, definita attraverso un nome e un insieme di parametri, è un'interrogazione (query) che l'oggetto riceve al fine di fornire l'informazione richiesta.

## **OGC WEB Services**

L'OGC Web Services (OWS) sono standards definiti tramite l'utilizzo di standard Internet aperti e non proprietari, come World Wide Web (WWW) standard di http, Uniform Resource Locator (URL), Multipurpose Internet Mail Extensions (MIME) e Extensible Markup Language (XML).

Nel documento "OGC Web Services Architecture Description" Best Practice sono riassunti gli aspetti importanti dell'architettura web dei servizi OGC. Tale architettura è un'architettura rivolta ai servizi, con componenti che garantiscono uno o più servizi ad altri servizi o ai clienti.

Il "OpenGis Web Service Common Implementation Standard" fornisce specifiche compatibili con gli standard dell'interfaccia OWS, tali specifiche sono relativi principalmente ad alcuni parametri e strutture di dati impiegate nelle richieste di operazioni e nelle risposte. Ogni implementazione dello standard prevede ulteriori aspetti dell'interfaccia, con inclusione di tutti i parametri aggiuntivi necessari alle richieste e alle risposte.

### **Web Map Service – WMS**

Il WMS è un servizio delineato da un'interfaccia in grado di determinare mappe dinamiche georeferenziate realizzate tramite dati provenienti da uno o più database geospaziali. Il risultato ottenuto dall'utilizzo di questo strumento è una o più immagini, avente il formato grafico richiesto dal client (jpg, gif, png) da visualizzare in un browser o in un'applicazione GIS, la quale quest'ultima permette di combinarla con altri layer definiti localmente o provenienti da ulteriori server WMS.

### **Web Feature Service – WFS**

Il WFS è un servizio che offre un dato geospaziale in formato vettoriale (feature), definito nel formato standard GML o Shapefile, il quale essendo fornito generalmente in lettura può essere interrogato, elaborato e scaricato. Tramite il servizio WFS-T è possibile l'accesso, la creazione e la modifica del dato preso in esame.

### **Web Coverage Service – WCS**

Il WCS è un servizio che fornisce oggetti e dati tramite griglie di dati georeferenziati, come le immagini fotorestituite, le foto satellitari e i dati DEM (fenomeni variabili nello spazio).

### **Sensor Web Enablement – SWE**

Il SWE è uno strumento che ha l'obiettivo di definire gli standard che permettono il collegamento al Web da parte di tutti i tipi di sensori di misura e monitoraggio. Gli standard di tale tecnologia sono stati descritti nel precedente paragrafo.

## **4.5. Progettazione del sistema**

L'importante utilizzo dei dati e dei servizi geospaziali da parte degli utenti al fine di raggiungere risultati prefissati, necessita l'esistenza di interfacce utente che consenta di accedere al materiale necessario. Per gli utenti web un'interfaccia utente di rilevante importanza sono i portali, infatti l'OGC Geospatial Portal Reference Architecture Discussion Paper sviluppa degli standard per i portali geospaziali al fine di aiutare gli utilizzatori della tecnologia geospaziale. Tale documento è pertanto utile per lo sviluppo e acquisizione di portali che utilizzano applicazioni che “plug and play” (inseriscono e lavorano) con i dati geospaziali.

Unico punto di accesso alle informazioni è un portale web, legato a diverse applicazioni correlate e basate su Internet, che presenta informazioni da fonti diverse in modo unificato, permettendo in tal modo una migliore comunicazione tra i vari tipi di utenti. Nel documento “OWS Integrated Client Discussion Paper” si descrive il concetto di base di fornire un ambiente unificato che permette a un utente di visualizzare, analizzare e modificare i dati da numerosi servizi web OGC contemporaneamente.

I portali e le applicazioni client rappresentano solo la punta di Decision Support Services (DSS) geospaziali, che forniscono l'accesso interoperabile ai servizi web

geospaziali al fine di aiutare i decisori nella formazione, analisi e selezione di alternative.

Al fine di agevolare e favorire la gestione delle informazioni è necessario quindi prevedere l'utilizzo, nonché la progettazione, di un sistema informativo territoriale (SIT). Il primo aspetto da gestire per la progettazione di un SIT è la progettazione concettuale di tale strumento, fase successiva all'analisi dei requisiti e necessaria per l'integrazione dei vari settori analizzati nelle specifiche dei requisiti. In tal senso la progettazione concettuale di un SIT prevede l'identificazione funzionale dell'architettura del sistema informatico e il suo inserimento nel sistema informativo. Lo scopo della progettazione concettuale è pertanto la volontà di integrare le descrizioni settoriali e manifestarle in maniera formale, producendo un progetto completo e indipendente dall'efficienza delle applicazioni e dalla tecnologia adottata.

In riferimento ai dati geografici, le descrizioni sono pensate come informazioni georeferenziate interessanti la rappresentazione spaziale tramite linee, punti o aree, pertanto i SIT sono progettati al fine di codificare digitalmente le componenti spaziali di tali oggetti attraverso l'associazione di un certo numero di attributi alfanumerici. Per quanto riguarda l'aspetto topologico dei dati geografici, la codifica nel geodatabase è incentrata sulla teoria dei grafi rappresentando le reti tramite insiemi di nodi e archi. Tale procedimento è utile al fine di astrarre la forma della figura e rappresentare facilmente le connessioni, le adiacenze e le coincidenze.

La progettazione di un SIT, pertanto, può prevedere diversi punti, eseguibili a cascata al fine di garantire un risultato ottimale. In particolare può seguire il seguente schema: completamento degli schemi di settore (definizione dei tipi oggetto delle classi, individuazione delle generalizzazioni, trattamento delle dipendenze funzionali, completamento della definizione delle associazioni e delle classi), integrazioni degli schemi di settore (risoluzione dei conflitti di nome, tipo e vincolo, determinazione di schemi, analisi delle relazioni dell'interschema), ristrutturazione (eventuale) dello schema finale, definizione dell'architettura delle operazioni e controllo della completezza delle operazioni e consistenza con i dati.

Fondamentale per un ciclo di vita di un SIT è pertanto la pianificazione e progettazione del database, elemento determinante per la costituzione e l'utilizzo di un sistema informativo di ogni natura. La pianificazione ha lo scopo di decidere e specificare come i dati vengono strutturati (sia logicamente sia fisicamente), come le informazioni vengono presentate e come i dati vengono gestiti. È evidente che in questa fase, che

precede la vera e propria progettazione, è necessario specificare tutti gli aspetti determinanti alla gestione, acquisizione e conversione dei dati, affrontando le problematiche relative alla simbologia da adottare, i ruoli e i livelli di accesso al sistema e alla struttura dell'ambiente di lavoro degli utenti. Tale fase riveste in tal modo un ruolo rilevante per la progettazione, in quanto definisce formalmente le procedure e gestisce le risorse. Le principali attività previste nella fase di progettazione sono: la scelta delle sorgenti dei dati per ogni entità o attributo, la progettazione fisica del database, la determinazione delle procedure di acquisizione e conversione dei dati e delle procedure di gestione e manutenzione dei dati.

Naturalmente tali fasi sono da svolgersi simultaneamente allo studio e realizzazione di un prototipo del sistema (ed eventualmente ai test di verifica).

Le fasi di pianificazione, progettazione e realizzazione di un prototipo sono correlate tra loro, in quanto il prototipo si basa sullo schema logico/fisico e sull'architettura del sistema e allo stesso tempo la fase di pianificazione necessita dell'informazioni sulle performance e sui risultati del sistema che provengono dai test. Pertanto al fine di ottenere un buon risultato è necessario procedere in maniera incrementale e parallelamente in tutte le fasi, iniziando con un progetto logico semplice in modo da definire un prototipo iniziale atto a testare il sistema e gli strumenti. Così procedendo si arriverà ad ottenere un prototipo che dispone di informazioni utili per: valutare e scegliere lo strumento adatto per il sistema, determinare una stima realistica dei tempi e dei costi su cui basare le attività. È necessario sottolineare che la scelta dello strumento in molti casi è legata non solo allo schema concettuale e all'analisi dei requisiti, ma soprattutto all'ambiente in cui il sistema verrà utilizzato e alle interazioni che si hanno con i sistemi pre-esistenti.

#### 4.5.1. Costruzione di un SIT

La costruzione di un sistema informativo territoriale prevede in sintesi lo svolgimento di alcune fasi, in particolare:

- Raccolta di dati.
- Acquisizione e conversione dei dati nel formato richiesto.
- Costruzione del database (i dati acquisiti vengono organizzati e inseriti in uno schema).

- Gestione delle modifiche (aggiornamento periodico dei dati attraverso procedure standard).
- Uso e manutenzione (procedure di gestione dei dati).

Effettuate tali fasi, il processo di schedulazione è garantito dagli elementi software necessari per lavorare con un SIT.



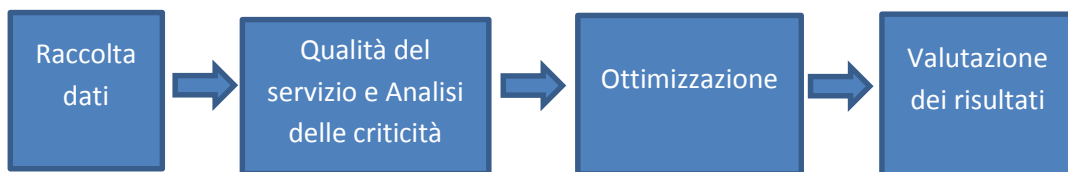
## Capitolo Quinto

### *Applicazione della metodologia a un caso di studio*

#### 5.1. Introduzione

L'obiettivo generale dello studio riguarda l'analisi di una linea di trasporto collettivo attraverso l'utilizzo di un framework metodologico interamente basato su strumenti Open Source. L'obiettivo specifico si configura invece nell'ottimizzazione della qualità del servizio attraverso una riallocazione ottimale delle fermate, grazie all'utilizzo di un approccio multicriterio.

La metodologia utilizzata ha l'obiettivo di far emergere nel corso dell'elaborazione della soluzione progettuale le criticità legate alla copertura e all'accessibilità al servizio.



#### **Raccolta dei dati**

Il primo passo è volto ad inquadrare e caratterizzare lo stato di fatto dell'area in cui il servizio si inserisce, del contesto urbanistico con il quale deve colloquiare e con il grado di attività di ogni singola fermate. L'indagine riguarda:

- Il contesto urbanistico;
- La posizione di ogni fermata;
- Il carico dinamico a bordo per ogni corsa;
- I tempi di viaggio.

#### **Qualità del servizio e analisi delle criticità**

Questo passaggio rappresenta un approfondimento specifico sui parametri di qualità del servizio, una valutazione basata sulla metodologia proposta dal Transit Capacity and Quality of Service Manual, determinata:

- Dalla tipologia dei poli attrattori e del tessuto urbano;

- Dai problemi di conflittualità tra i pedoni e gli elementi infrastrutturali;
- Dalle caratteristiche dell'utenza prevista per l'area;
- Dai tempi di servizio.

### **Ottimizzazione**

La fase di ottimizzazione comporta una riallocazione ottimale di un sottogruppo di fermate che, rispetto alla configurazione originaria, prevede lo spostamento o l'eliminazione di tutte quelle fermate che non si trovano in prossimità di un polo attrattore, di una stazione di interscambio, o che hanno registrato in fase di raccolta delle informazioni in grado di attività piuttosto elevato.

### **Misurazione dei risultati**

L'ultima fase della metodologia prevede la misurazione dei parametri di qualità del servizio a seguito della riprogettazione.

## **5.2. Raccolta dei dati**

La fase di raccolta dei dati è stata supportata da un'applicazione per smartphone Android, Digital Bus Ride, sviluppata ad hoc per lo studio presso il Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università della Calabria. L'applicazione consente, grazie ai diversi sensori di cui gli smartphone di ultima generazione sono equipaggiati, la digitalizzazione di ogni singola corsa. In particolare, grazie al chip GPS integrato, è in grado di localizzare ogni fermata e associare alle informazioni spaziali i carichi dinamici a bordo aggiunti manualmente dal rilevatore.

La localizzazione ottimale di ogni fermata presuppone infatti una conoscenza dettagliata del territorio, ma anche del bacino di utenti potenziali che usufruiscono del servizio. Le analisi delle informazioni geospaziali acquisite da smartphone, sono state effettuate in ambiente GIS desktop con il software QuantumGis, con GRASS e con il supporto del DBMS PostgreSQL con estensione geografica PostGis.

Tale framework ha consentito la ricostruzione di un modello virtuale dell'area di riferimento al fine di modellare le variabili rappresentative del servizio in analisi e misurarne gli effetti dell'ottimizzazione in tempo reale.

### 5.2.1. La fonte dei dati

I dati territoriali utilizzati per l'analisi dell'autolinea Cosenza-Università sono stati selezionati da un insieme di provider che, in maniera gratuita e libera da qualsiasi vincolo, distribuiscono dati geografici sul territorio nazionale.

Il primo fornitore scelto è il Comitato Permanente per i Sistemi Informativi Geografici (CPSG), raccolti all'interno del database DBPrior10K. Il CPSG nell'ambito dell'Intesa Stato, Regioni, Enti Locali sui Sistemi Informativi Geografici (IntesaGIS), e col supporto del Gruppo di lavoro "Database Topografici", oltre a monitorizzare le sperimentazioni che si stanno realizzando in ambito regionale, ha prodotto specifiche tecniche per la realizzazione di database topografici. Il risultato delle attività dell'IntesaGIS, è stato l'assemblaggio e l'integrazione, su scala nazionale, dei singoli database realizzati a scala regionale. Secondo quanto riportato sul Documento Informativo di Dettaglio contenente le specifiche tecniche predisposte nell'ambito dell'IntesaGIS, "i DBPrior10K sono considerati come un prodotto intermedio costruito secondo specifiche comuni, con lo scopo di: anticipare la realizzazione dei database topografici definitivi previsti in tempi più lunghi; realizzare un prodotto omogeneo a livello nazionale; fornire una base per ulteriori applicazioni condivise quali protezione civile, vincoli ambientali e paesaggistici, ecc."

I DBPrior10K sono composti da diversi livelli informativi quali la viabilità stradale, la viabilità ferroviaria, l'idrografia, gli ambiti amministrativi, ed i centri abitati; per lo studio sono stati utilizzati i limiti amministrativi e i centri abitati.

La seconda fonte di dati è il Geoportale Nazionale (GN), un portale tematico per la consultazione e il prelievo di dati territoriali relativi al contesto nazionale. Il Geoportale Nazionale permette la visualizzazione e l'utilizzo della cartografia di base nazionale, prodotta a seguito dell'accordo integrativo tra Stato e Regioni dall'ottobre del 2000 sul Sistema Cartografico di Riferimento. L'obiettivo strategico del GN è quello di promuovere e diffondere l'utilizzo dei Sistemi Informativi Territoriali, di rendere le informazioni di carattere ambientale e territoriale disponibili ad un pubblico vasto anche di non addetti ai lavori, tenendo in considerazione i progetti e le attività attualmente in corso a livello nazionale ed europeo.

Attualmente tra gli strati cartografici disponibili, tutti tra loro sovrapponibili, troviamo:

- ortofoto b/n e colore;

- cartografia IGM;
- modello digitale del terreno;
- toponimi;
- limiti amministrativi;
- aree protette;
- descrizione dei suoli;
- pianificazione del territorio;
- batimetrica dei mari;
- rischio di erosione della costa;
- unità fisiografiche della costa;
- linee ferroviarie;
- date delle ortofoto;
- geologica terrestre;
- CORINE Land Cover.

Per la viabilità stradale sono resi disponibili tutti gli elementi rappresentanti gli assi delle Autostrade, delle Strade Statali, Regionali e Provinciali, le varie strade extraurbane ed urbane di scorrimento nonché le strade comunali o militari che garantiscono, nel complesso, la connessione del grafo stradale di tutti i centri abitati elencati nella relativa copertura ISTAT.

I dati sono stati prelevati attraverso l'utilizzo di QuantumGIS nella modalità OpenGIS Web Service (OWS). I servizi OWS, sono prodotti geospaziali pubblicati e condivisi tramite web, basati su standard definiti dall'Open Geospatial Consortium (OGC), una organizzazione internazionale volontaria e no profit per la definizione consensuale di standard per servizi geografici e location based services (LBS).

Lo scambio dei dati si basa sul protocollo http; utilizzando un web service si permette l'interazione tra servizi web e applicazioni mediante l'invio di messaggi in formato XML (eXtensible Markup Language). L'intero sistema di comunicazione è indipendente dalla piattaforma hardware, dal sistema operativo e dal formato originario dei dati: qualsiasi software client e server possono comunicare tra di loro purché implementino in modo corretto gli standard.

La procedura sul software QuantumGIS prevede i seguenti passaggi:

- il client contatta il server e lo interroga sulle sue funzionalità;

- il server fornisce al client un documento XML contenente la descrizione del servizio offerto, dal punto di vista delle funzionalità e dei dati disponibili;
- utilizzando come riferimento il documento di descrizione inviato dal server il client genera la propria richiesta;
- il server fornisce i dati in un formato standard (GML o immagini) seguendo le richieste inoltrate dal client.

I servizi OWS del Geoportale Nazionale utilizzati per lo studio sono:

**WMS:** lo standard OGC Web Map Service Interface Standard (WMS) fornisce un'interfaccia HTTP per richiedere e fornire mappe (georeferenziate) come immagini. Il client richiede la mappa specificando sia l'area da coprire che i tematismi da visualizzare, tematismi che sono combinati dal server secondo le specifiche del client. Il server restituisce un'immagine che rappresenta la mappa in un formato standard (PNG, JPEG, ecc.).

**WFS:** produce dinamicamente informazioni geografiche di tipo vettoriale. Lo standard OGC Web Feature Service (WFS) fornisce l'accesso diretto a informazioni geografiche a livello di primitive (feature) e loro attributi. E' possibile scaricare e modificare solo le primitive richieste dall'utente, invece che l'intera mappa.

L'utilizzo dei servizi WMS/WFS ha comportato due importanti e indiscutibili vantaggi per i dati geografici utilizzati per lo studio: l'inutilità di duplicazione dei dati in locale; la certezza di consultare/utilizzare una versione certificata dei dati richiesti in quanto il dato viene distribuito direttamente da chi lo produce o ne certifica l'attendibilità.

Secondo la struttura della segmentazione dinamica, gli elementi lineari, tra un'intersezione ed un'altra, sono continui senza che vi siano interruzioni della continuità degli archi in corrispondenza di eventuali cambiamenti degli attributi che sono contenuti all'interno delle tabelle di evento e possono essere associati dinamicamente agli archi.

Gli archi contengono nella loro struttura, oltre alle coordinate dei vertici, anche la coordinata lineare metrica della lunghezza. Le tabelle di evento, invece, contengono gli attributi associati all'arco e gli intervalli delle progressive metriche per cui l'attributo è valido.

Visualizzando gli archi in un software GIS in grado di gestire la segmentazione dinamica, è possibile visualizzare le tabelle di eventi come un insieme di tratti sovrapposti agli archi, contenenti gli attributi associati agli elementi lineari. Gli elementi

puntuali individuano le intersezioni degli elementi lineari, e sono codificati in modo da descrivere il tipo di intersezione che rappresentano.

I dati relativi ai limiti amministrativi sono costituiti dalle informazioni ISTAT 1991 disponibili all'avvio del progetto DBprior10k e sono costituiti da elementi rappresentativi le Unità Amministrative Regionali Provinciali, Comunali ed i vari Centri Abitati.

L'aggiornamento dei dati territoriali del DBprior10k della Regione Calabria è stato condotto sulla base dei dati I.Stat, un archivio informatico, il cui accesso è libero e gratuito, contenente i risultati delle statistiche prodotte dall'ISTAT. I dati sono presentati in forma aggregata in tavole multidimensionali, con la possibilità di comporre tabelle e grafici personalizzati, agendo sulle variabili e sui periodi di riferimento interrogando il sistema per parola chiave, per tema e per territorio.

I dati territoriali del DBprior10k della Regione Calabria, risalenti al 1991, ed aggiornati a gennaio del 2014 per mezzo dei database prodotti da I.Stat, sono stati rappresentati su una base cartografica digitale georeferenziata.

Come base cartografica, è stata utilizzata la piattaforma di mappatura Open Street Map, un progetto che punta a creare e rendere disponibili dati cartografici, liberi e gratuiti a chiunque ne abbia bisogno. Il progetto è stato lanciato perché la gran parte delle mappe normalmente si pensano libere, hanno, in realtà restrizioni legali o tecniche, impedendo quindi alle persone il loro uso per scopi produttivi.

I dati relativi alle caratteristiche fisiche della linea sono stati ricavati mediante indagini e misurazioni dirette condotte sul territorio di riferimento attraverso l'utilizzo del software per smartphone Android "Digital Bus Ride", mentre le caratteristiche operative sono state ricavate dalla Carta dei Servizi redatta dal Consorzio Autolinee e disponibile sul sito ufficiale.

### 5.2.2. Analisi del contesto urbanistico

Il trasporto pubblico collettivo è potenzialmente il fattore di completamento per eccellenza della pedonalità nell'ambito di un contesto urbano. Una corretta localizzazione e, di conseguenza, un'adeguata accessibilità delle fermate è dunque fattore fondamentale nella determinazione dell'attrattività del sistema di trasporto pubblico collettivo rispetto alle altre modalità di trasporto.

Per le fermate dell'autobus, ai fini dell'individuazione dei poli attrattori di traffico pedonale e la presenza di stazioni di interscambio serviti dalla fermata stessa, si considera un raggio di influenza di 400 m. Pertanto una delle prime valutazioni che devono essere effettuate riguarda proprio il contesto urbanistico in cui è collocata o si vuole collocare la fermata, analizzando gli usi del suolo che ricadono all'interno di un raggio di 400 m dalla fermata, con particolare riferimento ai tessuti residenziali con relative densità (calcolate sulla base dei dati Istat aggiornati al 2013, data dell'ultimo censimento disponibile), ai tessuti commerciali e alla presenza di particolari poli attrattori, quali scuole, servizi sanitari e uffici pubblici, che possono generare particolari esigenze in termini di accessibilità dell'area. La stessa analisi deve riguardare sia lo stato dell'arte, sia le previsioni di sviluppi futuri nell'ambito urbanistico all'interno della pianificazione territoriale locale.

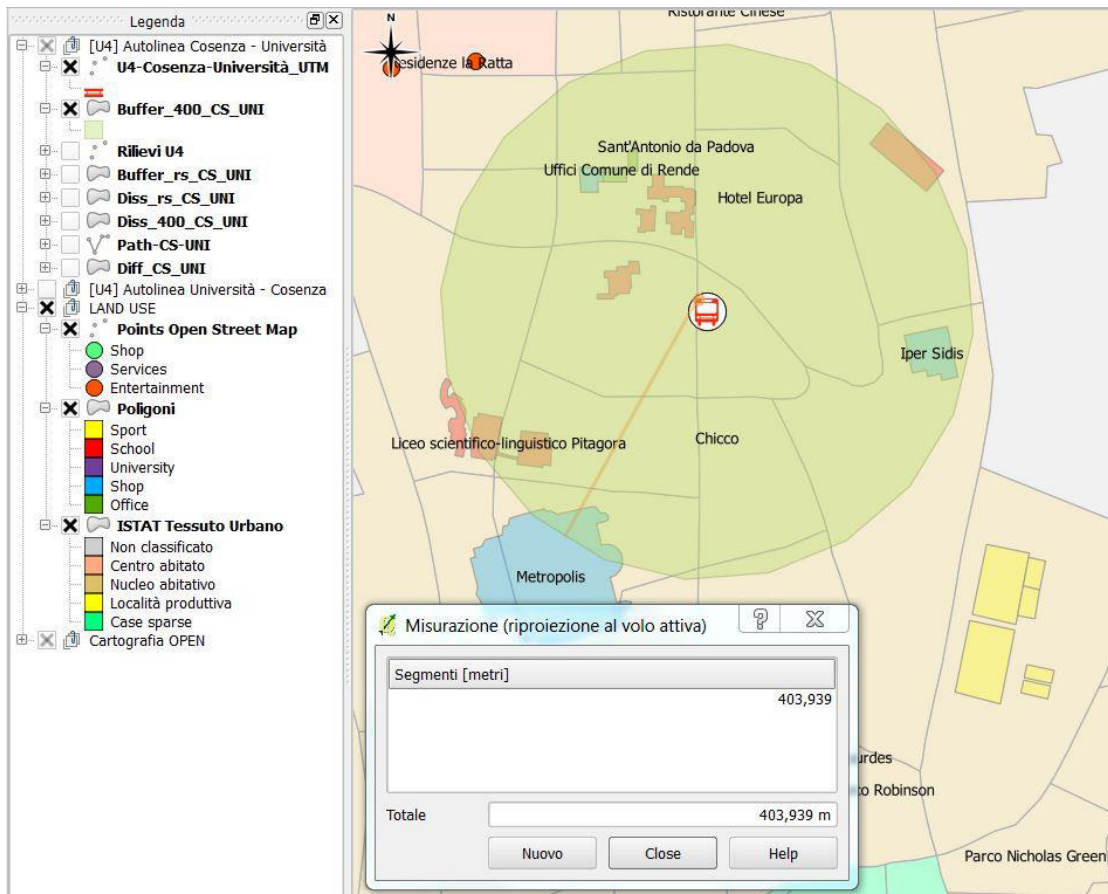


Figura 3 - Analisi del contesto urbanistico - Dettaglio di una fermata

Nel caso specifico del presente studio, l'analisi spaziale del contesto urbanistico per ogni singola fermata è stata effettuata in seguito alla post produzione dei dati rilevati tramite smartphone. In tal modo è stato possibile operare su dati georeferenziati con

tecnologia GPS e validati attraverso un software GIS per l'analisi geospaziale delle informazioni.

### 5.2.3. Determinazione della posizione di ogni fermata

Per la determinazione della posizione delle singole fermate della linea di trasporto collettivo esaminata sono state utilizzate diverse fonti di dati. La prima fonte è relativa alla carte dei servizi dell'azienda unitamente alla tabella oraria della linea in esame; successivamente, grazie ai dati acquisiti in fase di rilievo tramite smartphone, è stato possibile ricostruire il modello virtuale della linea validando per ogni fermata la posizione con cartografia Google.

#### 5.2.3.1. Carta dei servizi del trasporto pubblico locale e tabella oraria

Le prime informazioni acquisite provengono dalla carta dei servizi e dalla tabella oraria rilasciati pubblicamente dal Consorzio Autolinee S.r.l. di Cosenza, e riguardano l'orario del servizio pubblico e la denominazione delle singole fermate della linea Cosenza-Università (U4).

La carta dei servizi è un documento che individua i principi, le regole e gli standard di qualità dei servizi erogati ad opera dell'azienda di trasporto pubblico collettivo che la rilascia, al fine di divulgare le informazioni circa l'impegno dell'azienda sulla metodologia di erogazione del servizio stesso.

Il Consorzio Autolinee S.r.l. di Cosenza è una società consortile che opera dal 1973 nel settore del trasporto pubblico locale nell'area geografica che comprende il comune di Cosenza, di Rende e l'Alto Tirreno Cosentino. L'azienda esercita nel complesso 22 autolinee di Trasporto Pubblico Locale un totale di 3'252'168,600 Km complessivi intorno all'Area Urbana cosentina ed Hinterland (Cosenza, Università, Rende, Marano M., Marano P., Montalto Uffugo, Lattarico, Castrolibero e Paterno C.) e intorno al Versante Tirrenico cosentino (Scalea, Orsomarso, Diamante, Belvedere M., Sangineto, Bonifati, Cetraro, Guardia Piemontese, Acquappesa, Fuscaldo, Paola e Catanzaro).

In particolare, il trasporto da Cosenza all'Università e viceversa, impegna l'azienda in maniera importante. Si tratta infatti dell'autolinea più impegnativa sia in termini di esercizio che di mezzi e conducenti impegnati. L'autolinea Cosenza-Università (U4) rappresenta l'asse portante dell'intera azienda, sia in termini tecnici sia in termini economici.



Dell'autolinea Cosenza-Università, le informazioni rese disponibili dall'azienda sono di seguito riportate, in un dettaglio della tabella oraria della stessa linea.

COSENZA- UNIVERSITA'				UNIVERSITA'-COSENZA			
Ora	Partenza	Arrivo	N° bus	Ora	Partenza	Arrivo	N° bus
07.30	Cosenza	Università	2	08.00	Università	Cosenza	1
07.45	Cosenza	Università	2	08.15	Università	Cosenza	1
08.00	Cosenza	Università	5 *	08.30	Università	Cosenza	4 *
08.20	Cosenza	Università	3	08.50	Università	Cosenza	1
09.00	Cosenza	Università	4 *	09.30	Università	Cosenza	4 *
10.00	Cosenza	Università	3	10.35	Università	Cosenza	3
11.00	Cosenza	Università	1	11.35	Università	Cosenza	4 *
11.05	Cosenza	Università	4 *	12.05	Università	Cosenza	3
11.35	Cosenza	Università	3	12.35	Università	Cosenza	4 *
12.05	Cosenza	Università	4 *	13.05	Università	Cosenza	3
12.35	Cosenza	Università	4	13.35	Università	Cosenza	3 *
13.05	Cosenza	Università	4 *	14.05	Università	Cosenza	3
13.35	Cosenza	Università	3	14.30	Università	Cosenza	4 *
14.00	Cosenza	Università	4 *	15.30	Università	Cosenza	4 *
15.00	Cosenza	Università	4 *	16.30	Università	Cosenza	2
16.00	Cosenza	Università	2	17.35	Università	Cosenza	3 *
17.00	Cosenza	Università	3 *	18.35	Università	Cosenza	3 *
18.05	Cosenza	Università	3 *	19.05	Università	Cosenza	2
18.35	Cosenza	Università	2	19.35	Università	Cosenza	3 *
19.05	Cosenza	Università	3 *	20.05	Università	Cosenza	2
19.35	Cosenza	Università	2	20.35	Università	Cosenza	3
20.05	Cosenza	Università	3	21.05	Università	Cosenza	2
20.35	Cosenza	Università	2	21.50	Università	Cosenza	1
21.05	Cosenza	Università	2	22.50	Università	Cosenza	1
22.20	Cosenza	Università	1	23.55	Università	Cosenza	1
23.25	Cosenza	Università	1				

Figura 4 - Dettaglio Orari Autolinea U4 - Cosenza - Università - Fonte: Consorzio Autolinee Cosenza

<p><b>FERMATE COSENZA-UNIVERSITA':</b>  <b>Cosenza Autostazione</b> - Via Falcone (Biocontrol) - C.O.M. - Viale Cosmai (Casermette) - Viale Cosmai (Farmacia Russo) - Roges (Camoli) - Via della Resistenza ( Ex Alfa Romeo) - Via Verdi (Palazzi Gemelli) - Via Verdi (Bar Cuba Libre) - Via Verdi (Palazzi Nervoso) - Via Volta (Hotel President) - Quattromiglia (villetta Giorgelli) - Palazzo Matrangolo - Università Cus - <b>Università Terminal</b> - Università Dip. Sc. Terra - Università' Centr. Tecnologiche.</p> <p><b>FERMATE UNIVERSITA'-COSENZA:</b>            Università Centr. Tecnologiche - Università Dip. Sc.Terra - <b>Università' Terminal</b> - Università' CUS - Palazzo Matrangola - Quattromiglia (Bar Time Out) - Palazzi Nervoso - Commenda (SS19 Alfieri Sport) - Via Genova (Findomestic) - Viale Cosmai (Farmacia Russo) - Viale Cosmai (Casermette) - C.O.M. - Via Giulia (Biocontrol) - <b>Cosenza Autostazione.</b></p>
---

Figura 5 - Lista fermate Autolinea U4 - Cosenza Università - Fonte: Consorzio Autolinee Cosenza

Tali dati non sono tuttavia sufficienti per una localizzazione accurata di tutti i punti raggiunti dai veicoli, sia per l'assenza delle coordinate geografiche delle singole

fermate, sia per la presenza delle sole fermate principali all'interno del documento, che non tiene conto dunque delle fermate a chiamata da parte dell'utenza a bordo strada.

#### 5.2.3.2. Localizzazione tramite smartphone

Per la localizzazione accurata di ogni singola fermata è stato pertanto necessario effettuare, grazie all'utilizzo di un dispositivo dotato di tecnologia di localizzazione GPS, una serie di rilievi tali da consentire l'individuazione di tutte le possibili fermate effettuate dalla linea in esame.

La fase di rilievo è stata effettuata per mezzo del dispositivo HTC One, uno smartphone Android di ultima generazione equipaggiato con l'applicazione Digital Bus Ride. Questo smartphone è dotato di sistema operativo Android 4.2.2, processore quadcore con velocità di calcolo a 1700 Mhz, connettività HSDPA e Wifi per la connessione alla rete, GPS, A-GPS e Glonass per la localizzazione satellitare.

GPS (Global Positioning System) è un sistema satellitare che fornisce informazioni accurate di geolocalizzazione in tutto il mondo. Il sistema è composto da una rete dedicata di satelliti artificiali in orbita realizzata e gestita dagli Stati Uniti d'America, ma è liberamente accessibile da chiunque sia dotato di un ricevitore che supporta la tecnologia GPS. La localizzazione avviene tramite la trasmissione di un segnale radio da parte di ciascun satellite in vista e la successiva elaborazione da parte del dispositivo ricevitore. Il grado di accuratezza del sistema GPS è dell'ordine dei metri, in relazione alle condizioni meteorologiche, della disponibilità e della posizione dei satelliti, dalla qualità del ricevitore e dagli errori che comunemente viziano il sistema.

Sotto molti aspetti il GPS si comporta come un sensore di posizione e di movimento, anche se la posizione che restituisce è corretta da una serie di ulteriori sensori, tra i quali il giroscopio, che misura la velocità di rotazione del dispositivo, e il magnetometro, che rileva la forza del campo geomagnetico terrestre misurata in  $\mu\text{T}$ .

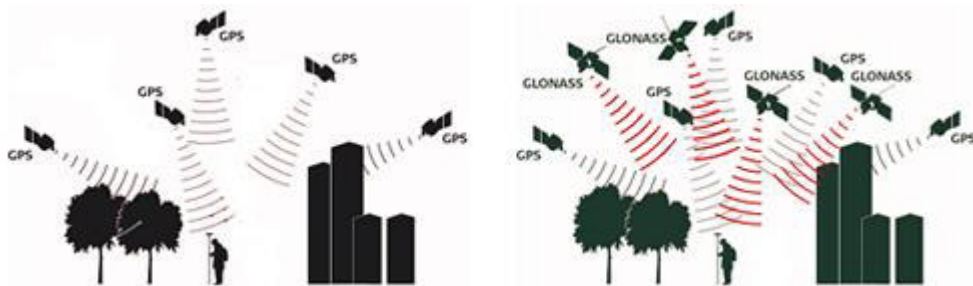
L'A-GPS (Assisted GPS) è un sistema che consente di abbattere notevolmente i tempi necessari alla prima localizzazione durante l'utilizzo di un dispositivo GPS. I vantaggi di tale tecnologia si osservano soprattutto nei "canyon urbani", nei quali a causa delle vie strette o nei viali fittamente alberati è difficile acquisire il segnale dai satelliti e decodificarne il messaggio di navigazione.

Uno dei principali problemi dei terminali GPS classici è infatti relativo alla prima localizzazione (il Fixing), in quanto un terminale, all'accensione, deve ricavare la lista dei satelliti in vista in quel momento, per potersi agganciare e cercare di rilevare la

propria posizione. Tale processo è in genere alquanto dispendioso in termini di tempo e risorse, ed il sistema A-GPS è stato studiato al fine di abbattere tali costi, anche in previsione di un utilizzo su terminali con basse capacità di elaborazione o con risorse energetiche limitate, quali gli smartphone.

Il sistema GLONASS (GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM) è un sistema satellitare di posizionamento globale realizzato dall'Ex Unione Sovietica circa nello stesso periodo del GPS americano, abbandonato in prima istanza dopo qualche anno per la crisi economica subita dalla Russia e ripreso successivamente nel 2002.

Il vantaggio che deriva dall'uso coordinato del sistema GPS e del GLONASS è caratterizzato dal fatto che l'osservazione di un numero maggiore di satelliti contemporaneamente consente maggiore accuratezza e tempi di acquisizione inferiori.



*Figura 6 - Confronto sistemi GPS / GPS+GLONASS*

L'utilizzo dei sistemi sopracitati non è l'unico modo per ottenere informazioni sulla posizione di un dispositivo Android. Il sistema può anche utilizzare la connessione Wi-Fi, le reti cellulari o altre reti wireless per ottenere la posizione corrente del dispositivo. Il GPS e le reti wireless (tra cui le reti Wi-Fi e le reti cellulari) agiscono come "fornitori della posizione" per i servizi di localizzazione su smartphone.

Tuttavia, al fine di determinare con la massima accuratezza la posizione delle fermate della linea analizzate, l'applicazione utilizzata per il rilievo è stata configurata in modo da ricevere informazioni di posizione unicamente dalla rete satellitare.

#### 5.2.4. Il rilievo tramite smartphone

L'utilizzo dell'applicazione "Digital Bus Ride" per smartphone Android ha consentito il rilievo puntuale dei dati di posizione di ogni fermata e, più in generale, ha fornito un prezioso supporto per la raccolta dei dati della linea Cosenza-Università.

I primi dati deducibili dalle informazioni provenienti dai satelliti ed elaborati dall'applicazione sono i tempi di viaggio di ogni corsa e i dwell time, inteso come l'intervallo di tempo necessario a far scendere e salire i passeggeri a bordo veicolo, inclusi i tempi di attesa e di apertura e chiusura delle porte. Attraverso un'interfaccia utente semplificata e grazie ad un selettore numerico automatico nella schermata di rilievo, l'applicazione consente di associare ad ogni fermata il numero dei passeggeri saliti e discesi.

Al termine di ogni rilievo, viene prodotto un file di testo contenente tutte le informazioni della linea e un file geografico per la visualizzazione su mappa dell'intera corsa. Le informazioni contenute nel file di testo creato sono organizzate su righe distinte, nel formato CSV (Comma Separated Values) tali da essere importate nell'area di lavoro di software specifici per l'elaborazione, quali ad esempio fogli di calcolo e Desktop GIS.

Il documento raccoglie le seguenti informazioni:

- Time, rappresenta l'orario di ogni fermata calcolata automaticamente dallo smartphone in formato Unix Timestamp, rappresentativo dell'offset in secondi della mezzanotte del 1° gennaio 1970 (comunemente chiamata epoca); questo formato può essere agevolmente convertito in data.
- Latitude, rappresenta la distanza angolare del punto rilevato dall'equatore, misurata in gradi come grandezza angolare ed espressa nel sistema di coordinate geografiche WGS84.
- Longitude, rappresenta la distanza angolare dal punto rilevato ad un meridiano di riferimento lungo lo stesso parallelo, che nel caso specifico è fissato a Greenwich dal 1884 (WGS84).
- Accuracy, indicativa dell'accuratezza della localizzazione espressa in metri relativa al punto rilevato.
- Name, rappresenta il nome della fermata assegnato automaticamente dall'applicazione, "Capolinea" nel caso della partenza, "Finecorsa" nel caso della fermata finale, "FermataX" per le fermate intermedie, che possono essere rinominate manualmente in post-processing sulla base delle informazioni provenienti dall'azienda e dai riferimenti urbanistici adiacenti alla fermata stessa.

- Up, rappresenta il numero di passeggeri che salgono ad ogni fermata, misurato attraverso un selettore automatico da parte del rilevatore con l'applicazione.
- Down, rappresenta il numero di passeggeri che scendono ad ogni fermata, misurato analogamente al valore dei saliti.
- Carico, rappresenta per ogni fermata il carico dinamico a bordo, calcolato come:
  - Carico = Passeggeri iniziali + Up – Down.
- Dwell Time, rappresenta il tempo che intercorre tra ogni fermata e la ripartenza alla stessa fermata, e viene calcolato come differenza in secondi del valore "Time" rilevato ad ogni pressione sul dispositivo dei tasti "Stop" e "Start", che indicano rispettivamente la fermata e la ripartenza.

```

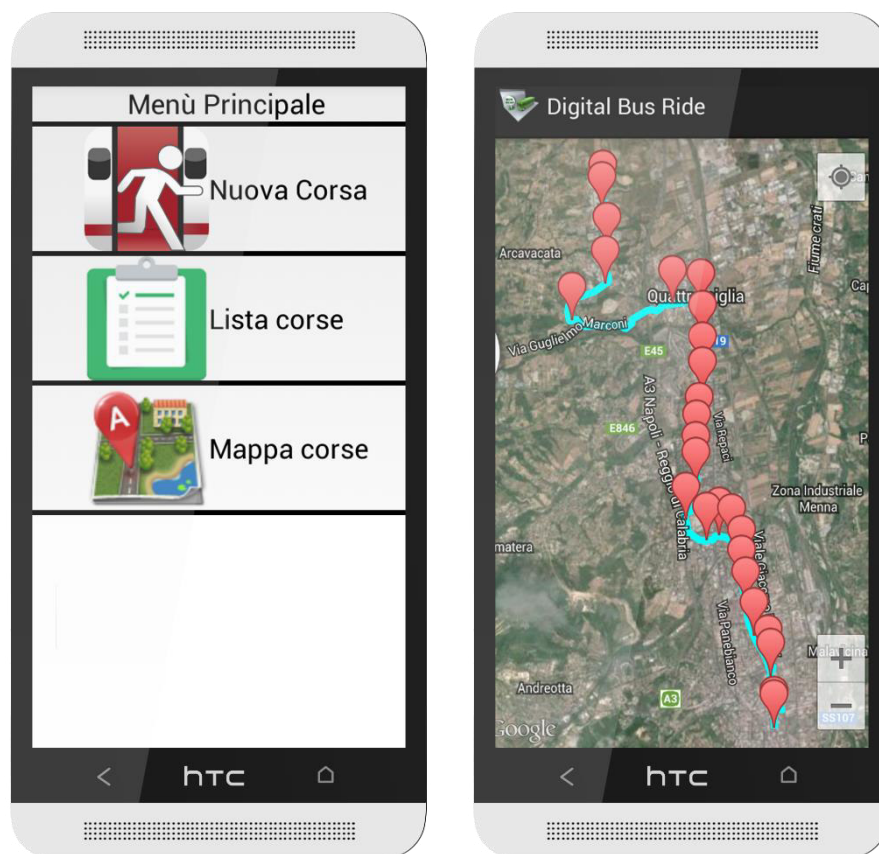
15-05-2014-04.18.23.txt - Blocco note
File Modifica Formato Visualizza ?
time;latitude;longitude;accuracy;name;up;down;carico;dwelltime
1400163463;39.36673327;16.22518635;13.0;Capolinea;0;0;22;0
1400163473;39.36682598;16.22534369;13.0;fermataX;3;2;23;6;
1400163488;39.36682905;16.22534413;32.0;fermataX;3;3;23;9;
1400163490;39.36682915;16.22534428;39.0;Finecorsa;0;23;0;

```

*Figura 7 - Dettaglio file di testo generato dall'applicazione*

Il file geografico creato ad ogni corsa parallelamente al file di testo viene generato in formato "kml", un linguaggio creato per gestire dati geospaziali in tre dimensioni nei programmi di visualizzazione cartografica (Google Earth, Google Maps, ecc.) basato su XML, uno standard più noto di markup, ovvero un linguaggio marcatore basato su un meccanismo sintattico che consente di definire e controllare il significato degli elementi contenuti in un documento o in un testo.

La creazione di questo file non rappresenta un supporto diretto alla georeferenziazione del servizio di trasporto collettivo in esame, ma consente un feedback visuale immediato per il rilevatore al fine di verificare la corretta operatività del dispositivo utilizzato.



*Figura 8 - Digital Bus Ride App - Dettaglio kml di un rilievo*

Seppur molto accurato nella localizzazione, lo smartphone non restituisce sempre la posizione esatta della fermata in fase di rilievo. Infatti, tra tutti i rilievi effettuati ad una singola fermata, è possibile notare uno scostamento variabile rispetto alla posizione reale della fermata, generando in tal modo una nuvola di punti intorno ad una posizione deducibile su GIS.

Per determinare la corretta localizzazione di ogni singola fermata, è stato necessario eseguire alcune operazioni in post produzione. Una prima operazione ha riguardato il “map matching” dei punti rispetto alla rete stradale, il processo di associazione di una serie di punti tracciati tramite GPS sulla rete stradale o in generale rispetto ad una mappa digitale.

Successivamente sono stati individuati i punti precisi attraverso l’interrogazione puntuale della mappa con “StreetView2Go”, un plugin di QuantumGis che consente l’utilizzo del servizio “Street view” di Google.

Google Street View è una caratteristica del servizio di Mapping di Google che fornisce viste panoramiche a 360° lungo le strade e permette una visione a livello del terreno.



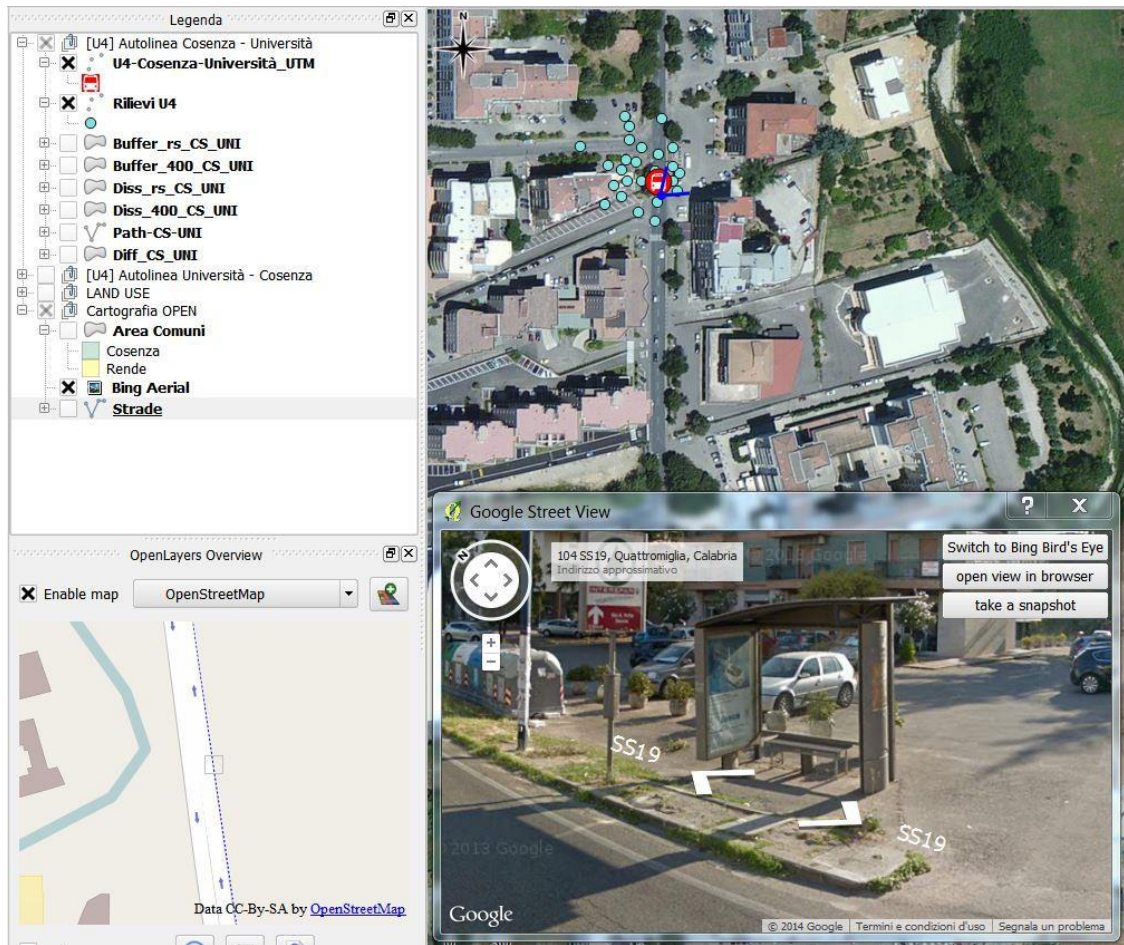


Figura 9 - Localizzazione di una fermata con Google Street View

A partire dai dati rilevati tramite smartphone, attraverso la validazione tramite GIS con cartografia Google, sono state individuate 29 fermate caratterizzanti la linea U4 nel percorso da Cosenza all'Università e 25 fermate per il percorso inverso, dall'Università al Terminal di Cosenza (Autostazione).

Le fermate individuate per la corsa Cosenza Università sono le seguenti:

ID	Nome Fermata
1	Cosenza Autostazione
2	Via Falcone (Biocontrol)
3	ALVI
4	C.O.M.
5	Viale Cosmai (Casermette)
6	Viale Cosmai (G.d.F.)
7	Viale Cosmai (Farmacia Russo)
8	Roges via Crati
9	Roges (Camoli)
10	Via Kennedy 1
11	Via Kennedy (Banca di Bari)
12	Commenda (Chiesa S. Antonio)
13	Commenda (Poltrone&Sofà)
14	Commenda (ANAS)
15	Viale della Resistenza (OVS)
16	Via Verdi (Bar Cuba Libre)
17	Via Verdi (Q8)
18	Via Verdi (Palazzi Nervoso)
19	Via Verdi (Farmacia Europa)
20	Via Volta (Bar Colosseo)
21	Via Volta (SF)
22	Via L.DaVinci (Poliambulatorio)
23	Quattromiglia (Parco Giorcelli)
24	Via Marconi (S.S. ERG)
25	Università CUS
26	Università Economia
27	Università (Dip. Scienze della Terra)
28	Università Dip. Ingegneria
29	Università Dip. Difesa del Suolo

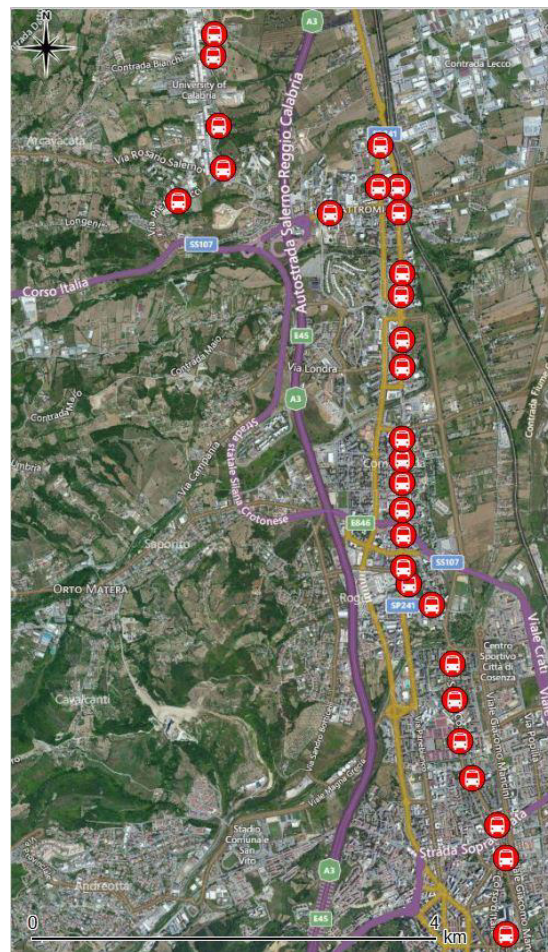


Figura 10 - Autolinea U4 - Cosenza-Università



Per quanto riguarda la corsa Università-Cosenza, sono state identificate le seguenti fermate:

ID	Nome Fermata
1	Università Dip. Difesa del Suolo
2	Università Dip. Ingegneria
3	Università (Dip. Scienze della Terra)
4	Università Economia
5	Unical (Chiesa Dehoniani)
6	Via Marconi (SS ERG)
7	Via L. Davinci (Bar Roma)
8	Via Rossini (Credem)
9	Via Rossini (Borromeo)
10	Via Rossini (Palazzi Fabiano)
11	Via Don Minzoni (Tecnoarredo)
12	Via Carlo Bilotti
13	Via Ciro Menotti (University Bar)
14	Via Ciro Menotti (Stadio Rende)
15	Commenda Alfieri Sport
16	Via Lenin (Mythos)
17	Metropolis
18	Via Genova (Findomestic)
19	Via Busento (Gelateria Zorro)
20	Via Cosmai (Farmacia Russo)
21	Viale Cosmai (Casermette)
22	Viale Borsellino (C.O.M.)
23	Viale Borsellino (ALVI)
24	Via Falcone (Biocontrol)
25	Cosenza Autostazione

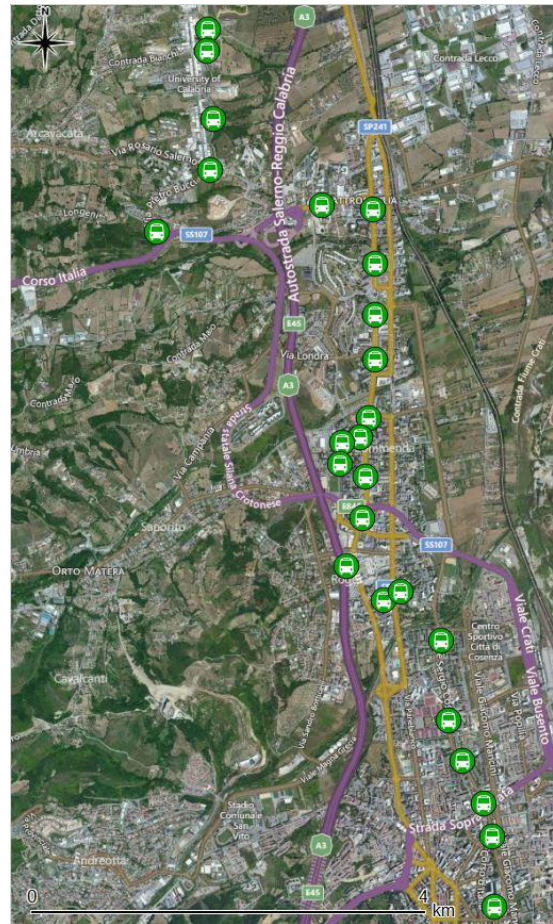


Figura 11 - Autolinea U4 - Università-Cosenza

### 5.3. Qualità del servizio e analisi delle criticità

La qualità del servizio è una caratteristica che interessa sia gli utenti che usufruiscono del servizio sia gli operatori, in quanto per gli utenti una scarsa qualità del servizio può determinare un cambiamento dello stile di vita delle persone, producendo un cambio di abitudini e conseguentemente una diversificazione di densità abitativa (legato a uno spostamento di zona maggiormente servita), per gli operatori una scarsa qualità del servizio può generare un mal funzionamento del servizio su tutta la rete, determinando in seguito a una diminuzione della domanda, una riduzione di corse che comporterebbe una conseguente riduzione sia di corse sia di personale. In opposizione a quanto sopraindicato una buona qualità fa sì che gli utenti utilizzano il servizio, incentivandone un maggior utilizzo anche per abitudini che non richiedono l'utilizzo del mezzo di trasporto pubblico. Naturalmente la differenziazione del modo di transito tra le aree urbane riflette le differenze del numero di popolazione, l'occupazione del centro e il costo del parcheggio, l'entità dei pullman nonché le caratteristiche geografiche del territorio. È chiaro che il trasporto pubblico risulta competitivo sia per il tempo sia per il costo rispetto all'auto in determinate condizioni operative, in quanto grazie al funzionamento attraverso l'utilizzo di corsie preferenziali o all'attraversamento esclusivo su zone a traffico limitato permette di ottenere un risparmio di tempo considerevole. Tale aspetto congiuntamente al risparmio sui costi permette di attrarre gli utenti, favorendo in tal modo una diminuzione della congestione del traffico e inevitabilmente una diminuzione dell'inquinamento. Da quanto è emerso finora, si è constatato che il servizio di trasporto pubblico è affetto direttamente e indirettamente da differenti fattori che includono:

- Transito dei passeggeri, i quali decidono il tipo di trasporto da utilizzare (quando si ha possibilità di scelta) oppure l'opzione di viaggio, che può essere determinata dalla qualità del servizio (quando non si ha possibilità di scelta);
- Il personale dell'azienda di trasporto pubblico, il quale deve effettuare delle scelte su come gestire le risorse al fine di soddisfare al meglio gli obiettivi basati sulle prestazioni del transito e sul sostegno finanziario verso le altre aziende, nonché quelli della azienda stessa;

- Gli automobilisti che interagiscono con i veicoli di transito da cui possono trarre benefici quando altri automobilisti decidono di utilizzare il mezzo di trasporto pubblico;
- I cittadini che possono supportare direttamente il servizio di trasporto pubblico;
- Motociclisti, che interagiscono con i veicoli di trasporto collettivo e che potrebbero trarre benefici quando altri motociclisti decidono di utilizzare il servizio di trasporto pubblico;
- Tutti i membri della comunità e i decisori, che potrebbero direttamente supportare il servizio pubblico attraverso le tasse, e anche trarne benefici indiretti dal ruolo che il servizio di trasporto collettivo gioca nella società (ad esempio livelli di congestione, qualità dell'aria, mobilità, fonte di impiego).

La qualità del servizio di trasporto pubblico può essere misurata attraverso l'osservazione di differenti aspetti che caratterizzano il servizio. Tali aspetti possono essere raggruppati in due macro aree: una riguardante la disponibilità del servizio e una relativa al comfort e a alla convenienza dell'utilizzo del servizio stesso.

### 5.3.1. Misure di disponibilità

La misura della disponibilità del servizio è descritta attraverso più aspetti che caratterizzano tale misurazione, ovvero quanto spesso il servizio è disponibile all'utilizzo (frequenza), per quanto tempo è previsto il servizio (tempo di esercizio) e il livello di accesso al servizio (accessibilità).

#### 5.3.1.1. La frequenza

La frequenza di un servizio di trasporto indica il tempo che l'utente attende per accedere al servizio di trasporto pubblico. I diversi modi di trasporto come l'uso dell'auto privata, la bicicletta, o andare a piedi, sono alternative sempre disponibili agli utenti per un utilizzo immediato, il servizio di trasporto pubblico può essere usato invece solo a tempi prestabiliti. Naturalmente una maggiore frequenza del servizio permette maggiori opportunità di spostamenti immediati e permette un maggior utilizzo del mezzo pubblico da parte dell'utenza cittadina, in quanto permette di usufruire di un servizio più performante e rispondente alle esigenze di tutti. Gli standard del servizio basati sulla frequenza sono in genere determinati sulla base del livello di percorso e sono collegate alle funzioni del percorso previsto, all'utenza o ad entrambi. Dal punto di vista del

passaggero, la qualità del servizio offerto si può riferire sia al servizio totale sia alle specifiche destinazioni.

Per calcolare la frequenza, si dividono i km del percorso (secondo la singola direzione) per la velocità del sistema al fine di determinare il tempo medio di viaggio per tutti i veicoli di tutti gli itinerari. Successivamente è necessario dividere il risultato per il numero di veicoli che operano sull'orario di punta per ottenere un picco medio in ore, moltiplicando per 60 si ottiene il risultato in minuti. Nel calcolo della frequenza del servizio in uno stato futuro, è necessario prevedere la domanda di utenza per il tempo di interesse, al fine di determinare il numero di richieste previste sulla fascia oraria attraverso una divisione della domanda oraria su transito standard previsto dall'azienda operante nel settore. In tal modo è possibile regolare le eventuali modifiche da apportare nella frequenza futura in seguito alla domanda dell'utenza, mediante il confronto dei risultati ottenuti dalle politiche affrontate precedentemente dall'azienda stessa.

Dal punto di vista dell'azienda, il valore di frequenza rappresenta un fattore chiave nella generazioni di costi operativi. A parità di tutti gli altri parametri infatti (ad esempio tempi di viaggio e km percorsi), raddoppiando la frequenza si raddoppiano i costi operativi e aumentano i costi di capitale legati al grado di utilizzo dei mezzi.

Dal punto di vista dei passeggeri, la qualità del servizio offerto dall'azienda relativo alla frequenza è legato anche al servizio fornito complessivamente ad una fermata (con altre corse) e alla destinazione (servita da più di una corsa).

Nel caso della linea Cosenza-Università, la frequenza del servizio è variabile in base a diverse fasce orarie che l'azienda ha considerato con domanda variabile, in particolare dalle 7:30 alle 8:30 la frequenza è di 15 minuti, dalle 8:30 alle 14:00 e dalle 18:00 alle 21:00 la frequenza è di 30 minuti, nelle restanti ore della giornata tra le 7:30 e le 23:55 la frequenza è di circa 60 minuti.

La frequenza variabile nell'arco delle ore di servizio della linea Cosenza-Università consente all'azienda un trade-off tra costi e livello di servizio ottimizzato sulla base della domanda osservata nel tempo. Infatti, essendo la linea dedicata agli spostamenti tra il Terminal principale ad uno dei principali poli attrattori dell'area in esame, l'Università della Calabria, gli intervalli di tempo con frequenza maggiore corrispondono agli orari di inizio e fine delle attività didattiche.

Con una frequenza media tra i 16 e i 30 minuti, la linea Cosenza-Università (U4), dal punto di vista dei passeggeri determina la necessità di consultare le tabelle orarie in

modo da minimizzare i tempi di attesa, e devono di conseguenza adattare i loro viaggi agli orari previsti dalle tabelle, in modo da arrivare in tempo alla fermata.

Dal punto di vista dell'azienda, questa frequenza fornisce un intervallo di avanzamento di circa 30 minuti, che si traduce nell'utilizzo di circa 2-3 veicoli all'ora.

### 5.3.1.2. Il tempo di servizio

Il tempo di servizio rappresenta le ore durante le quali il servizio di transito è previsto lungo un percorso. Tale aspetto del servizio è importante in quanto determina l'utilizzo da parte dell'utente del servizio di trasporto pubblico, infatti maggiore è il numero di ore in cui è presente il servizio e maggiore flessibilità avrà a disposizione l'utente per compiere i viaggi desiderati. Naturalmente tale aspetto, dal punto di vista dell'azienda, è considerato in relazione ai costi operativi, infatti maggiore è il numero delle ore in cui il servizio è disponibile e maggiore saranno i costi che l'azienda deve sostenere, in relazione a un maggior utilizzo di mezzi e di personale.

Ad ogni modo le ore di servizio sono calcolate considerando il servizio ogni ora oppure contando il numero di partenze, misurati entrambi in relazione a un'origine-destinazione. Per quanto riguarda le stime delle ore di servizio future è necessario analizzare le politiche che l'azienda di trasporto intende adottare.

A livello di sistema, la misura del *service span* può essere utilizzata per fornire un confronto con le ore di servizio realmente effettuate. Il *service span* è definito come il tempo tra il primo e l'ultimo servizio del giorno in qualsiasi parte del sistema, in modo tale da non riflettere le ore "medie" o "tipiche" del servizio sulle singole rotte.

Nel caso della linea Cosenza-Università, il tempo di servizio è di circa 16 ore, che dal punto di vista dei passeggeri viene percepito di alta qualità, che fornisce un servizio presto di mattina fino a tardi nella sera, consentendo un ampio range di spostamenti per diversi motivi disponibili (ad esempio corse per andare al lavoro per lavoratori dipendenti, corse per lo svago e altri motivi, corse per raggiungere linee di altri sistemi di trasporto pubblico al mattino presto).

Dal punto di vista dell'azienda, un tempo di servizio pari a 16 ore comporta l'impiego a tempo pieno di due autisti per veicolo; inoltre, per garantire la sicurezza dei passeggeri nelle ore notturne, l'azienda potrebbe segnalare alcune fermate come sicure, in modo da minimizzare la distanza a piedi tra il passeggero e la sua destinazione, e potrebbe distinguere delle corse specifiche per le ore notturne diverse rispetto a quelle effettuate durante il resto della giornata.

### 5.3.1.3. L'accessibilità

L'accessibilità è uno degli aspetti più importanti per il trasporto pubblico e caratterizza il modo con cui l'utente può raggiungere le fermate per utilizzare il trasporto pubblico. Tra i principali modi per accedere all'utilizzo del trasporto pubblico si riscontrano l'accesso pedonale, ovvero tramite una camminata è possibile raggiungere i punti in cui sono individuate le fermate, la bicicletta e l'auto. Naturalmente per quest'ultima è previsto un parcheggio nelle vicinanze della stazione o della fermata, in modo da poter parcheggiare e continuare il proprio percorso attraverso l'utilizzo di un mezzo pubblico. Tra le tre alternative relative al raggiungimento della fermata, quella che maggiormente desta particolare attenzione è il raggiungimento a piedi, in quanto per tale aspetto particolare importanza è incentrata sulla distanza che ogni singolo utente deve percorrere a piedi per raggiungere la fermata. Infatti nel considerare tale alternativa è necessario introdurre il concetto di copertura del servizio, rappresentante l'area racchiusa intorno al punto del servizio di trasporto, tale misura considerata singolarmente non garantisce un quadro completo della disponibilità del trasporto pubblico, ma combinata alle informazioni di frequenza e tempo di servizio permette di identificare l'opportunità che gli utenti hanno dalle diverse posizioni.

La copertura del servizio può essere determinata attraverso diversi aspetti: la densità del percorso, ovvero considerando il percorso km per km quadrato non valutando la distribuzione del servizio sull'area esaminata; la copertura geografica o della popolazione, analizzando la percentuale della superficie o della popolazione servita, ovviamente tra le due percentuali possono sussistere differenze in relazione alle caratteristiche urbane del territorio in esame, in quanto un sistema urbano può comprendere grandi aree rurali in cui il tasso di popolazione è molto basso, oppure possono essere presenti aree urbanizzate in cui la densità abitativa non è elevata, in quanto corrisponde a un tessuto urbano residenziale; la potenziale copertura del mercato di transito, in cui il servizio in rotta fissa richiede che determinati livelli di popolazione e di densità siano redditizi, analizzando la densità dell'area, che determina i potenziali clienti (misurare l'area di transito permette di analizzare il sistema).

L'area di copertura del servizio può essere determinata attraverso diversi livelli di complessità, partendo da un livello di pianificazione in cui si considerano solo i percorsi dalle fermate (o stazioni) fino a un'analisi più dettagliata che interessi i modelli di rete stradale, la conformità del tessuto urbano esistente, l'orografia del terreno e la

popolazione residente. In virtù del livello di complessità è utile considerare gli strumenti disponibili, prevedendo in tal senso l'utilizzo del software GIS, i dati disponibili, i quali necessitano un maggiore grado di dettaglio in considerazione del livello locale, il tempo a disposizione e il budget, i quali determinano le alternative da valutare in fase di analisi.

Nell'analisi di pianificazione l'area di copertura di una fermata è delimitata da un'area definita da un cerchio con centro sulla fermata che comprende una distanza di 400 m. Grazie all'utilizzo del software GIS è possibile definire tali cerchi intorno alle fermate e analizzare in tal modo il territorio interessato, andando a risolvere i punti di criticità che si delineano, quali autostrade, corpi idrici, mancanza di marciapiede e di attraversamenti che determinano così barriere per gli utenti. Naturalmente in considerazione dell'area di copertura è necessario tenere conto di eventuali dislivelli da percorrere per raggiungere la fermata posta in una zona avente altimetria differente, pertanto nell'analisi occorre valutare diversi fattori. In considerazione di tutti questi aspetti, l'espressione matematica è espressa nel seguente modo:

$$r_s = r_0 \times f_{sc} \times f_g \times f_{pop} \times f_{px}$$

Dove,

- $r_s$  : raggio del servizio di transito (m);
- $r_0$  : raggio ideale del servizio di transito, considerato di 400 m per le fermate degli autobus;
- $f_{sc}$  : fattore di connettività stradale;
- $f_g$  : fattore di altitudine della strada;
- $f_{pop}$  : fattore della popolazione abitante nella zona considerata;
- $f_{px}$  : fattore degli attraversamenti pedonali.

A causa del grande numero di fattori coinvolti, tale procedimento è idoneo per un tipo di analisi basata su piccole aree oppure può essere esteso ad aree più grandi in cui sono disponibili dati o dove l'analista sviluppa valori predefiniti per i dati mancanti.

### **Fattore di connettività stradale**

Attraverso la funzione di path-tracing (tracciamento del percorso) del software GIS è possibile creare una mappatura delle distanze percorse a piedi.

Infatti, il raggio di copertura della domanda, calcolato con l'operazione di buffer sul GIS ed espresso come una circonferenza di raggio 400 metri, non tiene conto degli ostacoli che camminando a piedi si incontrano, quali ad esempio l'assenza di un percorso nella direzione desiderata.

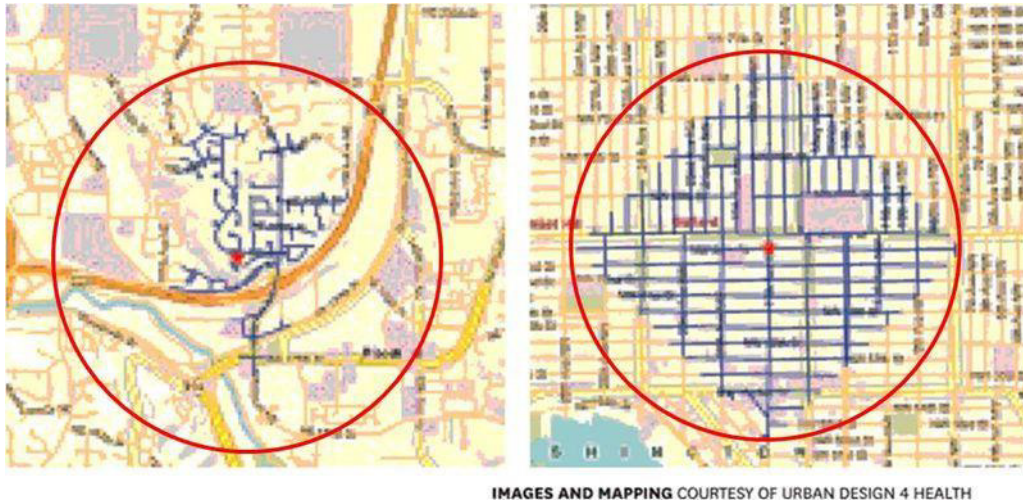


Figura 12 - Walking distance GIS

Nel caso di QuantumGis, questa operazione è possibile con l'aiusilio del Database geografico PostgreSQL, l'estensione geografica PostGIS e il motore di routing pgRouting. Esiste infatti una funzione predefinita, "walking\_distance", che può essere invocata attraverso una "query" attraverso il comando:

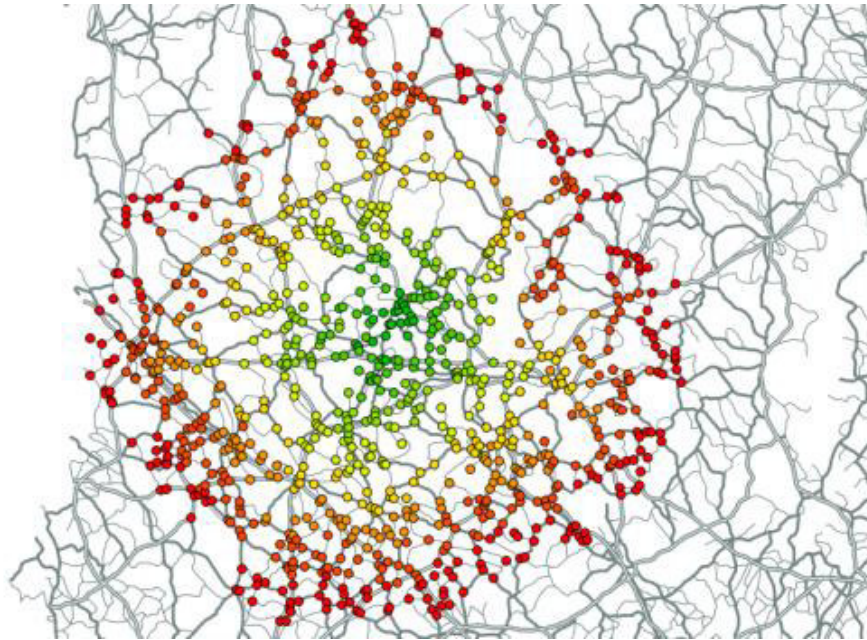
```
SELECT * FROM walking_distance("road_network", id, source, target, cost);
```

Dove:

- "road\_network" è la tabella rappresentativa della rete stradale utilizzata per l'analisi,
- "id" è un identificativo numerico automaticamente assegnato dal database,
- "source" rappresenta la grandezza relativa al punto di origine,
- "target" è il punto scelto come destinazione,
- "cost" è il costo utilizzato per il calcolo della distanza minima dalla funzione, che nel caso della rete stradale è rappresentata dalla lunghezza dell'elemento geografico.

Il risultato della query spaziale corrisponde ad una nuvola di punti che, sul software GIS, può essere personalizzata con un colore corrispondente alla distanza scelta.





*Figura 13 - Raggio di influenza di 400 m calcolato con "walking distance"*

Quando si utilizza il software GIS per l'analisi,  $f_{sc}$  viene posto pari ad 1, considerato che per i buffers determinati tramite il GIS la funzione "walking\_distance" tiene conto del fattore di connettività della strada. Se tale funzione non è disponibile, il buffer può essere tracciato attraverso una proporzione del cammino che un utente deve effettuare per raggiungere la fermata, pertanto è possibile individuare tre modelli caratterizzanti i sistemi stradali:

- Tipo 1, sistema a griglia;
- Tipo 2, sistema ibrido che assimila sia elementi del modello 1 e del modello 3;
- Tipo 3, sistema definita come cul-de-sac, in cui vi è una connettività limitata.



*Figura 14 - Rappresentazione dei diversi pattern dell'infrastruttura stradale*

È evidente che, in base al tipo di modello, il livello di copertura della superficie varia in relazione al tipo. In virtù di questo, si può considerare il modello a griglia come il caso migliore e si può porre il fattore, che si basa sul rapporto tra l'area di ogni fermata e l'area coperta nel sistema a griglia stradale, pari a 1, mentre per il sistema ibrido è pari a 0,85 e quello a cul-de-sac è pari a 0,45.

Ciò che caratterizza il tipo di area è l'indice di connettività di rete definita come il numero di segmenti di strada tra le intersezioni diviso il numero di nodi (intersezioni) presenti in un sistema di carreggiata.

Un metodo alternativo ai modelli di terreno rappresentati in figura, permette dunque di calcolare un indice legato al numero di tratti stradali all'interno di un'area di riferimento.

Per l'utilizzo di tale indice si presume che le strade abbiano elementi che garantiscano percorsi pedonali sicuri. Il valore che l'indice può assumere varia da 1,7, in un sistema a griglia ben collegata, a 1,2 in un modello a cul-de-sac. Nella tabella che segue sono riportati i valori di riferimento dell'indice per la determinazione del tipo di connettività della rete.

Network Connectivity Index	Street pattern type
1	Type 1 - Grid
0,85	Type 2 – Hybrid
0,45	Type 3 – Cul-de-sac

Nel caso della linea Cosenza-Università, sono state identificate due aree distinte per grado di connettività della rete. In particolare, per tutte le fermate ricadenti nell'area urbana di Cosenza, il tipo di rete è stata assimilata a griglia, con un fattore posto pari ad 1; per l'area contigua e relativa a Rende, il tipo di connettività è stata valutata come ibrida, con un valore del parametro corrispondente pari a 0.85.

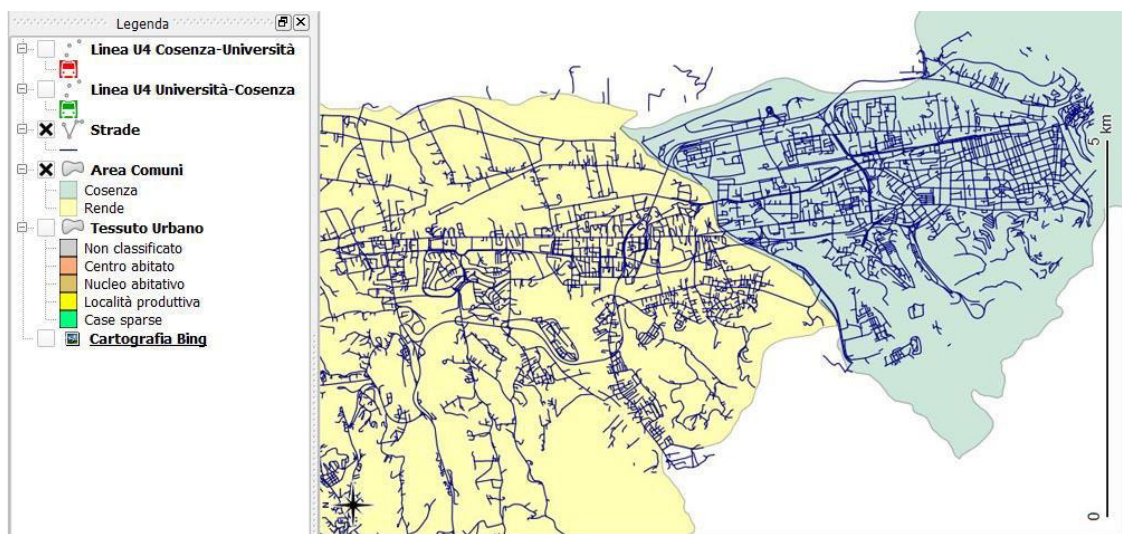


Figura 15 - Network stradale Cosenza - Rende

### Fattore di altitudine

Per quanto riguarda l'orografia dei terreni, un aspetto importante da sottolineare è che in base all'aumentare dell'altitudine a cui si trova la fermata diminuisce la distanza orizzontale che gli utenti sono disposti a percorrere, in particolare quando il grado è superiore al 5%. Naturalmente se la rete stradale fornisce strade parallele che evitano di percorrere percorsi con pendenze o che l'utente possa camminare in discesa, il fattore da utilizzare è pari a 1.

La linea di trasporto collettivo considerata opera su di un'area prevalentemente pianeggiante, o comunque con una pendenza inferiore al 5%, il fattore relativo alla pendenza è stato posto dunque pari ad 1.

## **Fattore di popolazione**

In riferimento alla popolazione locale, la velocità media è da considerare in relazione all'età degli utenti residenti nella zona in esame, infatti la velocità media di un pedone anziano è inferiore alla velocità media di un giovane adulto, ma i pedoni anziani costituiscono il 20 % della popolazione pedonale, pertanto il fattore di popolazione di 0,85 spiega la ridotta distanza percorsa durante i 5 minuti a piedi.

## **Fattore legato all'attraversamento pedonale**

Per quanto riguarda le difficoltà legate all'attraversamento stradale, ampie strade trafficate rappresentano un ostacolo per il raggiungimento pedonale della fermata. I pedoni superati i 30 secondi di tempo impegnati per l'attraversamento, iniziano a essere impazienti e percepiscono il tempo trascorso ad attraversare come tempo di ritardo, ripercuotendo tale aspetto sulla disponibilità a percorrere un percorso per il raggiungimento della fermata.

I valori minimi di densità permettono di definire le aree di transito, ovvero le aree in grado di supportare il servizio. In virtù delle aree da servire l'azienda di trasporto decide di fornire percorsi atti a garantire i collegamenti tra le diverse aree e pertanto, per calcolare tali densità, è importante distinguere tra aree nette e aree lorde. Le aree nette si riferiscono alle zone sviluppate per l'edilizia abitativa o di lavoro mentre ci si riferisce ad aree lorde le zone di territorio totale, che possono includere strade, parchi e terreni non utilizzati direttamente per lo sviluppo residenziale. Attraverso il software GIS, le aree lorde sono quelle maggiormente utilizzate in quanto più facile nella lavorazione in fase di studio. In tal modo sono utilizzati la densità abitativa e di occupazione, calcolate sulla base delle aree lorde al fine di determinare le zone di transito.

Per effettuare un'analisi e calcolare l'area di copertura del servizio sono necessarie alcune fasi, quali la raccolta dei dati, ovvero la posizione della fermata e la densità abitativa della zona con riferimento alle caratteristiche intrinseche della zona stessa (residenziale, commerciale o di servizi); la determinazione dell'area di copertura della fermata (individuati i punti in cui sono posizionate le fermate, si delincono l'area con un cerchio avente centro nella fermata e raggio di 400 m); la determinazione dell'area di transito della linea considerata attraverso la conoscenza della densità abitativa o lavorativa della zona interessata; il confronto tra l'area di copertura della fermata e l'area della linea di transito, effettuato con il software GIS. Dividendo la somma delle

aree del servizio di transito con la somma delle aree della fermata si ottiene la misura delle prestazioni di interesse.

Naturalmente tali considerazioni sono effettuate sulla base del raggiungimento pedonale della fermata, ma possono condursi analisi anche in considerazione del raggiungimento della fermata attraverso la bicicletta o l'automobile.

Per la valutazione della qualità del servizio relativo alla linea U4 Cosenza – Università, sono state effettuate diverse operazioni con il software QuantumGIS.

A partire dalle fermate georeferenziate rilevate da smartphone, è stata effettuata un'operazione di “buffer vettoriale” per la ricostruzione dell'area di influenza teorica di ogni fermata, considerando un raggio di 400 metri. “Buffer” è un termine inglese che fa riferimento alla funzione di assorbimento di un urto. Nella terminologia dei sistemi informativi geografici è utilizzato per definire un'area creata intorno ad un'entità spaziale di riferimento, che può essere puntuale, lineare o poligonale. Più in dettaglio, la definizione di “buffer” corrisponde ad un'entità areale creata sulla base di una distanza, che può essere costante rispetto all'area di riferimento, oppure variabile rispetto ad un attributo o campo della geometria.

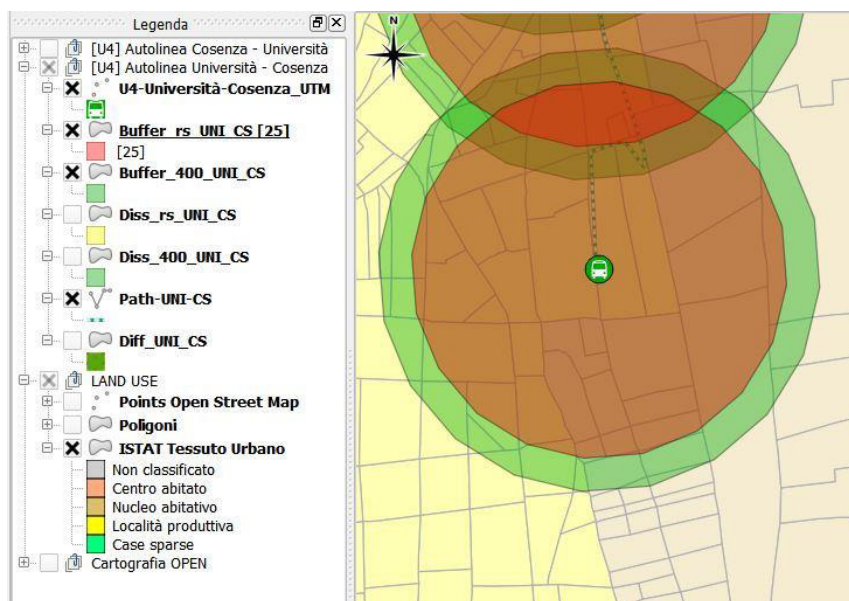


Figura 16 - Buffer 400 m e variabile in base al valore  $r_s$

Nel caso specifico, la geometria di riferimento per la creazione del buffer è di tipo puntuale, essendo ogni fermata rappresentata come punto. Il risultato dell'operazione di buffer è una circonferenza avente come centro la fermata specifica e raggio 400 metri. Per la rappresentazione dell'area di influenza reale, l'operazione di buffer è stata



effettuata in base ad una distanza variabile, in particolare l'attributo  $r_s$  calcolato tenendo conto dei diversi fattori di connettività, di altitudine, di popolazione e di attraversamento pedonale.

È opportuno notare che si possono presentare casi in cui l'operazione di creazione del buffer, di per sé molto semplice, presenta maggiore complessità. Nel caso della linea in esame, la distanza tra alcune fermate ravvicinate genera delle intersezioni tra le diverse zone di buffer, che devono essere rimosse per la creazione di un'unica area di rispetto. Per la valutazione dell'accessibilità alle fermate è necessario infatti eseguire una differenza di aree dei diversi buffer, la sovrapposizione di zone differenti potrebbe generare errori di calcolo e di conseguenza errori nella valutazione della qualità del servizio.

Per ovviare al problema sopracitato, è stato necessario effettuare una dissolvenza vettoriale su tutte le geometrie al fine di eliminare le ridondanze generate dalla sovrapposizione.

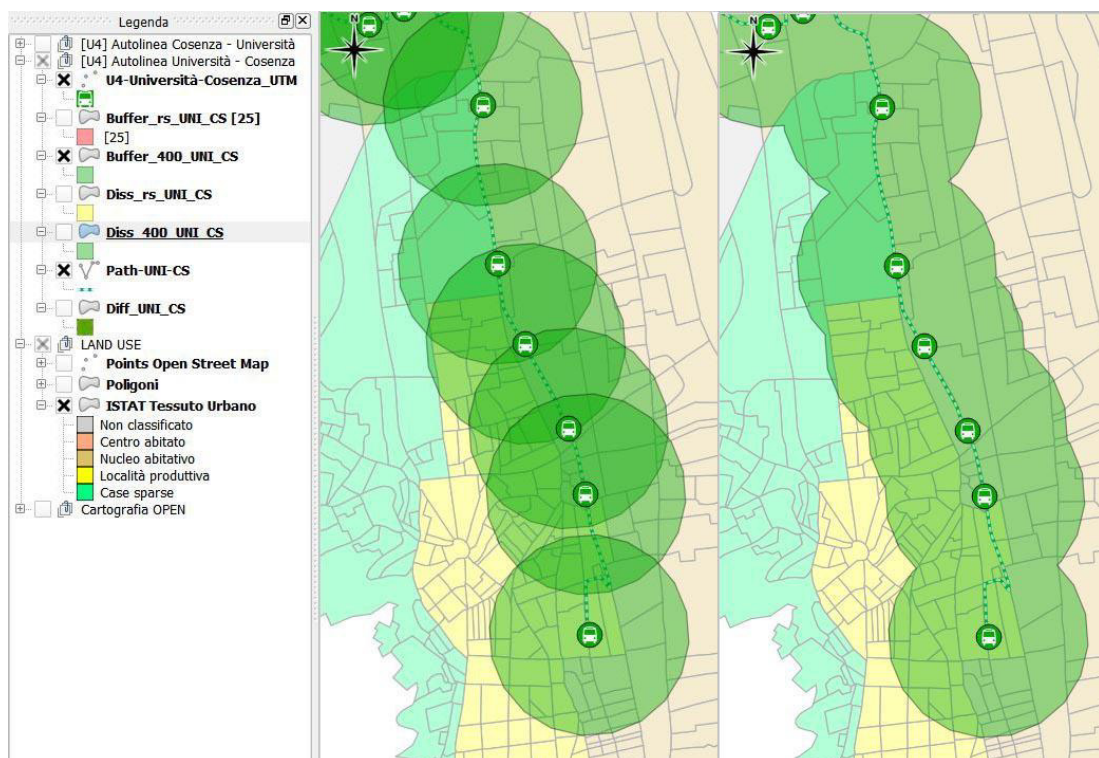


Figura 17 - Dissolvenza del buffer per eliminare le sovrapposizioni

L'operazione di calcolo della differenza di superficie delle aree di influenza teorica e reale è piuttosto immediata, QuantumGIS consente infatti il calcolo immediato dell'area di un poligono e la differenza tra due elementi. L'area di influenza reale, rispetto all'area di influenza teorica di raggio 400 metri, è più piccola del 18 % nel percorso da

Cosenza all'Università, e più piccola del 19 % nel percorso inverso. Poiché la riduzione dell'area è proporzionale al numero di persone disposte a percorrere mediamente una distanza prestabilita, questi risultati indicano il 18% e il 19% di utenti in meno rispettivamente per la linea Cosenza-Università e Università-Cosenza rispetto a tutti gli utenti potenziali.

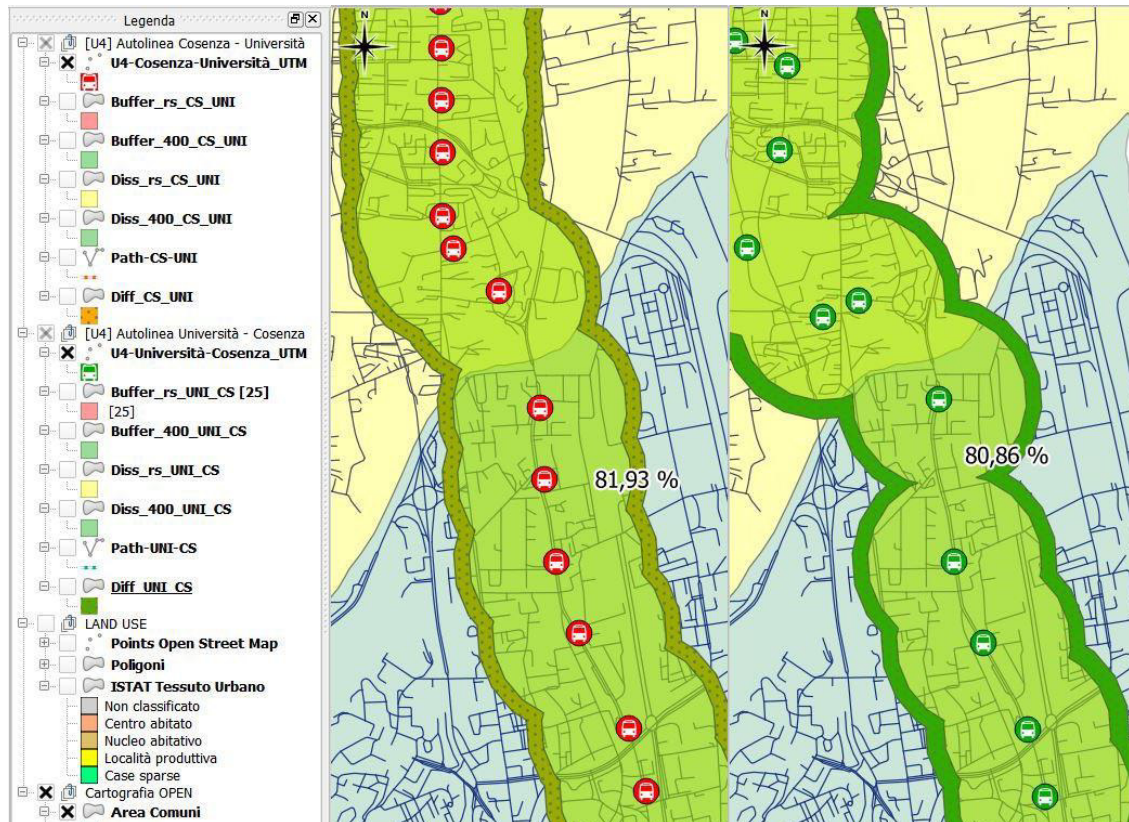


Figura 18 - Valutazione della qualità del servizio - Accessibilità

Questo risultato, dal punto di vista dei passeggeri, rappresenta un livello di qualità positivo, con la copertura della maggior parte delle destinazioni all'interno delle aree ad alta densità, anche se non tutte. Dal punto di vista dell'azienda il dato è rappresentativo di una copertura bilanciata e di un buon rapporto costi-efficienza.

L'impatto più incisivo sul calcolo dell'area di influenza reale è dato dal grado di connettività della rete stradale. Poiché l'area in analisi è già sviluppata, tale dato non può essere migliorato sensibilmente, tuttavia si potrebbe agire sulla riallocazione ottimale delle fermate tale da consentire, a parità di livello di accessibilità, dei tempi di viaggio inferiori dati dall'eliminazione di alcune fermate ridondanti.

### 5.3.2. Misure di Comfort e Convenienza

Nell'affrontare le problematiche del servizio di trasporto pubblico si considera spesso la disponibilità, la quale rappresenta il requisito minimo per l'utilizzo di tale mezzo di trasporto, ma sono aspetti molto importanti anche la comodità e la convenienza del trasporto, che contribuiscono alla soddisfazione dei passeggeri e al maggiore utilizzo da parte degli stessi.

Tra le principali misure della comodità si considerano il carico dei passeggeri (affollamento del mezzo), l'affidabilità e il tempo che il mezzo impiega per effettuare il percorso in esame. Altri aspetti che contribuiscono, ma difficili da misurare in modo dettagliato (e da prevedere), sono la sicurezza e le interazioni tra il personale e gli utenti.

Uno degli aspetti più importanti che determinano la qualità del comfort dal punto di vista dell'utenza è l'affollamento all'interno del mezzo di trasporto. Infatti tale aspetto determina la progettazione dei mezzi, che può essere svolta considerando la maggior parte dei posti a sedere oppure considerando il maggior numero di utenti in piedi. Naturalmente tale caratteristica è basata sul tipo di viaggio da effettuare, infatti per viaggi brevi l'utente è disposto ed in grado di affrontare il viaggio stesso rimanendo in piedi, per viaggi lunghi è necessario prevedere il mezzo di un numero adeguato di posti a sedere.

Dal punto di vista degli utenti la miglior condizione di comfort coincide spesso con una condizione rappresentante un servizio improduttivo e spesso sfavorevole dal punto di vista dell'operatore, contrariamente ciò che è auspicabile per l'operatore del servizio risulta una condizione sfavorevole per l'utente.

Per quanto riguarda lo spazio che ogni passeggero deve avere a disposizione, per poter pianificare il carico massimo, in letteratura fin dai primi anni '70 si introdusse il concetto di un'ellisse del corpo in sostituzione dell'analisi basata sulla struttura pedonale. L'ellisse del corpo rappresenta l'area occupata da un uomo avente una imponente massa (considerando sia la larghezza sia la profondità del corpo) in considerazione alla possibilità di muoversi in una piccola quantità di spazio e di trasportare un piccolo oggetto. Tale spazio è individuato in un'area di 0,27 mq, avente un perimetro definito da 60 cm di lunghezza e 45 cm di larghezza. In relazione allo spazio necessario per i passeggeri in piedi.



#### 5.4. Ottimizzazione del servizio

L'ottimizzazione del servizio di trasporto pubblico locale comporta l'adozione di un insieme di attività volte al raggiungimento di specifici obiettivi. L'insieme di tali attività, a fronte di un investimento adeguato, deve necessariamente portare al miglioramento delle sue prestazioni e della sua fruibilità da parte dell'utenza.

La valutazione delle prestazioni di un servizio di trasporto pubblico urbano e della sua fruibilità presenta aspetti di notevole complessità, considerando che il processo di valutazione adottato deve rispecchiare il punto di vista delle diverse parti interessate: l'azienda che gestisce il servizio, gli utenti direttamente o indirettamente interessati al servizio di trasporto e gli enti locali che hanno il dovere di garantire il diritto alla mobilità dell'intera collettività. Il punto di vista dell'azienda risponde tendenzialmente alla logica dell'efficienza e dell'efficacia nell'impiego delle risorse. Il punto di vista degli utenti si richiama principalmente ai criteri della regolarità e affidabilità, della sicurezza, della qualità e del costo da sostenere per la fruizione del servizio. Infine, il punto di vista della collettività è influenzato da aspetti attinenti alle dotazioni, in termini di quantità, sicurezza e qualità, e all'impatto del servizio sull'ambiente, in rapporto anche al livello di risorse finanziarie impiegate dalla comunità nel settore.

In riferimento alla linea Cosenza – Università (U4) considerata nel presente studio, la fase di misurazione del livello di qualità del servizio secondo i criteri suggeriti dal "Transit Capacity and Quality of Service Manual" ha evidenziato un servizio di buon livello, sia dal punto di vista dei passeggeri in termini di accessibilità, comfort e convenienza, sia dal punto di vista dell'azienda in termini di efficienza ed efficacia.

Inoltre, come già accennato nel paragrafo precedente, l'area di studio specifica per la linea U4 è caratterizzata da un livello di sviluppo urbanistico in fase di maturità. Questo comporta un livello di accessibilità adeguato e ben calibrato sul contesto territoriale in cui l'azienda opera, evidentemente raggiunto dall'esperienza pluriennale e da continui adeguamenti a fronte dei feedback degli utenti utilizzatori del servizio.

Tuttavia, una riorganizzazione ottimale delle fermate, potrebbe portare ad un restringimento dei tempi di viaggio totale, come conseguenza dello spostamento e dell'eliminazione di alcune fermate poco utilizzate.

#### 5.4.1. Riallocazione delle fermate

In questa fase dello studio, in base alle informazioni raccolte nelle precedenti fasi e ad un approccio multicriterio GIS, sono state riorganizzate le fermate della linea U4 Cosenza – Università.

In prima istanza sono state identificate tutte le fermate che in fase di rilievo hanno registrato un grado di attività rilevante, le quali sono state etichettate come “non disponibili” alla riallocazione. Il grado di attività ( $AG_x$ ) di una fermata (x) è stato calcolato come:

$$AG_x = \frac{up_x + down_x}{load_x}$$

Dove:

- “ $up_x$ ” rappresenta il numero di passeggeri saliti alla fermata x;
- “ $down_x$ ” è il numero di passeggeri scesi alla fermata x;
- “ $load_x$ ” è il numero di passeggeri totali a bordo veicolo alla fermata x.

Lo stesso parametro relativo al grado di attività di ogni fermata, è stato calcolato inoltre per la linea C15 – Circolare Cosenza – Quattromiglia, in base ai dati di un rilievo effettuato tramite smartphone nello stesso periodo di riferimento.

Lo scopo di queste informazioni riguarda la possibilità di valutare il grado di attività di una fermata utilizzata da altre autolinee molto utilizzate, tra le quali la linea C15 (Circolare Cosenza – Quattromiglia). L'autolinea C15 condivide in esercizio circa il 90% delle fermate della linea U4 Cosenza – Università; essendo peraltro una linea a medio/altra frequenza (15 minuti) potrebbe essere utilizzata in regime di “intermodalità” con la linea U4 per diversi spostamenti.

Un secondo criterio per il quale una fermata è stata etichettata come “non disponibile” è rappresentato dalla presenza di un stazione di interscambio in prossimità (entro una *walking distance* di 400 metri) della fermata.

Infine, per ogni fermata, ad eccezione della fermata di partenza e quella di arrivo al capolinea, sono state calcolate le distanze dalla fermata precedente e quella dalla fermata successiva. Se la somma delle due distanze misurate per ogni fermata è superiore a 800 metri, la fermata viene anche in questo caso etichettata come “non disponibile”.

Il valore di 800 metri tra una fermata e la successiva è il risultato della distanza massima di 400 metri che un passeggero sarebbe costretto a percorrere nel caso più svantaggiato, che corrisponde al centro tra due fermate adiacenti della stessa linea.

Tutte le altre fermate che non sono ricadute nei casi suddetti, risultano “candidate” allo spostamento e, nel caso di sovrapposizione, all’eliminazione dalla linea in esame.

A partire dalla lista di fermate candidate allo

spostamento, è stata effettuata una riallocazione ottimale, tenendo conto di diversi fattori legati da una parte al livello di interazione con le altre fermate della stessa linea, dall’altra alle possibili criticità in fase di nuova allocazione.

L’analisi multicriterio per la riallocazione delle fermate è stata effettuata secondo un approccio esplorativo e basato sulle criticità più frequenti riscontrabili alle fermate degli autobus.

### **Localizzazione della fermata in relazione al contesto urbanistico**

In relazione all’ambito urbano che caratterizza l’autolinea in esame, le possibili criticità riguardano:

- Scarsa connettività del reticolo pedonale all’interno del comparto urbanistico servito dalla fermata con conseguente incremento delle distanze rispetto alla fermata dell’autobus e accessibilità non diretta.

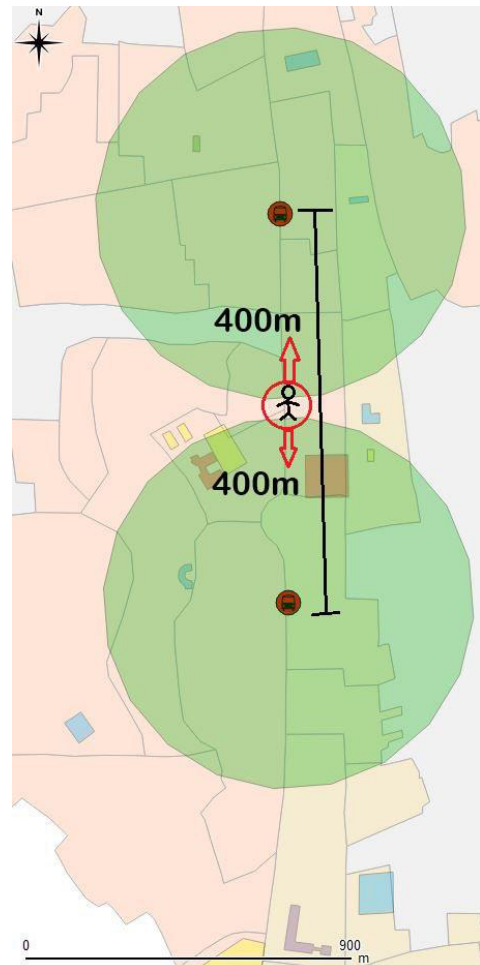


Figura 19 - Spaziatura di 400m da ogni fermata

- Ubicazione della fermata non corretta rispetto agli accessi agli immobili sede di servizi sociologici (scuole, sanità, commercio, cultura, ecc.).
- Problematiche di vario tipo legate alla sicurezza personale percepite in prossimità della fermata, legate ad esempio al rumore e all'inquinamento atmosferico.

Inoltre, in merito all'interscambio modale, nell'ipotesi di accesso ciclabile l'area servita dalla fermata è individuabile in un raggio teorico di circa 2 km. L'integrazione "bici/bus" incrementa notevolmente l'area di captazione della fermata rispetto all'ipotesi di accesso pedonale.

### **Incoerenza delle caratteristiche funzionali della strada**

La strada costituisce una tratta interna al centro abitato lungo un percorso di carattere sovracomunale interessato da quote di traffico in transito con velocità veicolari elevate. Ai flussi in transito si sovrappone il traffico locale (con la fermata dell'autobus e relative utenze) avente esigenze del tutto specifiche, in conflitto con i caratteri del flusso in transito.

### **Fruibilità e sicurezza dell'area di attesa**

Le possibili criticità sono relative alla superficie fruibile dell'area di attesa assente o insufficiente (anche rispetto all'entità numerica dell'utenza in determinate fasce orarie, ad es. di fronte alle scuole). L'area di attesa è per conformazione (ad es., per mancanza di un ciglio sagomato) o per localizzazione (ad es., se in corrispondenza di un'area di intersezione) non adeguatamente protetta, ovvero esposta al pericolo di essere invasa dai veicoli in transito. L'area di attesa è utilizzata anche come area di sosta veicolare illegale. L'area di attesa interferisce con un percorso ciclabile. Impossibilità di realizzare l'area di attesa pedonale a causa dei caratteri morfologici del sito o impossibilità di connetterla direttamente all'attraversamento pedonale (zona montana, centro storico...).

### **Continuità e sicurezza dei percorsi di accesso alla fermata**

- Assenza di un percorso pedonale continuo che colleghi la fermata dell'autobus con i poli generatori di traffico più prossimi (parcheggio, polo scolastico, zona commerciale/residenziale/...).

- È assente il marciapiede ed il percorso pedonale è previsto in banchina.
- A tratti, o per l'intera estensione, la larghezza del percorso pedonale non è sufficiente a consentirne un'adeguata fruibilità.
- Disagio nella fruizione del percorso pedonale dovuto alla mancanza di una pavimentazione o di un fondo idoneo e regolare.
- I percorsi pedonali sono eccessivamente lunghi o tortuosi (ad es., rotatorie) e i pedoni tendono a seguire itinerari diversi, più brevi.



*Figura 20 - Discontinuità del percorso di accesso alla fermata*

### **Sicurezza degli attraversamenti pedonali**

Le possibili criticità sono relative a:

- Assenza dell'attraversamento pedonale.
- L'attraversamento non è connesso con il percorso pedonale.
- Non è verificata la distanza di visibilità per l'arresto.
- L'attraversamento pedonale è poco evidente ai conducenti.
- L'attraversamento risulta mascherato dall'autobus fermo alla fermata.
- Sosta veicolare illegale in corrispondenza dell'attraversamento.
- L'attraversamento pedonale esistente non è sufficientemente vicino alla fermata e i pedoni attraversano altrove.
- Le velocità veicolari sono elevate.
- I flussi veicolari sono intensi, con attraversamenti pedonali spesso azzardati (manca un semaforo pedonale a chiamata).

- La carreggiata è larga o a più corsie per senso di marcia, con maggior rischio in presenza dell'autobus fermo a monte

### Visibilità della fermata e distanza dalle curve

- Distanza di visibilità insufficiente rispetto alla posizione dell'autobus fermo in carreggiata.
- Insufficiente visuale libera per il sorpasso dell'autobus fermo in carreggiata (in ambito extraurbano).
- Mancanza di visibilità in approccio al golfo di fermata ovvero sull'autobus che rallenta per accedere alla piazzola.
- Il conducente dell'autobus non ha sufficiente visibilità in fase di reimmissione nel flusso veicolare.

Distanza di visibilità per l'arresto		Distanza di visibilità per il sorpasso	
Pendenza longitudinale 0%		STRADE DI TIPO C, E, F	
STRADE DI TIPO B, C, D, E, F			
VELOCITÀ [km/h]	DISTANZA [m]	VELOCITÀ [km/h]	DISTANZA [m]
100	164	100	550
90	136	90	495
80	112	80	440
70	88	70	385
60	72	60	330
50	52	50	275
DM 5/11/2001		DM 5/11/2001	

Figura 21 - Distanze di visibilità fermate

### Distanza dalle intersezioni e tra fermate

- In ambito urbano l'elevata frequenza delle intersezioni o degli accessi può rendere problematica la localizzazione delle fermate.
- Se le fermate corrispettive sono collocate a distanza eccessivamente ravvicinata o non risultano in posizione posticipata l'una rispetto all'altra, l'ubicazione dell'attraversamento pedonale può risultare non a norma (davanti all'autobus).

Intersezioni ordinarie a raso:

- Fermata in carreggiata: la fermata posta nel ramo di uscita dall'intersezione può comportare la formazione di code, con effetti di intralcio della circolazione

nell'area di intersezione. Se la fermata è prevista nel ramo di ingresso all'intersezione, generalmente essa è servita dall'esistente attraversamento pedonale posto davanti all'autobus. Ciò non garantisce reciproca visibilità tra pedoni e veicoli in transito. Inoltre in questo caso il sorpasso dell'autobus fermo da parte dei veicoli in coda costituisce un ulteriore fattore di pericolosità per i pedoni in attraversamento, mascherati dall'autobus.

- Fermata in golfo: se la fermata è posta nel ramo in ingresso all'intersezione, l'autobus può subire ritardi nella manovra di reimmissione nel flusso veicolare, soprattutto nelle ore di maggior traffico.

#### Intersezioni a raso con circolazione rotatoria

- Fermata in carreggiata: se la fermata è nella corsia di uscita dalla rotatoria, essa può comportare accodamenti, con intralcio alla circolazione nell'anello giratorio. La problematicità della fermata posta nella corsia di ingresso alla rotatoria è legata all'eventuale possibilità di sorpasso dell'autobus fermo, in considerazione della posizione dell'attraversamento pedonale, in corrispondenza dell'isola divisoria della circolazione rotatoria (davanti all'autobus).
- Fermata in golfo: nel caso il golfo sia previsto lungo la corsia di ingresso alla rotatoria godendo dell'accesso diretto all'anello, esso può essere impropriamente utilizzato dai veicoli privati. Inoltre l'attraversamento dei pedoni è d'intralcio alla ripartenza dell'autobus.

#### **Sorpasso dell'autobus fermo alla fermata**

- Velocità veicolari elevate in fase di sorpasso, incompatibili con la presenza di pedoni in attraversamento.
- Ai veicoli in sorpasso non è visibile l'attraversamento pedonale (anche illegale) davanti all'autobus fermo, con pericolo di investimento.
- I sorpassi veicolari generalmente costituiscono manovre non preventivabili da parte dei pedoni che si apprestano ad attraversare la strada.
- In prossimità delle intersezioni o degli accessi le manovre dei veicoli in immissione sulla carreggiata (a due corsie) nel senso di marcia opposto possono risultare reciprocamente mascherate dall'autobus fermo e quindi grave fattore di pericolo in caso di sorpasso da parte dei veicoli in coda all'autobus.



*Figura 22 - Sorpasso dell'autobus alla fermata*

### **Accessibilità degli utenti con ridotte capacità sensoriali e motorie**

- I percorsi pedonali, per larghezza, pendenze o dislivelli, non sono fruibili da persone con deficit motori.
- Assenza di cigli facilmente percepibili lungo i percorsi adiacenti alle zone non pavimentate.
- Presenza di ostacoli (quali segnali o sporgenze) che possono essere causa di infortunio alle persone in movimento.
- Pavimentazione sdruciolevole, specialmente in caso di pioggia o presenza di giunti e i grigliati di impedimento al calpestio.
- Nel caso delle strade ad elevato traffico, non è presente un sistema di illuminazione dell'attraversamento pedonale.
- L'attraversamento pedonale rialzato è difficilmente rilevabile dai non vedenti (assenza del gradino di delimitazione del marciapiede).

### **Segnaletica orizzontale e verticale**

- Mancanza della segnaletica orizzontale di delimitazione dello spazio di fermata in carreggiata o nel golfo.
- Incongruenza della dimensione delineata dello stallo di fermata rispetto a quella del mezzo che effettua il servizio (12 m, 15 m, 18 m).
- Mancanza della segnaletica di individuazione delle zone di manovra in cui è vietata la sosta.
- In ambito urbano, a causa dell'elevata densità di accessi ed intersezioni, non vi è la disponibilità di aree sufficientemente ampie ad accogliere la completa



delineazione dello spazio di fermata, con le relative zone di manovra dell'autobus.

- Mancanza del segnale verticale di fermata dell'autobus.
- Confusione o errata collocazione della segnaletica verticale stradale esistente.
- Mancanza della segnaletica orizzontale e verticale di attraversamento pedonale o cattivo stato di manutenzione.
- Risulta omessa la segnaletica verticale indicante l'eventuale disponibilità di stalli per la sosta veicolare o ciclabile (per l'interscambio) o di altri sistemi di trasporto.



*Figura 23 - Segnaletica Fermata Bus*

### **Mezzi pubblicitari**

I mezzi pubblicitari penalizzano la percepibilità della fermata dell'autobus e di conseguenza dell'attraversamento pedonale, in quanto:

- Le immagini possono sovrapporsi o mascherare la segnaletica verticale di localizzazione della fermata (art. 136 c. 6 Reg.), creando condizioni di disordine, ambiguità, e di difficile individuazione delle aree di conflitto;
- In alcuni casi (estrema prossimità alla segnaletica) può risultare penalizzata l'efficacia della segnaletica verticale, con possibile confusione o distrazione dei conducenti.



Figura 24 - Mezzi pubblicitari

Le fermate identificate come candidate alla riallocazione sono riportate in tabella:

Nome Fermata	AVG Ag	Ag_C15	Dist_prec[m]	Dist_succ[m]	Walk_dist	Alloc
Cosenza Autostazione	0		0	773	773	-
Via Falcone (Biocontrol)	0,050555132	0,127239	773	256	1029	NO
ALVI	0,090952381	0,15694	256	420	676	NO
C.O.M.	0,072727273	0,238892	420	295	715	SI
Viale Cosmai (Casermette)	0,0409699	0,082626	295	322	617	SI
Viale Cosmai (G.d.F.)	0,047619048	0,093671	322	281	603	SI
Viale Cosmai (Farmacia Russo)	0,211538462	0,137876	281	540	821	NO
Roges via Crati	0,060185185	0,146639	540	369	909	NO
Roges (Camoli)	0,207773708		369	190	559	NO
Via Kennedy 1	0,138544061	0,374494	190	240	430	NO
Via Kennedy (Banca di Bari)	0,059999409	0,161904	240	203	443	SI
Commenda (Chiesa S. Antonio)	0	0,126556	203	210	413	SI
Commenda (Poltrone&Sofà)	0,080599647	0,125861	210	177	387	SI
Commenda (ANAS)	0	0,09965	177	156	333	SI
Viale della Resistenza (OVS)	0,066529858	0,145165	156	551	707	NO
Via Verdi (Bar Cuba Libre)	0,0987366	0,247873	551	210	761	SI
Via Verdi (Q8)	0,066017316	0,19592	210	352	562	NO
Via Verdi (Palazzi Nervoso)	0,093555996	0,281991	352	166	518	NO
Via Verdi (Farmacia Europa)	0,022222222	0,232733	166	588	754	SI
Via Volta (Bar Colosseo)	0,058238636		588	192	780	SI
Via Volta (SF)	0,054841885		192	388	580	NO (stazione)
Via L.DaVinci (Poliambulatorio)	0,046271539		388	314	702	NO (Capolinea C15)
Quattromiglia (Parco Giorcelli)	0,08920177		314	502	816	NO
Via Marconi (S.S. ERG)	0,132786037		502	1911	2413	NO
Università CUS	0,041021672		1911	449	2360	NO
Università Economia	1,17511754		449	353	802	NO
Università (Dip. Scienze della Terra)	0,26616869		353	578	931	NO
Università Dip. Ingegneria	1,462056277		578	159	737	NO
Università Dip. Difesa del Suolo	0		159		159	-

Figura 25 - Elenco fermate Linea U4 candidate alla riallocazione

Tutte le fermate riportate in tabella e identificate come candidate allo spostamento, sono state riorganizzate sulla base dei seguenti parametri:

- Localizzazione della fermata in base al contesto urbanistico,
- Incoerenza delle caratteristiche funzionali della strada,
- Fruibilità e sicurezza dell'area di attesa,
- Continuità e sicurezza dei percorsi di accesso alla fermata,
- Sicurezza degli attraversamenti pedonali,
- Visibilità della fermata e distanza dalle curve,
- Distanza dalle intersezioni e tra fermate,
- Sorpasso dell'autobus fermo alla fermata.

Viene riportato di seguito un prospetto della linea con le fermate nella configurazione originaria (in rosso nell'immagine) e le fermate riallocate (in giallo).

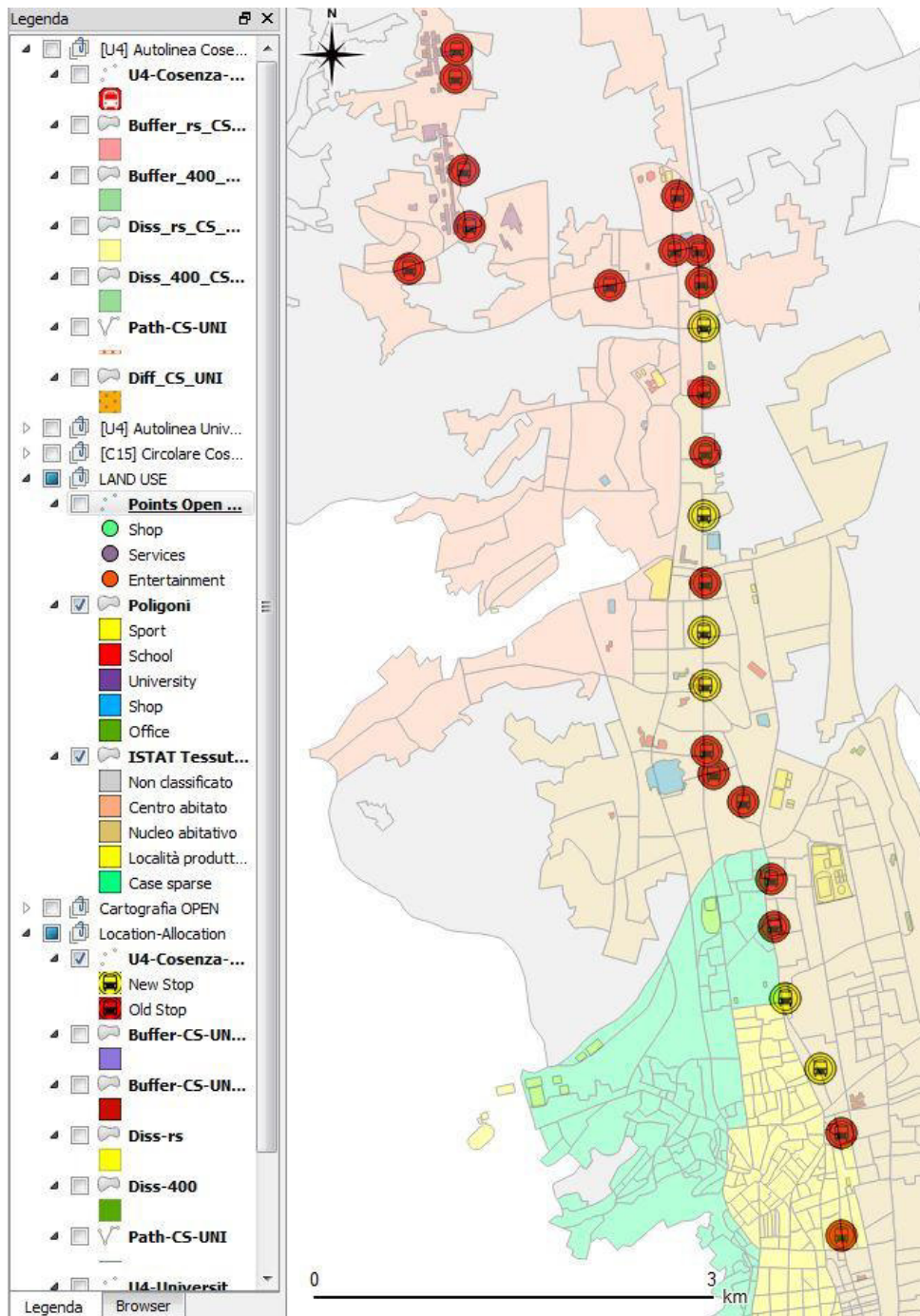


Figura 26 - Linea Cosenza - Università Riallocata

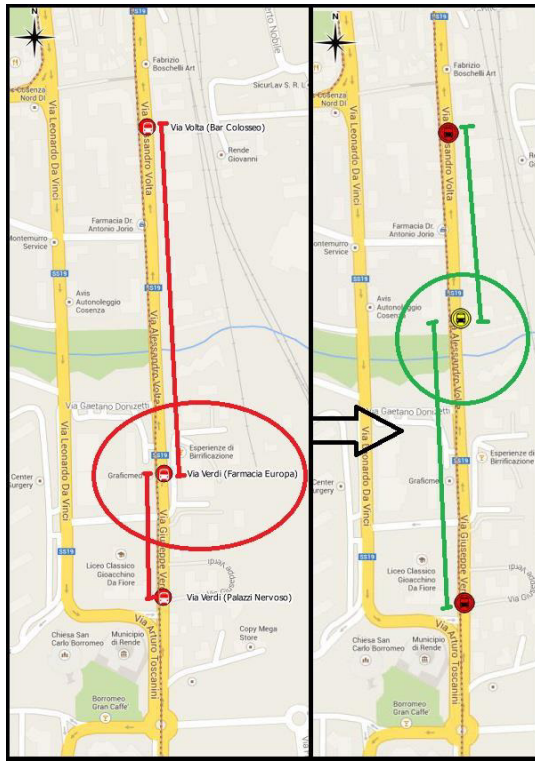


Figura 27 - Riallocazione - Optimal Spacing between stops

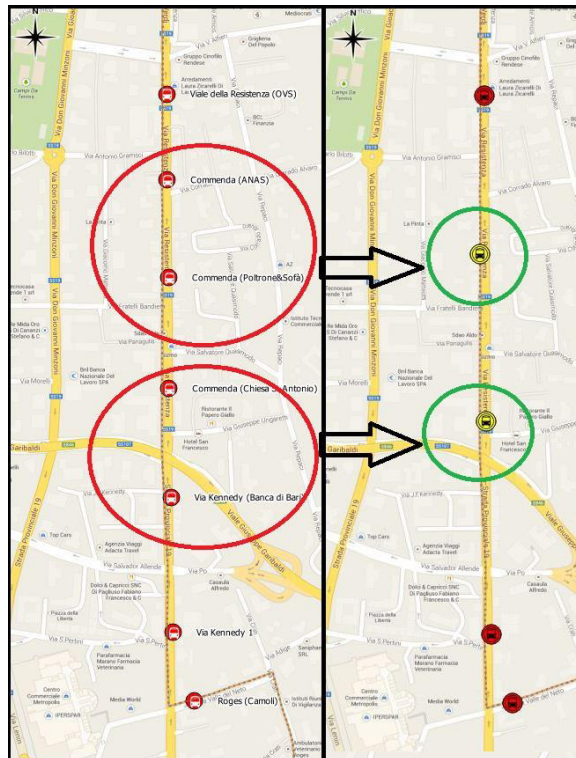


Figura 28 - Riallocazione - Bus stops number reduction



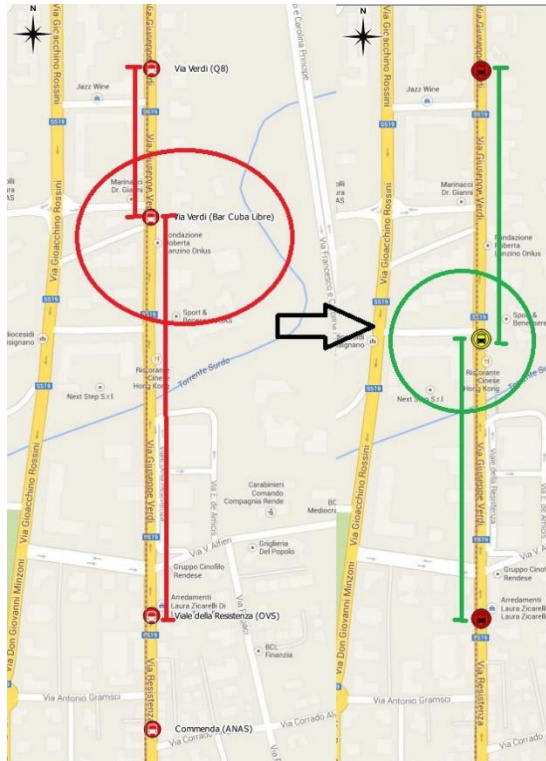


Figura 29 - Riallocazione - Optimal spacing

## 5.5. Valutazione della qualità del servizio

La riallocazione delle fermate con l'approccio multicriterio basato sul GIS ha permesso la valutazione di diversi parametri altrimenti non deducibili da approcci di tipo numerico classici presenti in letteratura.

Il numero di fermate totali, rispetto alla configurazione originaria di 29 fermate, risulta modificato e pari a 26 fermate, avendo riallocato un sottoinsieme di fermate e rispettando i criteri di spaziatura ottimale tra le fermate.

Dal punto di vista dell'utente, la riallocazione viene vista come una riorganizzazione delle fermate esistenti, non viene dunque percepita l'eliminazione di alcune fermate che porterebbe ad una valutazione negativa nei confronti dell'azienda. Dal punto di vista dell'azienda, il numero di fermate inferiori rispetto alla configurazione di partenza, porterebbe a dei tempi di viaggio totali inferiori e alla possibilità di utilizzare un numero di mezzi inferiore.

In termini di tempo, per la valutazione del tempo di viaggio totale, è opportuno andare a valutare il dwell time delle diverse fermate. Il dwell time rappresenta l'intervallo di tempo necessario a far scendere e salire i passeggeri a bordo veicolo, inclusi i tempi di attesa e di apertura e chiusura delle porte. Nel caso specifico della linea Cosenza -

Università, in relazione alle fermate riallocate, sono stati stimati i tempi totali di viaggio al netto del tempo guadagnato in seguito alla riduzione del numero di fermate.

	door channel	Service Time [s/p]	Channel Weight
Boarding	1	4	0,6
	2	4	0,4
Alighting	2	2,5	0,5
	3	1,75	0,5

*Figura 30 - Calcolo del dwell time fermate*

Il dwell time per ogni fermata è stato calcolato automaticamente con l'applicazione per smartphone Android Digital Bus Ride. Per la linea riallocata, il valore di dwell time delle fermate eliminate, è stato stimato utilizzando i tempi medi rilevati tramite smartphone e i tempi di attesa registrati ad ogni fermata.

Il tempo di viaggio totale, a seguito della riallocazione delle fermate, risulta stimato inferiore di circa 3 minuti rispetto ad una media di circa 37 minuti, pari all'1,2 %.

Inoltre, la riallocazione delle fermate ha portato ad un aumento del livello di accessibilità alle fermate della linea, passando da un valore di 81,93% ad un valore di circa 84%.

## Conclusioni

L'attività di ricerca è stata focalizzata sullo sviluppo di una nuova metodologia finalizzata all'analisi multicriterio per l'ottimizzazione delle prestazioni di una linea di trasporto pubblico. In particolare, tale metodologia è stata sviluppata sulla base dell'utilizzo dei sistemi informativi geografici (GIS) Open Source, di dispositivi mobili per il rilevamento dei dati e di tecniche proposte dal Transit Capacity and Quality of Service Manual, prevedendone un'applicazione per l'analisi di una linea di trasporto pubblico locale nell'area urbana Cosenza-Rende.

Nella prima parte del lavoro è stato analizzato il quadro normativo sul trasporto pubblico locale vigente sia in ambito nazionale sia in ambito europeo, con particolare attenzione alle norme in materia di localizzazione delle fermate. Successivamente si è passati all'analisi dei sistemi di trasporto pubblico locale, più in particolare ai modelli di ottimizzazione presenti in letteratura. Tale studio ha fatto emergere alcuni aspetti critici nell'applicazione dei modelli classici di ottimizzazione per l'allocazione delle fermate, poiché, in previsione di operazioni su più centri, la risoluzione di tali modelli riconduceva a soluzioni NP-hard. Inoltre, nell'analisi della riallocazione delle fermate, non è stato considerato un singolo parametro e una singola fermata, ma l'intera linea sulla base di un insieme di parametri e aspetti intrinseci del territorio e della gestione della linea stessa, nonché l'interazione di quest'ultima con altre linee esistenti. Inoltre, al fine di supportare l'analisi, si è ricorso all'utilizzo dei Decision Support System (DSS), con particolare attenzione ai Transportation- Decision Support System (T-DSS); lo studio ha infatti richiesto l'implementazione di un sistema di supporto alle decisioni basato su modelli multicriterio di ottimizzazione delle fermate e dei percorsi, attraverso l'utilizzo dei GIS e di standard per l'acquisizione e la diffusione dei dati.

L'obiettivo della tesi, incentrato sull'ottimizzazione delle prestazioni di una linea di trasporto pubblico attraverso un approccio multicriterio, fonda lo studio sull'utilizzo di un framework metodologico basato su strumenti Open Source.

In fase sperimentale è stato necessario inquadrare preliminarmente lo stato dei luoghi, il contesto urbanistico e il grado di attività di ogni singola fermata; pertanto è stata eseguita una indagine finalizzata ad acquisire informazioni sul contesto urbanistico, sulla attuale posizione delle fermate, sul carico dinamico a bordo per ogni corsa e sui tempi di viaggio.



Il rilievo puntuale per la georeferenziazione dell'autolinea e per la localizzazione di tutte le fermate è stato eseguito tramite l'utilizzo di uno smartphone, grazie all'applicazione "Digital Bus Ride" per Android, sviluppata "ad hoc" per lo studio in esame presso il Dipartimento di Ingegneria Civile. L'utilizzo della applicazione ha consentito di ottenere, oltre alla posizione della fermata, anche i tempi di viaggio di ogni corsa e i dwell time (l'intervallo di tempo necessario a far scendere e salire i passeggeri a bordo, inclusi i tempi di attesa e di apertura e chiusura delle porte). Un importante aspetto dell'utilizzo di tale applicazione riguarda la semplicità di utilizzo; un file di testo contenente tutte le informazioni cinematiche e un file geografico per la visualizzazione su mappa dell'intera corsa vengono generati alla fine di ogni rilievo. Il file di testo contiene informazioni relative al tempo, alla latitudine e alla longitudine, all'accuratezza della localizzazione, al nome, ai saliti e discesi, al carico a bordo e al dwell time. Il file geografico consente un feedback visuale immediato durante la rilevazione, al fine di verificare la corretta operatività del dispositivo utilizzato. Nonostante la massima accuratezza nella localizzazione, per determinare la corretta posizione di ogni singola fermata è stato necessario effettuare alcune operazioni, la prima ha interessato il map matching dei punti rispetto alla rete stradale. In una seconda fase sono stati individuati i punti cui associare in maniera precisa la localizzazione delle fermate grazie all'interrogazione puntuale della mappa con "StreetView2Go", un plugin di QuantumGis che ha consentito l'utilizzo del servizio "Street view" di Google. A partire dai dati rilevati tramite smartphone, attraverso la validazione tramite GIS con cartografia Google, sono state individuate 29 fermate caratterizzanti la linea U4 nel percorso da Cosenza all'Università e 25 fermate per il percorso inverso, dall'Università al Terminal di Cosenza (Autostazione).

Dopo aver effettuato il rilievo delle fermate e determinato i fattori caratterizzanti le stesse, si è proceduto con la misurazione della qualità del servizio attraverso la metodologia proposta dal Transit Capacity and Quality of Service Manual basata su diversi aspetti raggruppabili in due macro aree: una riguardante la disponibilità del servizio e una relativa al comfort e alla convenienza dell'utilizzo del servizio stesso. La convenienza viene commisurata rispetto ad una serie di elementi, che includono la tipologia dei poli attrattori e il tessuto urbano, i problemi di conflittualità tra i pedoni e gli elementi infrastrutturali, le caratteristiche dell'utenza prevista per l'area e i tempi di servizio. In tal senso, in relazione alla disponibilità del servizio, sono stati calcolati la frequenza, ovvero il tempo che l'utente attende per accedere al servizio di trasporto

pubblico; il tempo di servizio, ovvero le ore durante le quali il servizio di transito è previsto lungo un percorso; l'accessibilità, rappresentante il modo con cui l'utente può raggiungere le fermate per utilizzare il trasporto pubblico.

Nell'analisi è stata individuata l'area ideale di copertura per ogni fermata, definita da una circonferenza con centro sulla fermata e raggio pari a 400 m, come riportato in letteratura, ottenuta attraverso il GIS con un buffer costruito su ogni fermata. Successivamente, al fine di determinare l'area di copertura reale di ogni fermata, il raggio ideale è stato modificato sulla base di un insieme di fattori legati al territorio di riferimento.

Grazie all'utilizzo del software QuantumGIS, è stato possibile calcolare la differenza di superficie delle aree di influenza teorica e reale, determinando in tal modo che nel percorso da Cosenza all'Università l'area di influenza reale era più piccola del 18% rispetto a quella ideale, mentre nel percorso inverso la percentuale di riduzione ammonta al 19%. Dallo studio svolto si è potuto stabilire che tale riduzione è proporzionale al numero di persone disposte a percorrere mediamente una distanza prestabilita; pertanto le percentuali del 18% e 19% sono indicative di un numero inferiore di potenziali utenti della linea in esame. Tale risultato ha rappresentato un livello di qualità positivo, dal punto di vista dei passeggeri, con copertura della maggior parte delle destinazioni all'interno delle aree ad alta densità e, dal punto di vista dell'azienda, ha delineato una copertura bilanciata e un buon rapporto costi-efficienza.

Inoltre nell'affrontare le problematiche del servizio di trasporto pubblico sono state considerate altre misurazioni di comfort e convenienza, riguardanti, oltre alla disponibilità (rappresentante il requisito minimo per l'utilizzo di tale mezzo di trasporto), la comodità e la convenienza del trasporto, caratteristiche contribuenti alla soddisfazione dei passeggeri e al maggiore utilizzo da parte degli stessi. Infatti nella misurazione della comodità sono stati considerati il carico dei passeggeri (ovvero l'affollamento del mezzo), l'affidabilità e il tempo che il mezzo impiega a effettuare il percorso in esame. Tali elementi, dal punto di vista dell'utente e in relazione alla durata del viaggio, rappresentano aspetti determinanti nella scelta del mezzo pubblico.

In riferimento alla linea in esame, Cosenza – Università (U4), la fase di misurazione del livello di qualità del servizio secondo i criteri suggeriti dal "Transit Capacity and Quality of Service Manual" ha evidenziato un servizio di buon livello, sia dal punto di vista dei passeggeri in termini di accessibilità, comfort e convenienza, sia dal punto di vista dell'azienda in termini di efficienza ed efficacia. Inoltre l'area di studio specifica

per la linea U4, essendo caratterizzata da un livello di sviluppo urbanistico in fase di maturità, ha comportato un livello di accessibilità adeguato e ben calibrato sul contesto territoriale in cui l'azienda opera, evidentemente raggiunto dall'esperienza pluriennale e da continui adeguamenti a fronte dei feedback degli utenti utilizzatori del servizio.

A valle di tutte queste fasi, lo studio ha previsto l'ottimizzazione delle fermate attraverso la riallocazione di un sottogruppo di fermate candidate allo spostamento o eliminazione.

In particolare, in una prima fase, sono state identificate tutte le fermate che in fase di rilievo hanno registrato un grado di attività rilevante, le quali sono state etichettate come "non disponibili" alla riallocazione. Tale dato è stato calcolato anche per la linea C15 - Circolare Cosenza- Quattromiglia, al fine di valutare il grado di attività delle fermate utilizzate anche dall'esercizio di altre autolinee (nel caso specifico la linea C15 condivide in esercizio circa il 90% delle fermate della linea U4 Cosenza – Università ed essendo una linea a medio/altra frequenza (15 minuti) potrebbe essere utilizzata in regime di "intermodalità" con la linea U4 per diversi spostamenti).

Successivamente, altre fermate sono state etichettate come "non disponibili" attraverso un secondo criterio che prevede la presenza di una stazione di interscambio in prossimità della fermata (entro una walking distance di 400 metri). Inoltre per ogni fermata, ad eccezione della fermata di partenza e quella di arrivo al capolinea, sono state calcolate le distanze dalla fermata precedente e quella dalla fermata successiva. Se la somma delle due distanze misurate per ogni fermata è risultata superiore a 800 metri (risultato della distanza massima di 400 metri che un passeggero sarebbe costretto a percorrere nel caso più svantaggiato, che corrisponde al centro tra due fermate adiacenti della stessa linea), la fermata è stata identificata anche in questo caso come "non disponibile".

La riallocazione ottimale, in tal modo, è stata effettuata a partire dalla lista di fermate candidate allo spostamento, tenendo conto di diversi fattori, legati da una parte al livello di interazione con le altre fermate della stessa linea e dall'altra alle possibili criticità in fase di nuova allocazione.

Pertanto la riallocazione delle fermate con l'approccio multicriterio basato sul GIS ha permesso la valutazione di diversi parametri altrimenti non deducibili da approcci di tipo numerico classici presenti in letteratura. Il numero di fermate totali, rispetto alla configurazione originaria di 29 fermate, è risultato pari a 26 fermate, con riallocazione di un sottoinsieme di fermate nel rispetto dei criteri di spaziatura ottimale tra le stesse.

In tal modo, dal punto di vista dell'utente, la riallocazione può essere considerata come una riorganizzazione delle fermate esistenti, senza percezione dell'eliminazione di alcune di esse, che comporterebbe una valutazione negativa nei confronti dell'azienda. Dal punto di vista dell'azienda, il minor numero di fermate rispetto alla configurazione di partenza, porterebbe a tempi di viaggio totali inferiori e alla possibilità di utilizzare un minor numero di mezzi.

In relazione al tempo di viaggio totale, il valore del dwell time delle fermate eliminate, nella riallocazione, è stato stimato utilizzando i tempi medi rilevati tramite smartphone e i tempi di attesa registrati ad ogni fermata, ottenendo come risultato un tempo totale inferiore rispetto allo stato attuale (la riduzione, di circa 3 minuti, equivale all'1,2%). Inoltre grazie a tale riallocazione delle fermate è stato possibile evincere un aumento del livello di accessibilità alle fermate della linea, passando da un valore di 81,93%, stimato per lo stato attuale, ad un valore di circa 84%.

L'obiettivo della tesi, incentrato sull'ottimizzazione di una linea di trasporto attraverso la metodologia proposta, è stato pertanto raggiunto. Si evidenzia, peraltro, che l'applicazione della metodologia al contesto di analisi comporterebbe un miglioramento delle condizioni operative del sistema in esame. Inoltre tali risultati intendono evidenziare l'importanza dell'utilizzo delle nuove tecnologie, quali smartphone e strumenti informativi geografici, nell'analisi delle problematiche presenti sul territorio.

## Bibliografia

- Armstrong M.P., Densham P.J., Rushton G., Architecture for microcomputer based decision support system, Proceedings of 2nd International Symposium on Spatial Data Handling 1986.
- AA.VV. (2005). Sistemi di trasporto collettivo avanzati in aree urbane e metropolitane: classificazioni e applicazioni. Laruffa Editore, Reggio Calabria.
- Ben-Akiva M., Bowman J.L. (1998) “Activity Based Travel Demand Model Systems”, Equilibrium and Advanced Transportation Models, P. Marcotte and S. Nguyen, Eds., Kluwer Academic Publishers.
- Ben-Akiva M, Morikawa T.(2002), “Comparing Ridership Attraction of Rail and Bus,” Transport Policy, Vol. 9. No. 2 ([www.elsevier.com/locate/tranpol](http://www.elsevier.com/locate/tranpol)), pp. 107- 116.
- Camus R. (1995), “Un modello per l’analisi di reti di trasporto pubblico”, in Metodi e modelli per la pianificazione e la gestione dei sistemi di trasporto collettivo, Franco Angeli Editore, pp. 149-166.
- Cascetta E., Modelli per i sistemi di trasporto Teoria e applicazioni, UTET Università, 2006.
- Ceder A.(2007), Public Transit Planning and Operation – Theory, Modelling and Practice, Elsevier Edition.
- Densham P.J., *Spatial decision support system, Geographical information systems –* Longman scientific & technical 1991.
- Filippi F., Gori S. (1995), “Un sistema integrato per la progettazione di una rete di trasporto pubblico, in Metodi e modelli per la pianificazione e la gestione dei sistemi di trasporto collettivo, Franco Angeli Editore, pp. 52-115.
- Furth P. G. and Rahbee A.B., Optimal Bus Stop Spacing Through Dynamic Programming and Geographic Modeling. Transportation Research Record 1731, 2000.
- Hamacher H.W., Leibers A., Schobel A. Wagner, D. Frank and Wagner, Locating New Stops in a Railway Network –Electronic paper 2001.
- Janarthanan N., Schneider J. (1986), “Multicriteria Evaluation of Alternative Transit System Designs”, TRR 1064.
- Lopes, R., Barreto, S., Ferreira, C., & Santos, B. (2008). A Decision Support Tool for a Capacitated Location – Routing Problem. Decision Support Systems 46, 366–375.

- Loukopoulos P., Gärling T., Vilhelmson B. (2005), “Mapping the potential consequences of car – use reduction in urban areas“, Journal of Transport Geography 13, Elsevier, pp 135-150.
- Murray A.T. (2001), “Strategic analysis of public transport coverage”, Socio-Economic Planning Sciences 35, Pergamon, pp 175-188.
- Nuzzolo A., Crisalli U., Coppola P., Rosati L., Rindone C. (2003), “Una metodologia di analisi e progettazione dei servizi minimi di trasporto collettivo”, in Modelli e metodi per la programmazione dei servizi di Trasporto Pubblico Locale: Applicazioni a casi reali, Franco Angeli Editore, pp. 38-55
- Nuzzolo A., Russo F. (1997), “Modelli e metodi per l’analisi dei sistemi di trasporto”, Franco Angeli Editore
- Postorino M.(2001), “Una metodologia di analisi delle aziende di trasporto collettivo”, in Metodi e modelli per il Trasporto Pubblico Locale, Franco Angeli Editore, pp. 49-62.
- Ray, J. (2007). A Web-Based Spatial Decision Support System Optimizes Routes for Over-size/ Overweight Vehicles in Delaware. Decision Support Systems 43, 1171–1185.
- Russo F., Musolino G., Velonà P.(2002), “Modelli e metodi per il progetto dei sistemi di trasporto collettivo. Uno stato dell’arte”, in Modelli e metodi per la programmazione dei servizi di Trasporto Pubblico Locale: uno stato dell’arte, Franco Angeli Editore, pp. 37-53.
- Sauter V. L.(2010), Decisioni Support System for business intelligence, 2° edition, WILEY A JOHN WILEY & SONS, INC. PUBLICATION
- Schobel A., Locating stops along bus or railway lines – a bi-criteria problem, Annals of Operations Research, 2005.
- Schöbel A., *Optimization in Public Transportation*, Softcover reprint of hardcover 1st ed. 2006. 2010, Springer, Berlin.
- Sprague R. H., and Carlson E. D., Building Effective Decision Support Systems, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1982.
- Transit Capacity and Quality of Service Manual, 3rd Edition.
- Van Nes R. and Bovy P.H.L., The importance of objectives in urban transit network design. Transportation Research Record 1735, 2000.
- Vannieuwenhuysse, B., Gelders, L., & Pintelon, L. (2003). An Online Decision Support System for Transportation Mode Choice. Logistic Information Management 16, 125–133.

- Vitale A., Guido G., Rogano D., Festa D.C., (2014). A decision Support System based on smartphone probes as a tool to promote public transport. *Procedia – Social and Behavioral Sciences* 111 (2014) pp. 224 – 231.
- Vuchic V.R. (1981) *Urban Public Transportation. Systems and technology*. Prentice Hall.
- Vuchic V.R. (1992) *Urban Public Transportation Modes*. Chapter 4 in *Public Transportation*. Gray G.E., Hoel L.A. editors
- Vinke P. (1992). *Multicriteria Decision-Aid*. Wiley, West Sussex
- Wirasinghe S. C. and Ghoneim N.S., *Spacing of Bus Stops for Many to Many Travel Demand Transportation Science* v. 15, 1981

#### Quadro Normativo

- Decreto Legislativo n.400 del 20/09/1999. Modifiche ed integrazioni al decreto legislativo 19 novembre 1997, n.422 recante conferimento alle regioni ed agli enti locali di funzioni e compiti in materia di trasporto pubblico locale. G.U. n.259 del 4/11/1999
- Decreto Legislativo n. 422 del 19/11/1997. Conferimento alle regioni ed agli enti locali di funzioni e compiti in materia di trasporto pubblico locale, a norma dell'articolo 4, comma 4, della legge 15 marzo 1997, n. 59. G.U. n.287 del 10/12/1997
- Decreto Legislativo 30 aprile 1992, n. 285. Nuovo codice della strada. G.U. n.114 del 18-5-1992
- Decreto Ministeriale n. 6792 del 5 novembre 2001. Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade. G.U. n.3 del 4/1/02.
- Decreto Ministeriale 19 aprile 2006. Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali. G.U. n. 170 del 24/07/2006
- Decreto Ministeriale n.236 del 14 /6/1989. Prescrizioni tecniche necessarie a garantire l'accessibilità, l'adattabilità e la visitabilità degli edifici privati e di edilizia residenziale pubblica sovvenzionata e agevolata, ai fini del superamento e dell'eliminazione delle barriere architettoniche. G.U. n. 145 del 23/06/1989
- Direttive per la redazione adozione ed attuazione dei piani urbani di traffico. Art.36 del decreto legislativo 30 aprile 1992, n.285 Nuovo codice della strada. G.U. n. 146 del 24/06/1995

- Documento dell'Unione Europea - Libro Bianco - “Tabella di marcia verso uno spazio unico europeo dei trasporti - Per una politica dei trasporti competitiva e sostenibile” - marzo 2011
- Documento dell'Unione Europea- Libro Verde- “Verso una nuova cultura della mobilità urbana” – settembre 2007
- Regolamento (CE) n. 1370/2007 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 23/10/07 relativo ai servizi pubblici di trasporto di passeggeri su strada e per ferrovia. G.U. Unione europea L. 315/1 del 3/12/2007
- Regolamento di esecuzione e di attuazione del Nuovo codice della strada, D.P.R. n.495 del 16/12/1992. G.U. 28/12/1992
- Regolamento recante norme per l'eliminazione delle barriere architettoniche negli edifici, spazi e servizi pubblici, DPR del 24/7/1996, n. 503. G.U. n. 227, 27/09/1996

#### Sitografia

<http://www.geofabrik.de/data/index.html>

<http://www.isfort.it/sito/ricerca/TrasportoPubblico/TrasportoPubblico.htm>

<http://www.istat.it/it/prodotti/banche-dati>

<http://www.opengeospatial.org>

<http://www.pcn.minambiente.it/GN/>