

GIUNTA REGIONALE DELLA CAMPANIA  
ASSESSORATO ALLA RICERCA SCIENTIFICA



# Metodologie di progettazione dei servizi di trasporto pubblico locale nelle aree a domanda debole

*a cura di*  
Bruno Montella  
Luca D'Acerno



Copyright © MMIX  
ARACNE editrice S.r.l.

[www.aracneeditrice.it](http://www.aracneeditrice.it)  
[info@aracneeditrice.it](mailto:info@aracneeditrice.it)

via Raffaele Garofalo, 133 A/B  
00173 Roma  
(06) 93781065

ISBN 978-88-548-2905-3

*I diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica,  
di riproduzione e di adattamento anche parziale,  
con qualsiasi mezzo, sono riservati per tutti i Paesi.*

*Non sono assolutamente consentite le fotocopie  
senza il permesso scritto dell'Editore.*

I edizione: dicembre 2009

# Indice

<b>Indice</b> .....	<b>1</b>
<b>Premessa</b> .....	<b>3</b>
<b>1. Stato dell'arte dei modelli ed algoritmi per i servizi di Trasporto Pubblico Locale (TPL)</b> .....	<b>5</b>
<i>1.1. I servizi di TPL di tipo tradizionale</i> .....	5
1.1.1. Il processo di progettazione di un sistema di trasporto pubblico.....	6
1.1.2. Risoluzione dei problemi di Transit Network Design and Scheduling .....	8
<i>1.2. I servizi di TPL a chiamata</i> .....	12
1.2.1. Il servizio Dial-a-Ride .....	14
1.2.2. Modelli e metodi per la definizione della domanda potenziale .....	15
1.2.3. Modelli e metodi per la gestione delle richieste .....	19
1.2.4. Modelli e metodi per la determinazione delle tariffe.....	20
1.2.5. Modelli e metodi per il dimensionamento delle flotte e dei veicoli .....	30
1.2.6. Modelli e metodi per la definizione del personale di servizio.....	31
1.2.7. Modelli e metodi per la determinazione dei costi di esercizio.....	32
<i>1.3. Citazioni bibliografiche</i> .....	34
<b>2. Tipologie di servizi di TPL in aree a domanda debole</b> .....	<b>37</b>
<i>2.1. Analisi della normativa vigente</i> .....	37
2.1.1. La normativa dell'Unione Europea.....	38
2.1.2. La normativa italiana .....	38
2.1.3. La normativa regionale in Italia.....	43
<i>2.2. Classificazione dei servizi di trasporto collettivo nelle aree a domanda debole</i> .....	49
<i>2.3. Modalità di gestione delle richieste ed algoritmi risolutivi</i> .....	50
2.3.1. Algoritmi euristici costruttivi.....	51
2.3.2. Algoritmi euristici migliorativi.....	51
2.3.3. Algoritmi di ricerca locale .....	52
2.3.4. Algoritmi euristici a due fasi .....	52
2.3.5. Algoritmi esatti .....	52
2.3.6. Metaeuristiche.....	53
<i>2.4. Politiche tariffarie per i sistemi di trasporto collettivo in aree a domanda debole</i> .....	54
<i>2.5. Citazioni bibliografiche</i> .....	55

<b>3. Analisi delle applicazioni di servizi a chiamata in Italia ed in Europa.....</b>	<b>57</b>
3.1. <i>Applicazioni in Italia</i> .....	58
3.1.1. Pronto Bus di Parma .....	59
3.1.2. EccoBus di Alessandria .....	61
3.1.3. PersonalBus di Firenze .....	62
3.1.4. Drinbus di Genova .....	63
3.1.5. Radiobus di Milano.....	64
3.1.6. ProntoBus di Modena .....	65
3.1.7. Prontobus di Bologna.....	66
3.1.8. Servizio Sperimentale ChiAma 'O Bus in Campania.....	67
3.2. <i>Applicazioni in Europa</i> .....	69
3.2.1. Allobus di Roissy.....	69
3.3. <i>Fonti delle informazioni</i> .....	70
<b>4. Analisi delle tecnologie impiegate o impiegabili per i servizi a chiamata.....</b>	<b>71</b>
4.1. <i>Tecnologie a servizio della gestione di un sistema Dial-a-Ride</i> .....	73
4.1.1. La centrale operativa.....	73
4.1.2. Il veicolo .....	73
4.1.3. L'utente .....	76
4.2. <i>Citazioni bibliografiche</i> .....	77
<b>5. La metodologia proposta per la progettazione dei servizi di TPL a chiamata .....</b>	<b>79</b>
5.1. <i>L'individuazione dei bacini a domanda debole</i> .....	79
5.2. <i>La progettazione dei servizi a chiamata</i> .....	81
5.3. <i>La definizione delle architetture e delle tecnologie a supporto dei servizi progettati</i> ...82	
<b>6. Applicazione ad un caso reale della metodologia proposta.....</b>	<b>1</b>
6.1. <i>Individuazione delle aree a domanda debole e dei centri egemoni</i> .....	2
6.2. <i>Stima della domanda da servire in ciascuna area a domanda debole</i> .....	8
6.3. <i>Calcolo del numero di veicoli necessari al servizio, dei veic-h e dei veic-km equivalenti</i> .....	15
<b>Bibliografia .....</b>	<b>101</b>

## Premessa

Questo volume intende presentare i risultati finali della ricerca svolta presso il Dipartimento di Ingegneria dei Trasporti “Luigi Tocchetti”, dell’Università di Napoli “Federico II”, nell’ambito del progetto “Metodologie di progettazione dei servizi di trasporto pubblico locale nelle aree a domanda debole” finanziato dall’Assessorato alla Ricerca Scientifica della Regione Campania con il programma “*Promozione della Ricerca Scientifica in Campania, Legge Regionale n.5 del 28 marzo 2002, Annualità 2005*”.

I servizi di trasporto pubblico devono coprire fondamentalmente due ruoli importanti: offrire una mobilità di base per tutti e fornire una buona alternativa all'uso dei veicoli privati per ridurre gli impatti negativi che questi comportano in termini di congestione e inquinamento. L'importanza del primo aspetto è connesso al fatto che da sempre il grado di civilizzazione di un'area, inteso come sviluppo economico e miglioramento della qualità della vita, è legato direttamente al sistema di mobilità presente su di essa. Ciò è maggiormente vero per quelle aree rurali dove spesso si verifica una carenza di servizi, fondamentali per una vita civile da garantire per tutti. Per quanto riguarda il secondo aspetto, invece, i servizi di trasporto pubblico si trovano a dover affrontare una competizione molto difficile con l'autovettura privata che garantisce elevate prestazioni in termini di tempi di viaggio, affidabilità e confort.

La legislazione recente in materia di trasporti ha posto particolare attenzione a questi due ruoli fondamentali che deve svolgere il trasporto pubblico, emanando una serie di disposizioni, tra le quali ne esiste una che riguarda la mobilità nelle aree cosiddette a domanda debole. Il comma 4 dell'articolo 14 del Decreto Legislativo 19 novembre 1997 n. 422 «Conferimento alle regioni e agli enti locali di funzioni e compiti in materia di trasporto pubblico locale» prevede che “Per l'esercizio dei servizi pubblici di trasporto locale in territori a domanda debole, al fine di garantire comunque il soddisfacimento delle esigenze di mobilità nei territori stessi, le regioni possono individuare modalità particolari di espletamento dei servizi di linea...”. L'articolo della legge ha l'obiettivo di assicurare il servizio di trasporto pubblico anche in quei territori definiti a domanda debole dove attualmente esso è negato oppure è erogato in maniera inefficace. Per comprendere meglio questo obiettivo e le esigenze che hanno portato alla stesura dell'articolo è necessario definire le caratteristiche di questi territori a domanda debole e motivare la mancanza di un attuale servizio, oppure, laddove esso è presente, motivarne la sua inefficacia.

La definizione di ambito a domanda debole non è espressamente riportata nella legge, ma si può far riferimento ai contesti riportati in Kirby *et al.* (1994):

- utenza dispersa spazialmente: cioè le aree extraurbane a bassa densità abitativa dove l'utenza del trasporto pubblico è ridotta, perché il servizio non può garantire, per motivi di costo, la frequenza e la capillarità che sarebbero necessarie ad attrarre utenza.
- utenza dispersa temporalmente: cioè le fasce orarie di morbida in particolare quelle serali e notturne dove si verifica una riduzione dell'utenza perché il servizio di linea tradizionale non può garantire condizioni di sicurezza.
- utenza a mobilità ridotta: sono servizi per categorie protette come gli anziani e i disabili.

In altri termini possono essere considerati ambiti a domanda debole quelle porzioni di territorio, urbane o extraurbane, entro le quali esiste domanda di trasporto la cui ridotta entità, unitamente alla dispersione nello spazio e nel tempo e ad eventuali difficoltà dell'esercizio legate alla conformazione territoriale, è tale da rendere poco efficace e molto costosa l'organizzazione

ne di servizi tradizionali di trasporto pubblico di linea. Il progetto di un servizio di trasporto pubblico di linea consiste, infatti, nel determinare i tracciati delle linee e le frequenze delle corse che soddisfano da un lato le esigenze dell'azienda che lo eroga e che chiede un basso costo di produzione del servizio e dall'altro lato le esigenze degli utenti che chiedono un servizio di elevata qualità. Le due esigenze precedenti sono evidentemente contrastanti ed il compromesso che ne deriva comporta la nascita di un servizio che può scontentare tutti i soggetti coinvolti (sia l'azienda che gli utenti) e presenta molti punti di debolezza che vengono maggiormente evidenziati nei territori a domanda debole.

In questi ambiti, con riferimento all'articolo 14 del Decreto Legislativo 422/97, una modalità particolare di espletamento dei servizi di linea è rappresentata dai servizi di trasporto a chiamata, ovvero sistemi di trasporto che si adeguano alla domanda, adeguando ad essa percorsi ed orari.

Il servizio di trasporto a chiamata (comunemente indicato come Dial-a-Ride) prevede una flotta di veicoli, composta da autobus di dimensioni ridotte rispetto a quelli di linea. Gli utenti del sistema prenotano il loro viaggio presso una centrale operativa informatizzata indicando l'origine dello spostamento, destinazione dello spostamento, orario desiderato di partenza o di arrivo a destinazione ed eventuali altre informazioni. La centrale definisce di conseguenza i percorsi e gli orari dei veicoli in modo da fornire agli utenti un servizio di qualità adeguata, e all'azienda dei costi di produzione accettabili.

Un servizio di trasporto così concepito risulta essere totalmente innovativo rispetto agli schemi classici a cui normalmente ci si riferisce quando si parla di sistemi di trasporto pubblico collettivo (percorsi ed orari fissi, autobus di grosse dimensioni) e trasporto pubblico individuale (taxi). I sistemi a chiamata si avvicinano al taxi, e in un certo senso all'auto privata, perché sono disponibili su richiesta all'ora desiderata e permettono all'utente di indicare, entro certi limiti, il luogo di partenza e quello di destinazione, risparmiandogli o riducendo gli spostamenti a piedi o con altri mezzi. Tuttavia, ne differiscono perché rimangono un sistema collettivo in quanto ogni veicolo serve in generale più persone contemporaneamente. Inoltre, l'utente non può scegliere il percorso seguito né la durata dello spostamento. In generale, infatti, nessuno degli utenti viene servito al meglio, ma il sistema persegue un compromesso fra le esigenze di ciascun utente e quelle del servizio stesso. I sistemi a chiamata si avvicinano quindi ai sistemi di trasporto pubblico tradizionali, dato che sottraggono all'utente il controllo sul percorso e l'orario, ma ne differiscono perché percorsi ed orari sono determinati in larga misura dalle richieste dei passeggeri e tendono a soddisfarle nel modo migliore.

Alla luce della recente normativa nel campo del trasporto pubblico locale sia a livello nazionale (Decreto Legislativo 422/97 e successive modifiche) che a livello regionale (Regione Campania: Legge Regionale n. 3 del 28 marzo 2002) risulta essere utile realizzare una struttura organica di modelli e metodi per la progettazione dei servizi di trasporto pubblico a chiamata nelle aree a domanda debole.

# 1. Stato dell'arte dei modelli ed algoritmi per i servizi di Trasporto Pubblico Locale (TPL)

*Valerio de Martinis, Roberta Ciccarelli e Luca D'Acerno, Dipartimento di Ingegneria dei Trasporti "Luigi Tocchetti" – Università degli Studi di Napoli "Federico II"*

Nel presente capitolo si esamina lo stato dell'arte relativo ai modelli ed algoritmi per i servizi di Trasporto Pubblico Locale (comunemente indicati con l'acronimo TPL) per i sistemi di trasporto a chiamata. Per completezza di trattazione è riportato nel primo paragrafo anche un breve stato dell'arte relativo ai servizi di trasporto pubblico di tipo tradizionale.

## 1.1. I servizi di TPL di tipo tradizionale

La progettazione del trasporto pubblico interessa un vasto settore di ricerca; dalla definizione della rete di trasporto alla gestione del personale, dalla stima della domanda all'assegnazione su rete, da metodi matematici risolutivi a metodi evolutivi, il processo di sviluppo di un sistema di trasporto pubblico è stato affrontato in molteplici aspetti. L'interesse verso il trasporto pubblico è dovuto principalmente alla comune convinzione che il suo sviluppo è un punto cruciale nella società odierna. La considerazione principale, motivo dei molteplici studi sul trasporto pubblico consiste nel ritenere che il trasporto pubblico, se accessibile e di buona qualità, può essere considerata una valida alternativa per la domanda di mobilità che sceglie l'auto come principale modo di trasporto, specialmente se si tiene conto della sempre crescente congestione dei flussi di traffico, dei problemi di parcheggio e dell'inquinamento atmosferico. È un dovere e un obiettivo delle aziende di trasporto pubblico di fornire queste condizioni di utilizzo attraverso un continuo affinamento del loro sistema, migliorando le condizioni di utilizzo per gli utenti e nel contempo minimizzare i costi attraverso tecniche di ottimizzazione del sistema.

Dal punto di vista dell'utente, il sistema dovrebbe venire incontro alla domanda fornendo un servizio economico e proporzionato alle richieste dei passeggeri; i criteri di valutazione per l'utilizzo del trasporto pubblico includono anche il confort a bordo, la regolarità del servizio, la copertura sull'area servita e la frequenza. Dal punto di vista dell'operatore invece, il sistema dovrebbe generare quanto più profitto possibile. Trovare un equilibrio tra questi obiettivi contrastanti è quindi la principale sfida nella progettazione di un sistema di trasporto pubblico.

Nella letteratura corrente si è soliti dividere il processo di progettazione di un sistema di trasporto pubblico in 5 fasi:

- 1) definizione delle linee
- 2) l'assegnazione delle frequenze
- 3) definizione del timetable
- 4) l'assegnazione delle vetture
- 5) l'assegnazione del personale

Le prime tre fasi sono definite come gli elementi fondamentali per il processo di progettazione di un sistema di trasporto pubblico e in particolare la fase 1) è relativa ad aspetti strategici della progettazione mentre le fasi 2) e 3) sono riferite a scelte progettuali di tipo tattico. In queste 3 fasi vengono generate tutte le informazioni necessarie all'utente quali le linee del

servizio di trasporto, la loro frequenza e i loro orari di partenza. Le fasi 4) e 5) sono relative a scelte operative dell'azienda e sono vincolate dai risultati delle prime 3 fasi.

Anche se per certi aspetti queste 3 fasi sono essenzialmente rivolte all'utente il problema rimane comunque multi-obiettivo in quanto debbono essere considerati anche obiettivi di tipo finanziario.

L'importanza della definizione del trasporto pubblico in generale è importante per avere una visione comune dei vari aspetti e delle varie particolarità che il sistema stesso può assumere, per l'inquadramento delle problematiche generali e delle problematiche specifiche, delle soluzioni e della loro non sempre possibile complementarietà. Inoltre l'evoluzione delle politiche di trasporto pubblico, riguardanti in particolare l'intermodalità e l'integrazione, pongono nuove importanti domande e ulteriori vincoli alla progettazione di un sistema di trasporto pubblico.

Nel campo dei trasporti pubblici sono disponibili interessanti review di Fan *et al.* (2004), Delsaunier *et al.* (2007) e Guihaire *et al.* (2008).

Nei paragrafi seguenti verrà analizzato il processo di progettazione di un sistema di trasporto pubblico, la varietà dei problemi affrontati e i metodi risolutivi proposti, la catalogazione degli stessi secondo la tipologia degli approcci metodologici presenti in letteratura, le recenti politiche, sviluppi sfide e opportunità del settore.

### 1.1.1. Il processo di progettazione di un sistema di trasporto pubblico

In generale il problema di progettazione di un sistema di trasporto pubblico è estremamente complesso nei suoi aspetti e difficile nella sua risoluzione, ed anche i problemi relativi alle singole fasi sono classificati come "NP-Hard" (nondeterministic polynomial-time hard) al punto di vista della complessità computazionale.

Il processo di progettazione di un sistema di trasporto pubblico si basa sui seguenti input: la domanda di spostamento, l'area di studio con caratteristiche topologiche assegnate, un determinato numero di veicoli e di personale assegnato. L'obiettivo è quindi la ricerca di una serie di linee e relative tabelle orarie (timetables) alle quali assegnare veicoli e conducenti.

In via teorica, le fasi di progettazione dovrebbero essere affrontate in maniera simultanea in modo da tenere in debito conto le interazioni tra variabili ed eventuali feedback, così da ricercare risultati di migliore qualità. In pratica, a causa della particolare complessità del problema, l'approccio simultaneo risulta anche dal punto di vista formale intrattabile. Negli anni sono stati definiti vari sottoproblemi in modo da risolvere il problema generale in maniera sequenziale, a scapito di ogni garanzia di soluzione ottima del problema.

Il progetto di un sistema di trasporto pubblico è un problema multiobiettivo in cui entrano in conflitto gli interessi delle aziende e le aspettative degli utenti. In molti Paesi le autorità pubbliche sovvenzionano totalmente o in parte le aziende di trasporto pubblico, imponendo una certa copertura temporale e spaziale del territorio.

Data la vastità del problema e i temi trattati si fa riferimento alle prime 3 fasi della progettazione, utili per successive considerazioni nei capitoli seguenti.

#### 1.1.1.1. Definizione delle linee

**Obiettivo** di questa fase è di definire una serie di linee di autobus e relativi percorsi in una ben definita area di intervento e relative fermate.

Gli **input** del problema sono la topologia dell'area di intervento, intesa come il complesso di infrastrutture e regole di circolazione a disposizione, ivi comprese possibili aree per le fermate e per i depositi dei veicoli, e le matrici Origine-Destinazione (OD).