

ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

FACOLTA' DI INGEGNERIA

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA CIVILE

DICAM – Dipartimento Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali

TESI DI LAUREA

in

Pianificazione dei Trasporti M

***SISTEMI DI TIPO BUS RAPID TRANSIT:
STATO DELL'ARTE E APPLICAZIONI***

ELABORATO FINALE DI:
Sara Giusti

RELATORE:
Prof. Luca Mantecchini

CORRELATORE:
Ing. Filippo Paganelli

Anno Accademico 2011/2012
II Sessione

PAROLE CHIAVE

Bus Rapid Transit

Capacità

Livello di servizio

Sistema di trasporto

Trasporto di massa

INDICE

INTRODUZIONE	1
CAPITOLO 1: IL SISTEMA BUS RAPID TRANSIT	3
1.1 Introduzione	3
1.2 Spiegazione del concetto di Bus Rapid Transit	4
1.2.1 Confronto tra BRT e altri sistemi di trasporto	6
1.3 Perché incentivare il sistema BRT?	9
1.3.1 Una soluzione di basso costo alla crescita urbana	9
1.3.2 Supporto politico e comunitario	11
1.4 Perché non sviluppare il sistema BRT?	12
1.5 Conclusioni	14
CAPITOLO 2: CARATTERISTICHE PRINCIPALI DEL BRT	17
2.1 Introduzione	17
2.2 Vie di marcia	19
2.2.1 Vie di marcia e grado di separazione	20
2.2.2 Marcatatura del percorso di marcia	24
2.2.3 Vie di marcia e tipi di guida	25
2.3 Stazioni	27
2.3.1 Localizzazione e tipi di stazione	28
2.3.2 Configurazione della piattaforma e del suo bordo	29
2.3.3 Capacità di sorpasso, servizi rivolti ai passeggeri ed accessibilità	31
2.4 Veicoli	32
2.4.1 Configurazione e tipi di veicoli	33
2.4.2 Valorizzazione estetica e movimentazione dei passeggeri	34
2.5 Sistema tariffario	37
2.5.1 Processo, struttura e tecnologia del sistema tariffario	37
2.6 Servizi e pianificazione dei percorsi	40
2.6.1 Lunghezza e struttura dei percorsi	41
2.6.2 Intervalli e frequenza del servizio	44
2.6.3 Distanza tra le fermate e controllo della tabella di marcia	46
2.7 Intelligent Transportation Systems (ITS)	46
2.7.1 Sistemi di precedenza e sistemi di veicoli intelligenti	48
2.7.2 Sistemi di gestione delle operazioni, di informazione agli utenti e di sicurezza	49
2.8 Conclusioni	50
CAPITOLO 3: CARATTERISTICHE PRESTAZIONALI E COSTI DEL SISTEMA	53

3.1	Introduzione	53
3.2	Tempo di viaggio	54
3.2.1	Analisi dei principali elementi che influenzano il tempo di viaggio e le sue caratteristiche	55
3.3	Affidabilità	57
3.3.1	Analisi dei principali elementi che influenzano l'affidabilità e le sue caratteristiche.....	58
3.4	Identità ed immagine	60
3.4.1	Analisi dei principali elementi che influenzano l'immagine e l'identità del sistema	61
3.5	Safety & Security	63
3.6	Accessibilità	65
3.7	Comfort	67
3.8	Capacità	68
3.8.1	Analisi sul calcolo della capacità del sistema	71
3.8.2	Carico di passeggeri e capienza dei veicoli	79
3.8.3	Confronto sulle capacità dei diversi sistemi di trasporto pubblico	80
3.9	Costi	81
3.10	Benefici potenziali	86
3.11	Conclusioni	87
	CAPITOLO 4: APPLICAZIONI NEL MONDO	91
4.1	Introduzione	91
4.2	Storia ed evoluzione del BRT	91
4.3	Applicazione dei sistemi BRT nel mondo	95
4.3.1	U.S.A e Canada.....	96
4.3.2	Australia	107
4.3.3	Sud America	111
4.3.4	Asia	121
4.3.5	Europa	127
4.4	Conclusioni	133
	CONCLUSIONI.....	137
	BIBLIOGRAFIA	141

INTRODUZIONE

L'elevata crescita urbana ed il conseguente rapido peggioramento del traffico veicolare ha portato, negli ultimi decenni, alla ricerca di nuovi modi di trasporto che potessero garantire un'elevata capacità e qualità. Sempre più città in via di sviluppo, infatti, hanno mostrato l'esigenza di garantire collegamenti veloci tra zone periferiche e commerciali della città, senza però rinunciare ad un'alta qualità del servizio. Per molti anni l'attenzione è stata rivolta a progetti costruttivi o migliorativi dei sistemi su ferro, come LRT e metropolitane; tuttavia gli elevati costi capitali ed operativi associati a queste modalità hanno fortemente limitato il loro sviluppo in molte città.

Sulla base di queste nuove esigenze, a partire dagli anni settanta, si svilupparono le prime implementazioni pionieristiche di Bus Rapid Transit (BRT). Questi primi sistemi però non riscossero immediatamente un gran successo in tutto il mondo, ma solo in America Latina. La vera grande svolta nell'applicazione dei BRT la si ebbe solo alla fine degli anni novanta. Proprio in questi anni, in tutto il mondo, questo nuovo modo di trasporto di massa iniziò ad avere sempre più successo, non solo per le alte prestazioni che era in grado di fornire, ma anche perché prevedeva bassi costi di costruzione ed una maggiore velocità di realizzazione rispetto ai sistemi su ferro.

Fatte queste premesse, l'obiettivo del seguente studio sarà quello di esaminare questa "nuova" modalità di trasporto, analizzando tecnicamente quali sono le caratteristiche fisiche e prestazionali, che la differenziano dalle altre modalità di trasporto, e quali sono le particolarità di alcuni dei sistemi più famosi, applicati nel mondo.

Innanzitutto si cercherà di capire cosa si intende per sistemi di tipo *Bus Rapid Transit*, sia definendo il concetto di "Rapid Transit", che successivamente fornendo una definizione, il più rigorosa possibile, di questi sistemi. Dopo questa prima introduzione che doterà il lettore degli strumenti necessari per capire, in maniera generica, cosa s'intende quando si parla di BRT, si passerà ad una descrizione tecnica delle caratteristiche principali che identificano il sistema. Nel secondo capitolo, infatti, verranno

presentate tutte le alternative progettuali che è possibile implementare nella costruzione di questi sistemi. Tra tutti gli elementi caratteristici descritti, particolare attenzione verrà posta alle vie di marcia ed alla configurazione delle stazioni e dei percorsi. Successivamente, nel terzo capitolo, verranno descritti singolarmente tutti gli attributi prestazionali. In particolar modo, verrà effettuata un'analisi approfondita sulla capacità e sul tempo di sosta alle fermate. La decisione di analizzare nello specifico questi due attributi, nasce principalmente dall'esigenza di cercare di capire quali elementi permettono a questi sistemi di competere con i ben noti sistemi di metropolitana leggera. Sempre in questa sezione particolare attenzione verrà fatta all'interazione tra caratteristiche principali e prestazioni, nonché ai costi che rendono competitivi questi sistemi.

Avendo le informazioni tecniche necessarie fornite dalle sezioni precedenti, nel quarto capitolo, verrà descritta velocemente l'evoluzione che ha portato alla nascita del BRT, e verranno analizzati alcuni dei più importanti sistemi operativi nel mondo. Per fornire al lettore uno strumento di facile e veloce lettura, per ciascun sistema analizzato, le informazioni relative ad attributi e caratteristiche fisiche sono state raccolte in apposite tabelle. In questo modo verrà fornito uno strumento di lettura efficiente che permetterà facilmente di confrontare questi sistemi tra loro.

Considerando tutte le caratteristiche principali, le prestazioni ed i casi applicativi, sarà possibile definire limiti e particolarità su cui è necessario porre maggiormente attenzione in fase progettuale, ed inoltre, sarà possibile identificare quali contesti si adattano maggiormente all'applicazione di questi sistemi.

CAPITOLO 1

IL SISTEMA BUS RAPID TRANSIT

1.1 Introduzione

Negli ultimi anni l'aumento esponenziale della popolazione nelle città ha posto i progettisti dei trasporti di fronte ad un grande dilemma. Se da una parte era necessario accrescere la mobilità personale, dall'altra c'era il problema delle disponibilità dei fondi da poter investire nei trasporti, e dell'aumento delle ripercussioni pubbliche verso la costruzione di nuove strade.

In una situazione del genere si comprende come il trasporto pubblico rappresenti una soluzione percorribile anche se, le esistenti forme di servizio pubblico, risultano essere totalmente inappropriate nella maggior parte degli ambienti, o comunque considerate, da una vasta porzione di popolazione, come un'alternativa totalmente inaccettabile all'uso dell'automobile. I comuni sistemi di autobus, che sono stati un riferimento per molti anni, negli ultimi decenni non sono riusciti ad adeguarsi ai cambiamenti dei desideri e delle necessità degli utenti. Cosa ben diversa è successa invece ai sistemi di metropolitana leggera (Light Rapid Transit -LRT), che negli ultimi anni, hanno avuto un grande successo nel catturare l'immaginario e le esigenze della collettività. Lo sviluppo di questi sistemi, come vedremo brevemente in seguito, richiede tuttavia elevati flussi di passeggeri ed alti costi di costruzione e manutenzione, che spesso però non sono giustificati dai bassi flussi. Poiché non sempre è possibile sviluppare un numero sufficiente di sistemi su rotaia che possano soddisfare i desideri degli utenti, si fa sempre più strada la necessità di individuare un sistema che sia in grado di avere un'elevata capacità, ma che allo stesso tempo rispetti l'ambiente (in modo tale da ottenere un maggior consenso pubblico) e fornisca un ottimo servizio a costi contenuti.

Con questa logica di pensiero, negli ultimi quarant'anni, si sono quindi pensati e sviluppati diversi sistemi di trasporto su gomma che potessero

fornire un alto livello di servizio. Questi sistemi, inizialmente, si servivano delle corsie riservate agli autobus sulle autostrade ed erano meglio definiti come “bus highway”; successivamente il concetto si estese anche alle strade urbane applicando l’idea di un sistema su rotaie a veicoli gommati. Questa evoluzione ha portato alla nascita di un sistema di trasporto, definito Bus Rapid Transit (BRT), che si differenzia dai convenzionali sistemi gommati per il suo alto livello di servizio e la sua maggiore capacità.

L’intento di questo primo capitolo introduttivo è quindi quello di capire cosa s’intende per sistemi di tipo Bus Rapid Transit, e di fornire alcune veloci indicazioni sui motivi per cui si dovrebbe applicare un sistema di questo tipo, piuttosto che un sistema di metropolitana leggera. Le caratteristiche e gli attributi tipici del sistema verranno invece discussi nello specifico nei capitoli successivi.

1.2 Spiegazione del concetto di Bus Rapid Transit

Come è noto il termine Bus Rapid Transit deriva dall’inglese quindi, se volessimo effettuare una traduzione alla lettera del termine in italiano, si avrebbe un’ espressione del tipo “autobus a transito veloce”; per cercare di capire se questa espressione si adatta a descrivere il tipo di sistema in esame partiamo definendo il concetto di *rapid transit*.

Con il termine *rapid transit* “*non si indica un modo di trasporto, come implicherebbe il suo nome, ma un sistema di trasporto di massa che offre un servizio più rapido rispetto agli altri sistemi utilizzabili, tipicamente con velocità media operativa di 50 km/h o superiore; generalmente tale sistema richiede corsie preferenziali esclusive*” (Iles, 2006). Da questa definizione si capisce che i sistemi di trasporto che rispettano questa descrizione, altro non sono che i comuni sistemi di metropolitana leggera e autobus o filobus che viaggiano su corsie preferenziali e che, pertanto, sono più veloci di quei sistemi che invece condividono lo spazio stradale con altri modi di trasporto.

Analizzato ciò possiamo ora a definire cosa s’intende per sistemi di tipo Bus Rapid Transit (BRT). Poiché la progettazione ed il funzionamento di questi sistemi variano notevolmente, risulta alquanto difficile trovare un’unica

definizione che descriva in maniera sintetica e concisa questi sistemi. Si considerano pertanto diverse definizioni presenti in letteratura, in modo tale, da capire gli scopi fondamentali e alcune caratteristiche del sistema in esame; tra le diverse definizioni trovate in letteratura si considerano le seguenti:

- BRT è *“un sistema di trasporto pubblico su gomma, veloce, flessibile, che combina stazioni, veicoli, servizi, corsie ed elementi di un sistema intelligente di trasporto (ITS) in un sistema pienamente integrato con una forte immagine e identità”*; (Levinson, 2003).
- *“Il BRT può essere descritto come una combinazione di investimenti sulle attrezzature, sulla rete e sui veicoli atti a convertire i servizi di autobus convenzionali in un servizio di trasporto avente un’infrastruttura fissa, che aumenti notevolmente la sua efficienza e l’efficacia per l’utente finale”*; (Thomas, 2002).
- *“BRT è un sistema di trasporto di massa che utilizza corsie preferenziali che imitano la rapidità e le prestazioni di una metropolitana utilizzando la tecnologia degli autobus anziché quella dei veicoli ferroviari”*; (Wright, 2004).

Da queste enunciazioni si capisce, innanzitutto, come il BRT rispecchi autenticamente il concetto di *“rapid transit”* precedentemente esposto e soprattutto si evince come, questo sistema, possa essere erroneamente considerato un’evoluzione del sistema di trasporto pubblico tradizionale, piuttosto che un sistema di trasporto innovativo. Infatti tutte le definizioni viste, si limitano a fare una lista dei possibili attributi che possono essere associati al sistema, mentre nessuna si occupa sostanzialmente di precisare quali devono essere, o meno, le caratteristiche essenziali che devono essere presenti. Questa imprecisione nella definizione potrebbe quindi rappresentare un problema nella comprensione del sistema, che

inizialmente, potrebbe non essere percepito come una valida alternativa ai sistemi di trasporto convenzionali.

Proprio questa genericità nella definizione fa in modo che il BRT sia conosciuto, e applicato, in diverse parti del mondo con molti nomi differenti, tra i quali:

- sistema di autobus ad alta capacità
- sistema di autobus ad alta qualità
- metro-autobus
- metro di superficie
- sistema di autobus espresso
- linee ad alta mobilità

In realtà, come si vedrà in seguito, questi apparati si fondano sul concetto base di BRT ma in effetti non presentano tutte le caratteristiche fondamentali che distinguono il sistema, ma bensì solo parte di queste. Proprio per questo motivo, possiamo considerare i sistemi nominati non proprio come Bus Rapid Transit in senso stretto ma piuttosto come “sfumature” del medesimo.

1.2.1 Confronto tra BRT e altri sistemi di trasporto pubblico

Si rammenti ora la definizione di autobus standard che tutti noi conosciamo:

“un autobus è definito ampiamente come un veicolo stradale automatico e gommato progettato per trasportare un numero sostanziale di passeggeri, che opera generalmente su strade e autostrade” (Kittelson & Associates, 2003).

Confrontando questa definizione con quelle precedentemente esposte si evince che un sistema BRT si differenzia da un sistema di autobus standard per la sue qualità superiori (dove per qualità s’intendono velocità, comfort, affidabilità ecc.), per la sua maggiore capacità, per la sua maggiore convenienza e per la sua integrazione e immagine positiva. Tuttavia, come vedremo successivamente studiando a fondo le caratteristiche del BRT, non è sempre chiaro dove finisce il concetto di autobus e inizia quello di BRT.

Dalle definizioni esposte si capisce inoltre che il sistema in esame è molto simile ai sistemi di metropolitana leggera, soprattutto in termini di prestazioni e servizi offerti all'utente. A tal proposito, nella tabella che segue (Tabella 1.1), vengono esposti, in maniera molto sintetica, gli aspetti positivi e negativi dei sistemi di autobus convenzionali e dei sistemi di metropolitana leggera.

	Autobus	Metropolitana leggera
Pro	Flessibilità	Semplice
	Convenienza	Permanente
	Accessibilità	Immagine positiva
Contro	Complesso	Mancanza di flessibilità
	Mancanza di una sede fissa	Costosa
	Scarsa immagine	Scarsa accessibilità

Tabella 1.1- Confronto tra sistemi di autobus e metropolitana leggera

Da un confronto tra i due si comprende immediatamente che l'autobus offre una maggiore flessibilità del percorso e costi convenienti, ma allo stesso tempo tende ad avere itinerari complessi ed una scarsa immagine pubblica che allontana gli utenti; dall'altra parte i sistemi di metropolitana leggera, nonostante la loro mancanza di flessibilità, sono permanenti e beneficiano di un'immagine pubblica positiva facilmente intuibile.

Dunque da questo confronto e dalle definizioni precedenti, si può dedurre che i sistemi BRT possono essere meglio definiti come "sistemi di trasporto pubblico che combinano la qualità dei sistemi di metropolitana (LRT) con la flessibilità degli autobus" (Wright, 2004).

Inoltre, come si vedrà più avanti, oltre ad incorporare gli aspetti positivi dei due sistemi appena accennati, il BRT fa in modo che questi attributi siano accessibili ad un gran numero di cittadini, offrendo, allo stesso tempo, un servizio di alta qualità con costi del tutto sostenibili per la città (si pensi infatti che un sistema BRT costa, in generale, dalle 4 alle 20 volte meno di un sistema LRT, e dalle 10 alle 100 volte meno di un sistema metropolitano).

Come è stato più volte sottolineato nel paragrafo, spesso il BRT è paragonato ai sistemi LRT anche se, in molti casi, sarebbe più appropriato un paragone con gli altri sistemi a rotaia, infatti:

- Dove i veicoli BRT (autobus) operano totalmente su corsie protette o strettamente riservate a loro (sul piano stradale, elevate e/o in tunnel), il livello di servizio è molto simile a quello offerto dai sistemi di metropolitana pesante.
- Dove i veicoli BRT operano in combinazione con corsie preferenziali, spartitraffico, corsie per autobus e vie di corsa con fermate lungo la linea, il livello di servizio è simile a quello offerto dai sistemi di metropolitana leggera (LRT).
- Dove gli autobus operano principalmente lungo le strade di città con traffico misto, il livello di servizio è molto simile a quello dei sistemi di autobus a fermate o dei sistemi tramviari.

Come mostrato in figura 1.1, i sistemi BRT sono caratterizzati da sette elementi principali e da diversi attributi fondamentali del sistema come il tempo di viaggio, l'affidabilità e l'identità. Unendo caratteristiche ed attributi si è in grado di ottenere un sistema completo che, relazionato ai comuni sistemi di trasporto pubblico (autobus e tram), può essere in grado di migliorare la comodità dell'utente e le prestazioni del sistema.

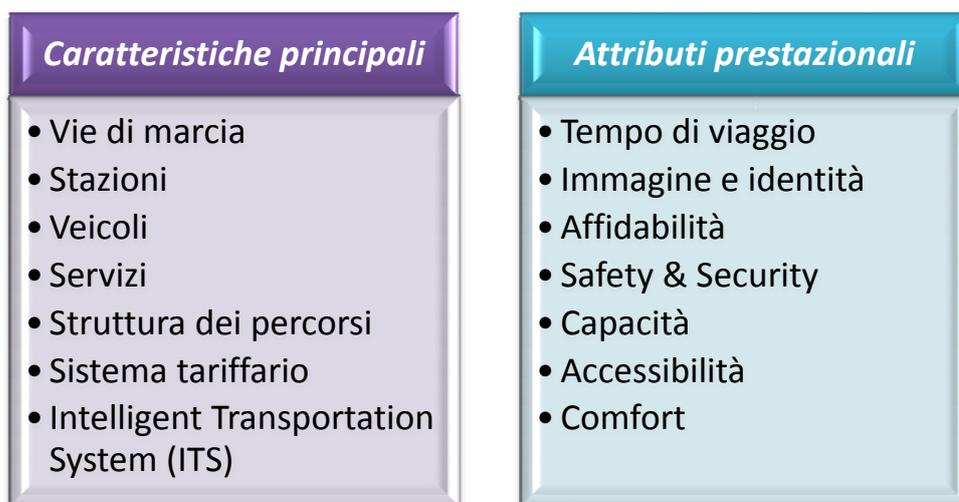


Figura 1.1- Caratteristiche ed attributi del BRT

1.3 Perché incentivare il sistema BRT?

Negli ultimi anni, in tutto il mondo, si stanno esaminando soluzioni di trasporto pubblico migliori legate alla mobilità; questo rinnovato interesse nei trasporti pubblici riflette, da una parte, le diverse preoccupazioni legate all'ambiente e, dall'altra, l'esigenza di sperimentare valide alternative alle autostrade sempre più ingorgate ed alla crescita urbana. Queste preoccupazioni hanno portato a riesaminare le tecnologie di trasporto esistenti, ed a contemplare nuovi modi di trasporto in grado di fornire buone prestazioni e un buon servizio. Il BRT può rappresentare un sistema di trasporto alternativo, estremamente conveniente, con alte qualità e prestazioni.

I progressi tecnologici come l'introduzione di veicoli non inquinanti, di veicoli a pianale ribassato e di sistemi a guida elettronica e meccanica, hanno reso il BRT un'alternativa realmente più attraente sia per gli utenti che per i progettisti; il sistema risulta infatti essere la scelta maggiormente opportuna per molti corridoi in quanto:

- rappresenta una valida soluzione alla crescita urbana;
- è facile da realizzare e non richiede costi d'investimento elevati;
- spesso viene supportato sia politicamente che dalla comunità.

Le motivazioni appena elencate, verranno di seguito approfondite con lo scopo di giustificare perché un sistema di questo tipo potrebbe essere un investimento che molte città (soprattutto quelle per cui si prevede ancora una crescita futura) dovrebbero considerare.

1.3.1 Una soluzione di basso costo alla crescita urbana

La rapida crescita delle aree urbane e l'espansione delle città verso zone che fino a pochi anni fa erano considerate periferiche ha portato, negli ultimi anni, ad una saturazione preventiva delle arterie principali che generalmente attraversano le città: strade che erano state progettate per accogliere la domanda futura dei successivi 20/30 anni, si sono ritrovate a raggiungere il grado di saturazione ben prima del tempo previsto nella progettazione. Diversi studi hanno evidenziato come aumentando la capacità delle strade,

costruendo per esempio altre corsie, non solo porterebbe ad un aumento della congestione ma risolverebbe il problema solo in parte. Infatti, si arriverebbe ad un punto di non ritorno in cui non sarebbe più possibile aumentare la capacità della strada o per la mancanza di terreni su cui espandersi, o per infattibilità tecnica o per problemi politici. In questa condizione di criticità è difficile trovare una soluzione che porti dei miglioramenti al livello di congestione. Una soluzione percorribile potrebbe essere quella di progettare un sistema di trasporto pubblico (come per esempio il BRT) che viaggi su corsie esclusive interamente dedicate a lui; ciò richiederebbe, conseguentemente, l'uso di corsie già esistenti o comunque l'acquisizione di ulteriori diritti di passaggio.

Per evitare quindi una situazione di criticità è fondamentale sviluppare piani a lungo termine che siano in grado sia di individuare i corridoi principali lungo i quali si prevede che la domanda si svilupperà, sia di adottare misure che possano preservare questi corridoi in vista della domanda futura. In questo modo si risolverebbe, in parte, il problema della crescita urbana che inevitabilmente richiederebbe un continuo miglioramento dei collegamenti, del trasporto pubblico e dell'accessibilità con conseguenti costi sulla comunità ed impatto ambientale. Visti i costi e l'impatto che la costruzione, o il miglioramento, di una via principale provoca sulla comunità, l'evoluzione e l'ampliamento di trasporto pubblico di questo tipo, emerge come un mezzo importante per realizzare un sistema avente una capacità idonea in vista della domanda futura.

L'introduzione di un nuovo modo di trasporto richiede lo sviluppo di un nuovo apparato, la costruzione di nuovi equipaggiamenti, nonché il mantenimento delle nuove strutture introdotte; come ben si può concludere tutto ciò porta ad un notevole dispendio di denaro e di tempo. Per esempio, la costruzione di una linea LRT potrebbe risultare lunga e costosa da attuare ma anche poco accessibile agli utenti per via della tariffa e, molto spesso, poco adatta al mercato suburbano a cui si rivolge.

Anche il passaggio da una tecnologia ad un'altra richiede comunque un completo riassetto delle esigenze operative e del personale. Inoltre, se

si considera per esempio il sistema convenzionale di autobus, questo, anche se rinnovato, risulterebbe ancora poco attraente per via della sua immagine negativa, della sua lentezza ed inaffidabilità.

A differenza degli altri sistemi di trasporto il BRT può essere facilmente e velocemente realizzato senza precludere futuri investimenti su altri modi di trasporto. Il BRT, oltre che essere conveniente nel servire un'ampia varietà di ambienti urbani e suburbani, prevede bassi costi operativi e di mantenimento e può essere facilmente integrato in una rete urbana esistente e in ambienti che favoriscono uno sviluppo economico e tutelano i progetti che riguardano la mobilità pedonale. Introducendo questo sistema è quindi possibile utilizzare le risorse disponibili nella loro totalità sfruttandone i punti di forza, piuttosto che ignorare totalmente le strutture esistenti e limitarsi ad introdurre un nuovo sistema di trasporto. Proprio per questo motivo, il BRT consente alle autorità funzionali di "sfruttare" i beni disponibili, o comunque parti di essi, e contemporaneamente di collocare questo sistema tra i più avanzati sistemi in opera.

Inoltre questo sistema è ben progettato per potersi interfacciare con altri sistemi di trasporto: permette, infatti, di estendere la portata offerta dalle linee di metropolitana leggera, offrendo i suoi servizi ad aree aventi una densità troppo bassa per poter costruire un conveniente sistema di trasporto su ferro.

1.3.2 Supporto politico e comunitario

Il BRT raccoglie il supporto sia politico che comunitario in quanto fornisce l'opportunità di sviluppare un sistema di trasporto di massa, di alta qualità, in modo graduale e con conseguenti investimenti di basso costo che permettono comunque altri futuri investimenti rivolti a differenti sistemi di trasporto.

Per gli utenti un'approccio di questo tipo fa in modo che il BRT venga considerato come un logico passo avanti che porta al miglioramento di ciò che già esiste, senza però incidere fortemente sulle risorse finanziarie della comunità; non solo, in questo modo si riescono anche ad indirizzare, verso

questo sistema, le necessità degli utenti dei sistemi rotabili senza però compromettere i bisogni futuri di un sistema più evoluto.

Infine anche lo sviluppo di nuove tecnologie, come l'uso di veicoli non inquinanti, veicoli ribassati che permettono un imbarco rapido e sistemi a guida ottica, elettronica e meccanica, contribuiscono ad avere un impatto sociale che rende questi sistemi una soluzione realizzabile che ottenga un consenso pubblico e politico.

1.4 Perché non sviluppare il sistema BRT?

Quando un'innovazione diventa fattibile, spesso si ha la tendenza ad applicare questa in ogni situazione possibile ed immaginabile; dall'altra parte però è incoraggiante vedere come sia possibile considerare un nuovo modo di trasporto, così da estendere la visione delle tecniche disponibili. Nel fare ciò però bisogna fare molta attenzione perché, un'applicazione inappropriata di un modo di trasporto, può causare effetti negativi sull'operatività e disturbare l'introduzione dello stesso sistema in ambienti realmente più adatti.

Per quanto riguarda il sistema in esame è necessario fare molta attenzione a quelli che sono i benefici, infatti, se da una parte questi rappresentano un valido motivo per applicare il nuovo modo di trasporto, dall'altra potrebbero rappresentare la ragione maggiormente valida per non applicare il sistema. I benefici che quindi richiedono maggior attenzione sono:

- flessibilità
- facilità di esecuzione
- basso costo

La **flessibilità** di una strada rappresenta uno dei motivi chiave per cui ci si è allontanati dai sistemi tramviari, che erano prevalenti in tutto il mondo durante la prima metà del ventesimo secolo. Durante questo periodo, le vie di transito marcavano chiaramente i principali itinerari attraverso i quali la popolazione si spostava, definendo così un asse lungo il quale si sarebbe sviluppato il centro delle città; era quindi abbastanza chiaro come gli utenti

all'interno dell'area, sviluppassero una risposta orientando gli edifici lungo gli itinerari principali, in modo tale da massimizzare la loro esposizione. In contrasto a ciò, con l'introduzione degli autobus a diesel, la strada ha acquistato una maggiore flessibilità. Questa flessibilità ha reso più facile il trasferimento delle linee di autobus da zone in cui la congestione era divenuta insostenibile, ad aree più esterne al centro. Inoltre l'introduzione di veicoli a diesel unita alla flessibilità, ha permesso ai progettisti di adeguare l'allineamento della via seguendo l'andamento evolutivo della città. Tuttavia questa flessibilità influisce in qualche modo sulla percezione che gli utenti hanno del servizio; inoltre, quando un' itinerario è costituito da un' infrastruttura permanente lungo una via principale, questa diventa parte integrante della struttura urbana, quindi sarebbe preferibile riprogettarla piuttosto che, come conseguenza del concetto di flessibilità, limitarsi solamente a spostarla.

La **facilità di esecuzione** dei sistemi di autobus, in genere, rende questi preferibili ai sistemi di metropolitana leggera soprattutto in termini di costi. Nel caso del BRT c'è però un elemento, che è presente anche nei sistemi di metropolitana leggera, che rende complicata la realizzazione del sistema stesso: il diritto di passaggio. I più rigorosi sistemi BRT prevedono quindi di riservare il diritto di precedenza prima che la congestione diventi un problema irrecuperabile e che, l'estensione della strada al fine di aumentarne la capacità, diventi infattibile. Il problema è che spesso le comunità non comprendono la necessità di dover preservare una corsia totalmente dedicata al sistema, o parte di terreno su cui in futuro far transitare i veicoli BRT, soprattutto se la congestione della via non ha raggiunto livelli intollerabili. Di conseguenza l'acquisto dei diritti di passaggio per un progetto BRT è più difficile da giustificare al pubblico, che spesso non è d'accordo con un eventuale esborso monetario troppo elevato. Inoltre, utilizzare metodi che prevedono l'espropriazione di terreni può portare sia a conseguenze legali che ad un'immagine negativa del sistema che si sta andando a realizzare. Per via della loro variabilità di prezzo, i sistemi su "ferro" tendono ad avere un maggiore supporto politico, sostegno che è notevolmente vantaggioso

laddove l'approvazione della comunità risulta essere minore. Questa mancanza di sostegno collettivo, che molti sistemi su gomma hanno, può far diventare la preoccupazione più insensata, un vero e proprio problema.

Come è stato precedentemente detto, il sistema BRT viene considerato spesso come un'alternativa realizzabile per i suo **basso costo** infatti, a seconda del progetto, il costo di realizzazione può essere fino al 10% più basso del costo per la realizzazione di un sistema LRT. Poiché non è necessario trasferire i sottoservizi ne tantomeno provvedere ad una fonte di alimentazione esterna, i sistemi BRT possono essere costruiti con un costo minore rispetto ai sistemi LRT, ottenendo comunque prestazioni molto simili. Spesso però questi bassi costi di realizzazione hanno ripercussioni sul utilizzo del sistema: la comunità, infatti, non accetta che un sistema di questo tipo preveda una tariffa giudicata alta dagli utenti stessi che utilizzeranno il mezzo. In virtù di ciò, è quindi assolutamente necessario comunicare in modo chiaro le necessità che l'introduzione del BRT comporta. In alcune comunità, in cui già era presente un sistema su ferro, il BRT è stato proposto come un'alternativa all'espansione dei sistemi esistenti. La reazione della popolazione a questa proposta è stata fortemente ostile in quanto, i membri della comunità, percepivano il nuovo sistema come un'alternativa inferiore agli altri modi di trasporto. In molti casi però il sistema è stato considerato come un'alternativa realizzabile per mancanza di fondi, ed è quindi stato promosso come l'unica alternativa con prezzo accessibile, con conseguente elasticità da parte della popolazione nell'accettare questo modo di trasporto.

1.5 Conclusioni

In questo primo capitolo introduttivo si è cercato di dare una definizione del sistema Bus Rapid Transit e di fornire una panoramica, molto veloce, su quelli che sono gli elementi che maggiormente lo differenziano dagli altri sistemi di trasporto, individuando poi i motivi per cui si dovrebbe o meno applicare un sistema di questo tipo. Dalle definizioni date si è notato come questo sistema, grazie ai suoi meriti, sia in grado di superare le carenze dei sistemi comunemente conosciuti, fornendo un'opzione rapida, di elevata

qualità e sicura. I meriti che principalmente differenziano questo sistema dagli altri sono:

- *Flessibilità* – i sistemi BRT possono essere progettati con notevole flessibilità, e questa flessibilità porta ad una vasta gamma di sistemi BRT integrati.
- *Accessibilità* – questi sistemi sono meno costosi da realizzare ed hanno costi operativi più bassi rispetto ai sistemi su ferro, proprio per questo, permettono una maggiore accessibilità in quanto la tariffa del servizio risulta più bassa.
- *Capacità di essere realizzati ed espandersi rapidamente* – la capacità di un rapido sviluppo può avere un impatto immediato sui problemi che caratterizzano i sistemi di trasporto pubblico esistenti. Inoltre questi sistemi sono in grado di risolvere specifici vincoli urbani più rapidamente rispetto ai sistemi tranviari, per esempio, i quali necessiterebbero invece di essere sviluppati interamente per superare il vincolo.
- *Elevata capacità* – i sistemi BRT forniscono una capacità sufficiente a soddisfare la domanda in molti corridoi, anche delle più grandi metropoli. L'elevata capacità di questi sistemi può eguagliare o superare i volumi di passeggeri di alcuni dei più trafficati sistemi di metropolitana leggera.

Noto ciò si può quindi affermare che il BRT potrebbe colmare il divario tra il convenzionale trasporto su gomma ed i sistemi su rotaia.

Nei capitoli che seguono, verrà svolta un'analisi più approfondita delle caratteristiche e degli attributi che distinguono il sistema e che lo rendono maggiormente competitivo rispetto agli altri sistemi di trasporto; inoltre si vedrà come il BRT rappresenti una valida alternativa al trasporto privato, soprattutto nelle città che cercano soluzioni di trasporto pubblico veloci e convenienti.

CAPITOLO 2

CARATTERISTICHE PRINCIPALI DEL BRT

2.1 Introduzione

Come è stato descritto nel capitolo precedente, il BRT è un sistema flessibile che integra permanentemente elementi tipici del trasporto rapido con un'immagine di qualità ed una ben distinta identità.

Dopo una prima descrizione non troppo dettagliata del sistema, in questa sezione verranno ampiamente descritte quelle che sono le caratteristiche fondamentali del BRT e tutte le principali opzioni che si potranno avere nella progettazione. Nelle determinazioni di quelli che sono gli elementi caratteristici e le linee guida principali, si sono considerati diversi manuali trovati in letteratura, come ad esempio:

- “*TCRP Report 90: Bus Rapid Transit (Volume 2:Implementation Guidelines)*” (TRB 2003)
- “*Transit Capacity and Quality of Service Manual*” (TRB 2004)
- “*BRT Vehicle Characteristics*” (FTA 2001)
- “*ITS Enhanced Bus Rapid Transit*” (FTA 2003)
- “*Standards for Bus Rapid Transit*” (APTA 2008)

Nell'immagine che segue (Figura 2.1) vengono brevemente esposte quali sono le caratteristiche definite come principali secondo la classificazione di Levinson et al. (2003), e viene fornita una brevissima descrizione introduttiva, per inquadrare cosa s'intende per quella determinata caratteristica.

Lo scopo del capitolo non è solo quello di descrivere ogni singolo elemento, ma è anche quello di fornire alcune informazioni utili, per esempio ad un eventuale progettazione, sulle opzioni disponibili per ciascun elemento. Ovviamente per informazioni ancor più dettagliate si rimanda ai manuali sopracitati. La descrizione di questi elementi sarà molto utile per cercare di capire successivamente come le caratteristiche fisiche possano influenzare gli attributi del sistema, ma, soprattutto, serviranno per classificare i diversi tipi di BRT che si possono trovare applicati in tutto il mondo.



Figura 2.1 – Componenti principali del Bus Rapid Transit

2.2 Vie di marcia

Con l'espressione "vie di marcia" si vuole definire dove fisicamente viaggiano i veicoli BRT; questa relazione è del tutto analoga a quella che intercorre tra veicoli ferroviari e rotaie: il concetto di base è infatti il medesimo. Come le vie di marcia vengono integrate all'interno di un sistema BRT è il maggiore fattore che influenza il funzionamento dello stesso, infatti queste, rappresentano la caratteristica più critica nella determinazione della velocità e dell'affidabilità del servizio.

Le vie di marcia rappresentano l'elemento chiave dei sistemi BRT intorno alle quali ruotano sia la pianificazione che la progettazione degli altri elementi caratteristici (Figura 2.2).

Queste vie devono permettere ai veicoli BRT movimenti veloci e sicuri, cercando di interferire il meno possibile con il traffico stradale, e devono fornire un chiaro segno di presenza e permanenza. Lo scopo principale delle vie di marcia è quello di conferire al sistema un' ambiente operativo dove gli autobus non sono condizionati dai ritardi causati da altri veicoli o da altri sistemi, e di offrire agli utenti un migliore e più affidabile servizio. Per tutti questi motivi in genere i costi inerenti a questa caratteristica, rappresentano, tra i costi totali, la voce più significativa dell'intero sistema. Infine le vie di marcia progettate devono avere un impatto significativo sia sull'immagine che sull'identità del sistema.

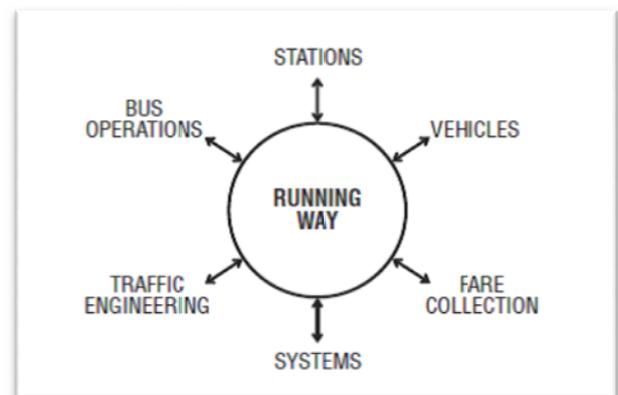


Figura 2.2 – Importanza delle vie di marcia nella progettazione

Le diverse opzioni relative alle vie di marcia del BRT, vengono ordinate secondo tre principali gruppi di attributi riguardanti:

- il grado di separazione
- la marcatura della via di marcia
- tipi di guida.

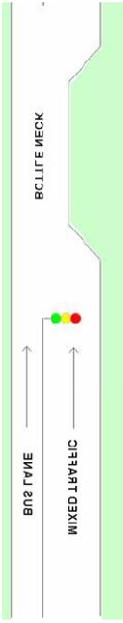
2.2.1 Vie di marcia e grado di separazione

Il grado di separazione delle vie di marcia dal resto della circolazione è il parametro più importante in assoluto del sistema. I veicoli BRT possono operare lungo percorsi interamente dedicati a loro, divisi o meno dal resto del traffico veicolare, su una qualsiasi strada o superstrada. Crescenti livelli di separazione attraverso corsie esclusive o vie di transito preferenziali con distinti diritti di precedenza, permettono una notevole diminuzione del tempo di viaggio ed una maggiore affidabilità del sistema. Maggiore è il grado di separazione, maggiori saranno i costi del sistema, il livello di sicurezza e la velocità operativa ottenibile.

Sono possibili quattro diverse opzioni di vie di marcia, a seconda del grado di separazione che si vuole ottenere:

- corsie a flusso misto
- corsie riservate
- vie di transito a raso
- vie di transito totalmente separate

Ciascuna di queste opzioni presenta poi, a sua volta, ulteriori alternative. Vista la complessa struttura, per cercare di cogliere i punti fondamentali delle diverse alternative si rimanda all'interpretazione della tabella 2.1 in cui vengono brevemente esposte le varie opzioni in ordine crescente di costo.

<p style="text-align: center;">CORSIE A FLUSSO MISTO</p>	<p>Corsie a flusso misto non migliorate</p> <p>Sistema più semplice di BRT in cui i veicoli operano in un traffico misto (automobili, camion e altri autobus) e che, conseguentemente, presentano ritardi dovuti al conflitto con gli altri veicoli presenti nella strada.</p>		<p style="text-align: center;">COST (\$ Million)</p> <p style="text-align: center;">0 15 30</p>
	<p>Corsie a flusso misto con "salto di fila"</p> <p>Il sistema è analogo a quello sopra descritto in cui però viene introdotto un "salto di fila". Con questo termine si indica una breve sezione di strada in corrispondenza di particolari "colli di bottiglia" (es. intersezioni), progettata ad uso esclusivo dei veicoli BRT. In questo modo si riesce a passare il tratto congestionato. Nella maggior parte delle applicazioni questi sistemi sono utilizzati in combinazione a speciali segnali di traffico prioritari, atti ad evitare un grado di congestione superiore dovuto alle manovre dei veicoli BRT.</p>	 	

<p>CORSIE RISERVATE</p>	<p>Sono corsie totalmente riservate ai veicoli BRT che si trovano però su strade a traffico misto, in cui però è fortemente limitato l'accesso agli altri veicoli; in questo modo si riduce fortemente il tempo di viaggio ed aumenta l'affidabilità. Le corsie possono avere diverse configurazioni, possono trovarsi, per esempio, in corrispondenza della mezzeria della strada, del lato del marciapiede (come nell'immagine) o in direzione opposta a quella del flusso.</p>		<p>COST (\$ Million)</p> 
<p>VIE DI TRANSITO A RASO</p>	<p>Corsie standard</p> <p>Alcuni corridoi urbani hanno a disposizione nuovi, o già esistenti, diritti di passaggio per la costruzione di infrastrutture ad uso esclusivo dei veicoli BRT. Ciò ovviamente porta ad un netto miglioramento del servizio offerto dal sistema, in quanto permette una circolazione dei veicoli BRT su corsie preferenziali, separate dal flusso. Questo tipo di corsie esclusive, tuttavia, prevedono un'interazione con gli altri modi di trasporto in prossimità degli incroci.</p>		<p>COST (\$ Million)</p> 

<p>VIE DI TRANSITO A RASO</p>	<p>Corsie bidirezionali</p> <p>In alcuni casi la strada con corsie esclusive è sufficientemente ampia solo per ospitare un'unica corsia bidirezionale. Con frequenze basse si è comunque in grado di garantire un ottimo servizio, mentre invece con frequenze più elevate sono richiesti particolari sistemi di segnalazione e sofisticati programmi di coordinamento, per garantire un funzionamento sicuro e senza ostacoli.</p>		<p>COST (\$ Million)</p> 
<p>VIE DI TRANSITO TOTALMENTE SEPARATE</p>	<p>E' l'opzione che presenta il grado di separazione maggiore, infatti non interferisce in nessun modo con altri modi di trasporto. Generalmente i veicoli circolano su sovrastrutture o strade interamente dedicate a loro, o comunque separate dal resto del flusso veicolare attraverso spartitraffico. In prossimità degli incroci vengono costruiti sovrappassi o sottopassi, con la maggior parte delle precedenza a raso per ridurre i costi.</p>		<p>COST (\$ Million)</p> 

Tabella 2.1 – Vie di marcia, grado di separazione e costi

2.2.2 Marcatura del percorso di marcia

Così come i binari nel trasporto ferroviario indicano ai passeggeri il percorso seguito dal treno, anche nel caso del BRT è necessario marcare la pavimentazione con trattamenti o segnaletica orizzontale che permetta di evidenziare il percorso che il veicolo dovrà seguire. Eventuali corsie sulla strada, dedicate al sistema, possono essere segnalate attraverso diverse tecniche come l'utilizzo di segnaletica orizzontale, di delineatori di corsia, di pavimentazione stradale di diverse caratteristiche o colore, o mediante percorsi nettamente separati.

Segnalare il percorso seguito dal mezzo è importante sia per ottenere tempi di viaggio minori ed avere una maggiore sicurezza del servizio, sia perché in questo modo si dà visibilità al sistema. Fornire questa visibilità è molto importante soprattutto se il sistema utilizza corsie esclusive o semi-esclusive.

Vengono di seguito elencate le tre principali tecniche che si possono utilizzare per marcare il percorso:

- *Segnaletica orizzontale e verticale* – La segnaletica verticale ed orizzontale spesso sono utilizzate insieme. Quest'ultima rappresenta il modo più semplice per contrassegnare una corsia riservata al transito dei veicoli BRT (Figura 2.3.a).
- *Delineatori di corsia sollevati* – Delineatori come cordoli sollevati, dissuasori o protuberanze sulla pavimentazione possono evidenziare la suddivisione tra corsie dedicate ai veicoli BRT e altre corsie multimodali (Figura 2.3.b).
- *Tessitura e colore alternativo della pavimentazione* – Realizzare una pavimentazione di colore diverso, o con materiali diversi, può sottolineare il concetto che una corsia particolare sia riservata ad un uso alternativo; si riducono così eventuali interazioni con altri veicoli (Figura 2.3.c).

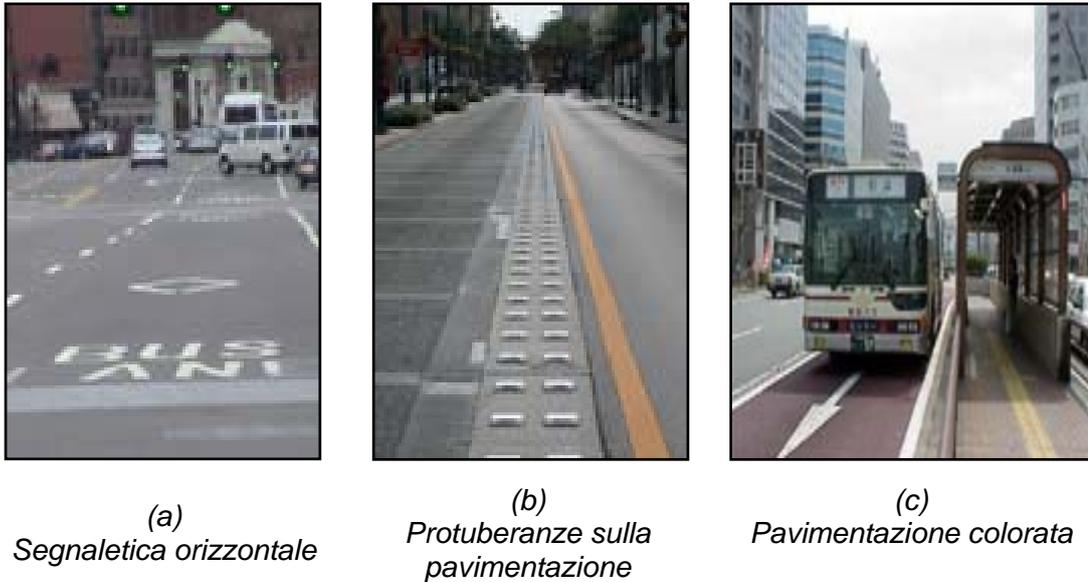


Figura 2.3 – Marcatura del percorso di marcia

2.2.3 Vie di marcia e tipi di guida

Le vie di marcia possono essere progettate per ospitare veicoli che hanno una guida laterale automatica, cioè una funzione che controlla il movimento laterale dei veicoli lungo un percorso un po' come accade con i binari nel caso ferroviario. Molti veicoli BRT, come la maggior parte degli autobus, operano però senza guida laterale basandosi pertanto solo sulle capacità dell'autista per sterzare il veicolo.

Molti sistemi BRT incorporano una guida laterale che possa soddisfare diversi obiettivi come, per esempio, la possibilità di un avvicinamento totale al marciapiede in prossimità delle fermate, in modo da facilitare la salita e la discesa dal veicolo.

Si distinguono quattro tipi principali di sistemi di guida ed ognuno di questi richiede diversi investimenti sui veicoli e sulle vie di marcia. Questi diversi sistemi possono essere implementati con molta flessibilità sia in tutte le vie di marcia che in sezioni molto strette, in curve strette o nelle zone di approccio/allontanamento alle stazioni.

Si distinguono:

- *Sistemi a guida ottica* – Questi sistemi richiedono la presenza, sui veicoli, di appositi sensori ottici in grado di leggere la segnaletica

orizzontale, che delinea il percorso che il veicolo dovrà seguire. Requisito fondamentale per le vie di marcia sarà quindi quello di avere doppie strisce al centro di ogni corsia. Ne consegue che per questo tipo di guida ogni veicolo dovrà essere equipaggiato con complessi sistemi elettronici e meccanici (Figura 2.4.a).

- *Sistemi a guida elettromagnetica* – Questo tipo di guida richiede il posizionamento di marcatori elettrici o magnetici sulla pavimentazione, come per esempio, fili ad induzione elettromagnetica o magneti permanenti. Appositi sensori presenti sui veicoli sono in grado di leggere questi marcatori e di indirizzare il veicolo lungo la direzione prestabilita (Figura 2.4.b).
- *Sistemi a guida meccanica* – Sono i sistemi che richiedono maggiori investimenti sull'infrastruttura ma minori costi di equipaggiamento per i veicoli. Quest'ultimi vengono guidati da un collegamento fisico tra la via di marcia e lo sterzo del veicolo, che può essere rappresentato o da un tracciato rialzato, avente la forma dell'impronta del pneumatico, o da piccole ruote guida orizzontali che seguono il percorso imposto dai cordoli verticali (Figura 2.4.c).
- *Sistemi a guida vincolata su gomma* – Questi sistemi richiedono la costruzione di una pavimentazione in cemento armato dotata di una rotaia centrale che guida i veicoli. Quest'ultimi sono quindi dotati sia di pneumatici che di rotaie metalliche, spesso disposte a V, e risultano pertanto privi di sterzo. Le vetture vengono alimentate elettricamente per mezzo di un pantografo di tipo tramviario (Figura 2.4.d).

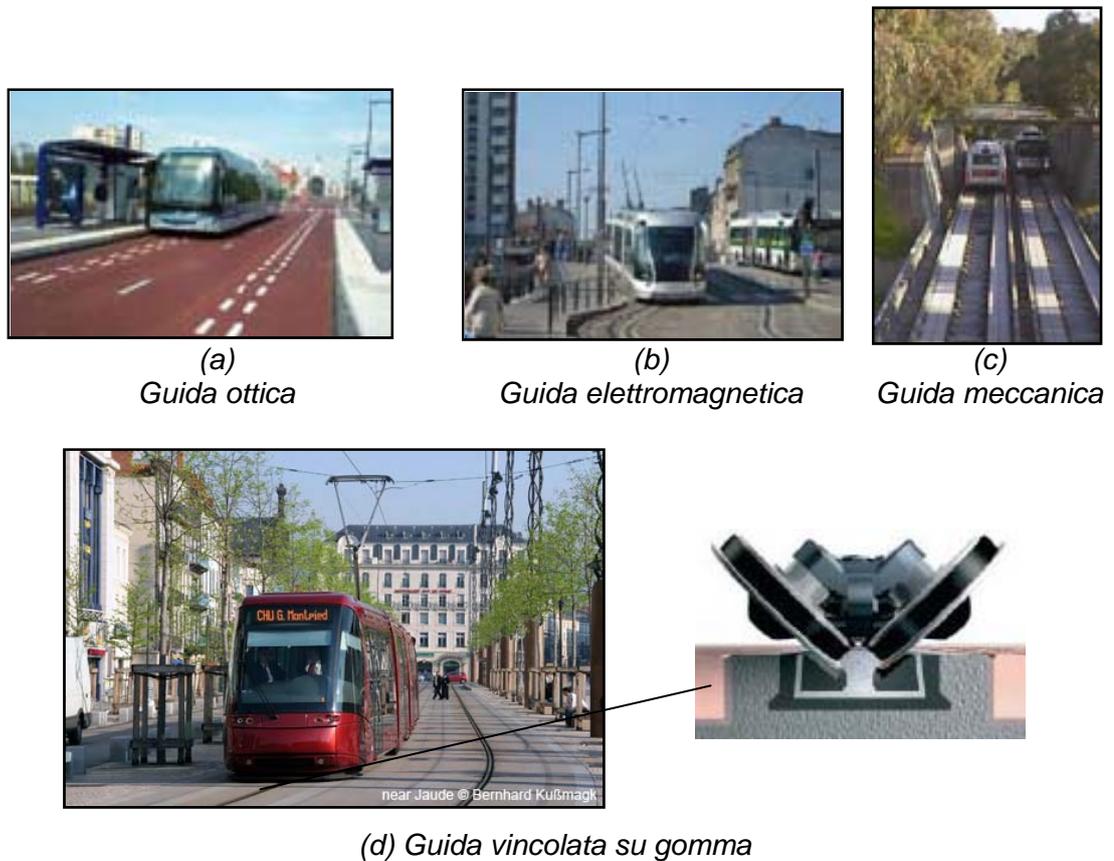


Figura 2.4 – Tipi di guida

2.3 Stazioni

Le stazioni rappresentano un collegamento fondamentale tra il sistema BRT, i passeggeri e gli altri sistemi di trasporto pubblico offerti. Inoltre esse rappresentano chiaramente l'identità di un sistema BRT sia attraverso le caratteristiche di sicurezza che attraverso gli attributi fisici. Le stazioni, dunque, possono svolgere un ruolo significativo nel distinguere il servizio offerto dal BRT rispetto ai servizi offerti dagli altri sistemi di trasporto pubblico, raffigurando il BRT come un servizio di qualità che contemporaneamente integra e migliora l'ambiente circostante.

Poiché generalmente il BRT serve corridoi caratterizzati da un'elevata domanda ed effettua poche fermate, il numero di utenti che possono trovarsi alle fermate può essere davvero significativo. Proprio per questo le stazioni

devono essere molto più confortevoli ed attraenti rispetto alle fermate dell'autobus che tutti conosciamo, e che in molti casi sono individuate solamente da un cartello su un palo. Le stazioni BRT devono essere molto più simili alle stazioni metropolitane e devono essere in grado di fornire informazioni ai passeggeri, comfort ed un'immagine chiara del sistema.

Le caratteristiche che devono essere studiate nella progettazione di una stazione BRT riguardano:

- la localizzazione ed tipo di stazione,
- la configurazione della piattaforma e del suo bordo,
- la capacità di sorpasso,
- i servizi rivolti ai passeggeri,
- l'accessibilità alla stazione.

2.3.1 Localizzazione e tipi di stazione

Le stazioni possono essere localizzate "su strada" (stazioni on-line), in corrispondenza di superstrade o di vie riservate ai bus, o "fuori strada" (stazioni off-line) in corrispondenza di centri di transito che operano su più strade.

L'architettura, la scala e la portata della pensilina in prossimità delle fermate, definiscono invece il tipo di stazione. Vi sono diverse categorie di stazioni che vanno dalle semplici pensiline base a sistemi più grandi e molto più complessi, si distinguono infatti (Figura 2.5):

- pensiline semplici (a),
- pensiline maggiori (b),
- stazioni recintate (c),
- edifici (d),
- centri di transito intermodali (e).

Il tipo di stazione scelto è molto importante in quanto trasmette il marchio d'identità del sistema e gioca un ruolo fondamentale nella distinzione tra sistemi BRT e altri sistemi di trasporto pubblico.

La distanza tra due successive stazioni varia fortemente a seconda dell'ambito in cui ci si trova: si va da distanze di circa 40 metri, in aree urbane, fino a 1,5-2 km in aree extraurbane.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

Figura 2.5 – Tipologie di stazioni base

2.3.2 Configurazione della piattaforma e del suo bordo

La lunghezza della piattaforma di sosta ed il numero degli spazi di ancoraggio (ovvero il numero di postazioni disponibili) sono elementi fondamentali nella progettazione delle stazioni. La lunghezza influisce sia sul numero di veicoli che contemporaneamente possono sostare nella stazione,

sia sulla disposizione che i passeggeri devono assumere lungo la piattaforma, durante l'attesa del servizio. Si possono avere semplici piattaforme, lunghe circa quanto un veicolo BRT, con un singolo ancoraggio



Figura 2.6 – Piattaforma lunga

o piattaforme più lunghe di 30 metri in grado di ospitare più veicoli articolati (Figura 2.6).

La progettazione del bordo della piattaforma incide fortemente sulla capacità dei passeggeri di salire e di scendere dai veicoli, e colpisce soprattutto gli utenti a mobilità ridotta e coloro che devono trasportare carrozzine, passeggini e bagagli.

Generalmente i passeggeri salgono sull'autobus facendo un passo dal bordo più basso fino al primo gradino presente sul veicolo, per poi successivamente arrampicarsi sugli altri gradini ove presenti. La diffusione sempre più ampia di veicoli a pianale ribassato ha notevolmente semplificato l'imbarco dei passeggeri, in quanto piattaforma e pavimento del veicolo si trovano alla stessa altezza (Figura 2.7).

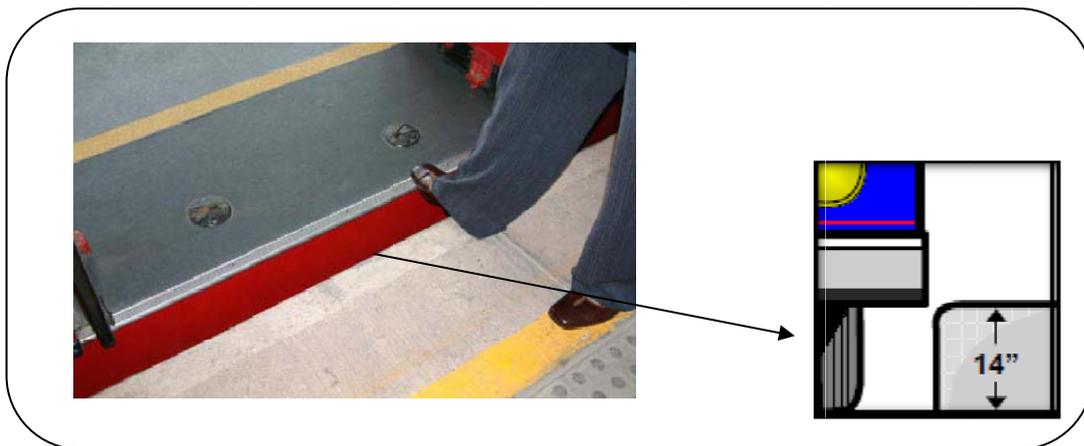


Figura 2.7 – Bordo della piattaforma a livello

In questo modo non solo l'imbarco dei passeggeri risulta più sicuro, ma anche i tempi di permanenza alle fermate si riducono fortemente.

L'assenza di salti e di gradini in fase di salita e di discesa può essere creata aumentando l'altezza della piattaforma e riducendo la distanza tra autobus fermo e bordo del marciapiede. Questa opzione è particolarmente efficace se combinata al pagamento del biglietto all'imbarco, in tutte le porte.

2.3.3 Capacità di sorpasso, servizi rivolti ai passeggeri ed accessibilità

La capacità dei veicoli BRT di sorpassarsi tra loro può aumentare la velocità e ridurre il ritardo. Tale capacità è molto importante soprattutto quando i piani operativi prevedono un servizio espresso o locale. Quando i veicoli BRT operano invece su strade ordinarie, il sorpasso generalmente è consentito sulle corsie adiacenti adibite alla circolazione mista. Infine in stazioni "fuori strada" le aree di sorpasso devono essere ben progettate nel sistema e poste generalmente in corrispondenza delle stazioni (Figura 2.8), proprio per consentire ai veicoli che non effettuano la fermata, di proseguire nel loro percorso senza subire ritardi.



Figura 2.8 – Corsia di sorpasso in prossimità di una stazione

Nella progettazione delle stazioni BRT è necessario considerare anche alcuni servizi rivolti agli utenti, come per esempio, la presenza di sistemi che possano dare informazioni sui percorsi agli utenti oppure sistemi che possano aumentare il comfort e la sicurezza degli stessi. Queste caratteristiche possono anche contribuire a dare al sistema un'identità e un'immagine migliore anche a coloro che non utilizzano il sistema.

Infine nella progettazione è bene considerare l'accessibilità alla stazione come una delle caratteristiche più importanti. Gli utenti possono accedere alle stazioni a piedi, in bicicletta, in macchina o tramite altri servizi di trasporto. Particolare attenzione deve essere fatta nelle stazioni "fuori strada" ai pedoni e ai veicoli, infatti in questi casi, è necessario prevedere aree sicure destinate al parcheggio dei veicoli e delle biciclette (Figura 2.9). La presenza di parcheggi in corrispondenza delle stazioni BRT può ridurre i tempi di

viaggio degli utenti che arrivano da zone esterne all'area della stazione in automobile o in bicicletta, e può estendere la distanza del sistema. Inoltre, collegamenti pedonali come sottopassi o passerelle sono importanti per stabilire una connessione tra stazione BRT e attività adiacenti.



Figura 2.9 – Parcheggio biciclette in una stazione BRT

2.4 Veicoli

I veicoli BRT influenzano direttamente la velocità, la capacità, l'ambiente ed il comfort di viaggio, sia reale che percepito, e rappresentano la caratteristica del sistema nel quale i passeggeri passano la maggior parte del tempo. Poiché questa è una caratteristica che è visibile sia agli utenti del sistema che ai non utenti, ne consegue che, gran parte dell'opinione pubblica sul BRT, deriva direttamente dall'esperienza visiva e dalla prova dei veicoli.

I veicoli sono quindi considerati come la caratteristica che la popolazione associa direttamente all'identità del sistema, e possono pertanto giocare un ruolo importantissimo nell'affermarsi come un marchio commerciale di successo.

Le diverse opzioni sui veicoli BRT riguardano:

- la configurazione,
- il tipo di propulsione e di carburante utilizzato,
- la valorizzazione estetica (design),
- una migliore capacità di movimentazione all'interno del veicolo.

2.4.1 Configurazione e tipi di veicoli

La configurazione fisica dei veicoli BRT combina la dimensione e l'altezza del piano calpestabile del veicolo con il tipo di carrozzeria. I veicoli utilizzati sono simili ai generici autobus che tutti conosciamo, e si distinguono tra loro a seconda dell'altezza del pianale rispetto alla quota della strada. In genere i veicoli possono essere costituiti da un pianale alto dove per accedervi è necessario salire un gradino, oppure da un pianale ribassato o semi-ribassato, che si trova circa alla stessa altezza del marciapiede.

I veicoli BRT più diffusi hanno in genere un pianale ribassato e possono essere o autobus, lunghi dai 12 ai 13,5 metri a due assi, oppure autosnodati a tre assi lunghi fino a 18 metri (Figura 2.10). Strettamente legata al tipo di veicolo che il sistema utilizza è la lunghezza delle piattaforme delle stazioni: infatti a seconda dei veicoli BRT che può accogliere, questa sarà più lunga o più corta. Vista la varietà di veicoli che si possono utilizzare, la scelta di un tipo di veicolo piuttosto che di un altro dipenderà soprattutto dal servizio che si vorrà offrire e dal mercato servito.



Figura 2.10 – Esempio di autosnodato a 3 assi

Strettamente connessa alla configurazione risulta essere il tipo di alimentazione che il veicolo utilizza. Il tipo di combustibile utilizzato determina l'accelerazione, la velocità massima, il consumo e le emissioni che caratterizzano i diversi veicoli. Tra le nuove tecnologie, i veicoli ibridi ed

elettrici possono fortemente influenzare il rumore percepito all'interno e all'esterno dell'autobus nonché i costi operativi e di manutenzione. Una regolare accelerazione e movimentazioni silenziose, associate ad una trasmissione elettrica, possono contribuire a fornire una migliore percezione del sistema, che può essere considerato come un sistema di trasporto aggiornato che potenzialmente può attrarre nuovi utenti e conducenti.

Carburanti alternativi, inclusi gas naturali e miscele di gas e idrogeno, se da una parte possono favorire le emissioni, dall'altra richiedono costi elevati associati al tipo di alimentazione e al mantenimento dell'infrastruttura. Ovviamente si avrà che minore sarà l'impatto ambientale da parte del veicolo, maggiori saranno i costi operativi necessari al veicolo e all'infrastruttura.

2.4.2 Valorizzazione estetica e movimentazione dei passeggeri

La valorizzazione estetica, ovvero il design dei veicoli, riguarda sia la verniciatura della carrozzeria che particolari lavorazioni interne ed esterne al veicolo; ovviamente tutte le diverse opzioni influenzano direttamente l'apparenza e la configurazione del corpo del veicolo e quindi l'identità del sistema. Tutte le lavorazioni riguardanti l'estetica di questi autobus aiutano il sistema BRT a classificarsi come un alternativa di qualità stimolando, contemporaneamente, la curiosità dei non utenti che potrebbero quindi diventare potenziali frequentatori.

La case produttrici, negli ultimi anni, hanno risposto alla crescente domanda di mercato producendo veicoli sempre più di design, che presentano, per esempio, lavorazioni al parabrezza ed ai finestrini visivamente piacevoli, oltre che design esteriori che suggeriscono una qualità simile a quella del trasporto ferroviario (Figura 2.11). Caratteristiche interne del veicolo come utilizzo di materiali di alta qualità, illuminazione interna migliore ed efficiente, controllo della temperatura e riduzione del rumore hanno contribuito a migliorare la percezione degli utenti del comfort e della qualità del servizio offerto.



Figura 2.11 – Esempio di veicolo BRT

Un aspetto che non deve essere assolutamente sottovalutato riguarda la circolazione dei passeggeri all'interno dei veicoli: molti miglioramenti possono essere aggiunti nei veicoli per facilitare la salita e la discesa dal mezzo ma anche la movimentazione all'interno dello stesso.

Per migliorare le operazioni di salita e discesa dal mezzo si possono utilizzare autobus dotati di pianale semi-ribassato o ribassato oppure si può aumentare la larghezza ed il numero di porte inserendo, per esempio, una porta laterale anche in corrispondenza della mezzeria del veicolo. I veicoli a pianale ribassato o semi-ribassato hanno il pianale che si trova, generalmente, ad un'altezza di 25-35 cm rispetto alla quota stradale. Per poter utilizzare anche i veicoli a pianale alto e far in modo che essi risultino accessibili a tutta l'utenza, poiché la distanza tra il piano e la quota della strada può variare dai 60 ai 90 cm, questi veicoli svengono spesso equipaggiati con sistemi tipo porte a ponte (Figura 2.12) e flap-door. Ovviamente l'utilizzo dei sistemi a pianale alto così equipaggiati comporta una molteplicità di svantaggi come un aumento dei costi e, soprattutto, un aumento dei tempi di permanenza alle fermate.



Figura 2.12 – Esempio di veicolo a pianale alto con sistema a ponte

La configurazione interna dei veicoli, oltre che influire sulla capacità e sul comfort dei passeggeri, influenza notevolmente la movimentazione all'interno dell'abitacolo. Il layout interno dei veicoli BRT è costituito da zone equipaggiate con sedili e

da zone in cui si pensa che gli utenti sosterranno in piedi. Come evidenzia l'immagine 2.13 una disposizione diversa dei sedili, che includa ampi corridoi con posizioni apposite adibite alla sosta dei passeggeri a ridotta mobilità o alla sosta di passeggeri, può notevolmente migliorare la circolazione all'interno del veicolo. Generalmente, nei sistemi in cui si prevede una rapida rotazione degli utenti, si opta per soluzioni atte ad ottimizzare la circolazione interna degli utenti piuttosto che ad aumentare la capacità dei sedili; la capacità dei posti a sedere diventa invece prioritaria nei sistemi in cui si prevede una domanda di utenti media con tempi di percorrenza superiori ai 20/25 minuti.

Tutte le opzioni riguardanti la movimentazione dei passeggeri influenzano notevolmente attributi del sistema come la capacità, l'identità, il comfort e l'accettazione da parte sia dei passeggeri che degli autisti.



(a)

(b)

Figura 2.13 – Disposizione interna dei veicoli non ottimizzata (a) ed ottimizzata (b)

2.5 Sistema tariffario

Il tipo di sistema tariffario adottato influenza direttamente l'utenza ed i ricavi ed assume un ruolo di primaria importanza nel servizio offerto ai clienti e nelle operazioni di pianificazione e di marketing. Uno degli scopi principali del sistema tariffario del BRT riguarda l'accelerazione delle operazioni di imbarco, che sono a loro volta strettamente connesse alla riduzione dei tempi di sosta soprattutto nei sistemi estremamente movimentati.

I fattori che è necessario considerare nella progettazione di un sistema tariffario riguardano la struttura della tariffa (ovvero se applicare una tariffa uniforme o dinamica a seconda della distanza percorsa), il tipo di pagamento (ovvero se convalidare il titolo di viaggio a bordo o prima dell'imbarco) ed infine la tecnologia di pagamento (ovvero i mezzi di cui ci si può servire per pagare la tariffa). In questa sezione verranno velocemente analizzati i processi, le strutture e le tecnologie che dovrebbero essere considerate nel sistema tariffario del BRT.

2.5.1 Processo, struttura e tecnologia del sistema tariffario

Con il termine *processo del sistema tariffario* si vuole indicare l'insieme delle operazioni riguardanti il pagamento fisico della tariffa, la convalida e la verifica di avvenuta convalida. Questo processo può influenzare non solo

alcuni attributi del sistema come il tempo di sosta e l'affidabilità, ma anche alcune caratteristiche come l'evasione della tariffa e le conseguenti procedure da applicare, i costi operativi relativi alla manutenzione ed alla manodopera, ed i costi capitali inerenti al personale e alle opzioni di pagamento. La convalida e la verifica del titolo di viaggio possono avvenire a bordo del mezzo oppure prima dell'imbarco. Nel primo caso il processo può prevedere o la presenza di un controllore a bordo, oppure l'installazione di macchine obliterate, poste all'ingresso del mezzo, che prevedono la convalida del titolo di viaggio sotto stretta osservazione del conducente. Nel caso in cui invece il processo avvenga prima dell'imbarco, si possono avere diversi sistemi dotati anche di barriere che prevedono il pagamento e la convalida preliminare (Figura 2.14).



Figura 2.14 – Sistemi con barriere

Progettato il tipo di processo è bene considerare i mezzi e le opzioni con i quali si potrebbe effettuare il pagamento. Le politiche tariffarie adottate ed i processi utilizzati per la raccolta della tariffa, influenzano fortemente la scelta dei mezzi e delle tecnologie da utilizzare per il pagamento del titolo di viaggio. Le apparecchiature adibite al pagamento devono essere in grado di gestire una determinata opzione di pagamento e, allo stesso tempo, di elaborare le transazioni associate al tipo di processo scelto. Le diverse tecnologie disponibili prevedono il pagamento del titolo di viaggio tramite:

- contanti, gettoni e biglietti di carta (tickets) – sistema tradizionale di pagamento della tariffa, più semplice, meno costoso ma più lento. Spesso in prossimità delle stazioni sono presenti apposite apparecchiature (Figura 2.15) che rilasciano i ticket.

- tessere magnetiche – tessere di plastica caratterizzate da una banda magnetica che contiene informazioni sul credito disponibile per il pagamento della tariffa. L'uso di questa opzione richiede l'installazione di lettori elettronici che ad ogni lettura siano in grado di detrarre il costo della corsa.
- smart card – tessere dotate di un chip che contiene informazioni analoghe a quelle contenute nelle tessere magnetiche con la differenza che queste tessere possono essere utilizzate per diversi pagamenti anche non inerenti al sistema di trasporto.



Figura 2.15 – Attrezzature per il rilascio del biglietto

La scelta ed il progetto della tecnologia da utilizzare possono influenzare attributi importanti del sistema come i tempi di servizio, le attività ausiliari nonché i costi capitali ed operativi del sistema tariffario; viceversa, la scelta della tecnologia risulta essere influenzata da fattori come il tipo di viabilità che presenta il sistema BRT ed il flusso di passeggeri presunto. Ovviamente dove si prevede un flusso di passeggeri elevato, per diminuire i tempi di sosta nelle stazioni e migliorare l'accessibilità, si può pensare all'applicazione di un sistema di accesso tramite smart card che, anche se implica costi capitali maggiori, permette di realizzare un processo di pagamento, convalida e verifica più veloce e flessibile.

Infine con l'espressione *struttura tariffaria* si vogliono indicare la strategia base di prezzatura, la politica di trasferimento e gli effettivi livelli di prezzatura. Come tale la struttura quindi influisce sulla scelta del processo da utilizzare nonché sul tipo di pagamento da adottare; tuttavia essa può però essere a sua volta influenzata dalle tecnologie di pagamento sia del sistema BRT che degli altri sistemi di trasporto presenti. La struttura viene stabilita sulla base degli utenti ma anche sulla base di considerazioni politiche, finanziarie ed operazionali. Si possono pertanto distinguere due tipologie di strutture tariffarie:

- a tariffa uniforme,
- a tariffa dinamica.

Nel primo caso la tariffa è la medesima indipendentemente dalla distanza percorsa dagli utenti e dalla qualità del servizio; in questo modo si semplificano notevolmente la responsabilità dei controllori di viaggio e le operazioni di imbarco. Nel secondo caso invece si ha una differenziazione a seconda della distanza percorsa, della velocità del servizio e della qualità offerta agli utenti.

2.6 Servizi e pianificazione dei percorsi

La progettazione dei servizi e della struttura dei percorsi di un sistema BRT influenza la valutazione e la percezione che gli utenti hanno del servizio offerto dal sistema. Il servizio BRT dovrebbe essere frequente, diretto, facile da comprendere, comodo, affidabile, efficiente e soprattutto, come implica il suo nome, rapido. La flessibilità che distingue il sistema porta, necessariamente, ad una flessibilità nella progettazione sia dei percorsi che dei servizi che, allo stesso tempo, devono però soddisfare gli utenti serviti e limitare l'impatto con l'ambiente circostante. E' bene considerare come i servizi e la pianificazione operativa dipendano, a seconda della città in cui il sistema viene applicato, da una serie di fattori economici (capitale disponibile e budget spendibile) e politici, nonché dalla domanda di utenti, dai diversi diritti di precedenza a disposizione e dalle configurazioni delle strade presenti.

Da questo quadro introduttivo riguardante il ruolo dei servizi e della pianificazione dei percorsi si comprende come queste due caratteristiche, oltre essere legate tra loro perché influenzate da molti fattori comuni, sono anche strettamente dipendenti l'una dall'altra. Per esempio, come si vedrà in seguito, dalle scelte che riguardano la struttura del percorso dipenderanno caratteristiche di servizio come durata e frequenza; si capisce pertanto il motivo per cui questi elementi del sistema vengano, in questa sezione, analizzati insieme.

Di seguito verranno pertanto definiti e discussi i servizi basilari che un sistema BRT deve essere in grado di offrire, e verranno fatte alcune considerazioni riguardo la pianificazione operativa dei percorsi in relazione ai servizi offerti.

Le caratteristiche che verranno qui considerate riguarderanno:

- lunghezza e struttura del percorso,
- intervalli e frequenze di servizio,
- distanza delle fermate,
- metodi per il controllo della tabella di marcia.

2.6.1 Lunghezza e struttura dei percorsi

La lunghezza del percorso influenza le località che un utente può raggiungere direttamente senza effettuare cambi di mezzo, e determina le risorse necessarie per servire una dato itinerario. I percorsi lunghi, se da una parte minimizzano la necessità di fermate, dall'altra richiedono elevati capitali, maggiori lavorazioni sulle risorse disponibili, e molta più variabilità negli interventi. I percorsi brevi invece offrono una maggiore affidabilità dei tempi di viaggio, ma spesso non raggiungono direttamente le località di interesse degli utenti, e proprio per questo, richiedono diversi scali prima di raggiungere la località desiderata. Il servizio BRT non sempre necessita di operare su un itinerario totalmente dedicato a lui per il 100% della lunghezza del percorso; ovviamente maggiore sarà l'interazione con gli altri mezzi e sistemi e minori saranno le prestazioni ottenute.

Un vantaggio importantissimo del sistema BRT è rappresentato dal fatto che le vie di marcia e le stazioni possono ospitare diversi veicoli che operano su percorsi differenti. Questa flessibilità permette di incorporare differenti tipi di percorsi, aventi diverse strutture, all'interno della medesima infrastruttura. I servizi progettati per i sistemi BRT sono sia in grado di creare un servizio su misura sia di provvedere a fornire un servizio punto a punto, che riduca soprattutto i tempi di viaggio e limiti il numero di scali (Figura 2.16). Lo scopo principale del sistema, in genere, è quello di fornire un servizio punto a punto che quindi limiti gli scali, riduca i tempi di viaggio e che contemporaneamente esponga in modo chiaro e semplice i diversi percorsi alternativi che si possono avere.

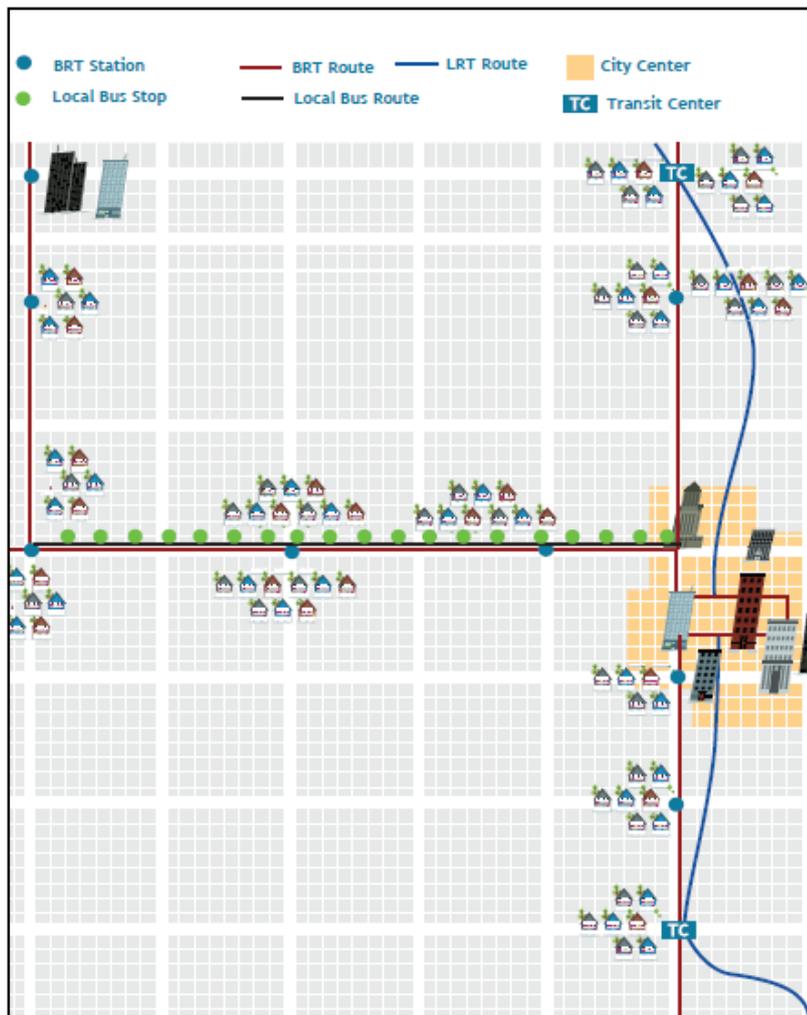


Figura 2.16 – Tipico percorso BRT lungo un corridoio principale

Strettamente legato alla struttura del percorso risulta essere il servizio che dovranno offrire le linee operanti. Infatti, il percorso progettato, può presentare veicoli che operano secondo un servizio *trunk-feeder*, oppure *diretto*.

I percorsi caratterizzati da un servizio trunk-feeder (2.17) sono costituiti da un corridoio principale, che in genere è servito da autobus ad elevata capacità, al termine del quale è presente una stazione di scambio dalla quale si diramano diversi percorsi, serviti da autobus a capacità minore. Il vantaggio principale di questa struttura è rappresentata dal fatto che permette una migliore corrispondenza mirata tra dimensione dei veicoli e dimensione della strada; allo stesso tempo però presenta uno svantaggio per gli utenti che spesso, per raggiungere la località desiderata, giunti alla stazione di scambio devono cambiare mezzo e conseguentemente perdere del tempo.

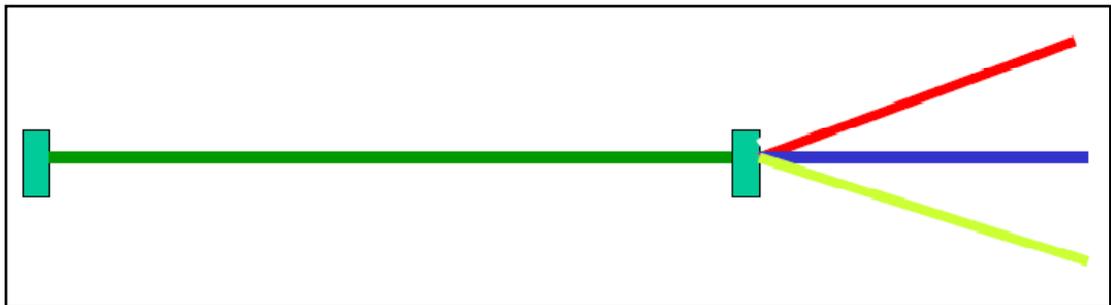


Figura 2.17 – Servizio Trunk-Feeder

Il servizio diretto invece (Figura 2.18) prevede che uno stesso corridoio sia percorso da diverse linee; queste linee percorreranno il medesimo tratto di strada per poi successivamente diramarsi lungo il proprio percorso, seguendo quindi strade diverse, senza la necessità, da parte degli utenti, di dover cambiare linea. In questo caso infatti, in prossimità delle diverse diramazioni, non è presente una stazione di cambio. Una struttura di questo tipo ha il vantaggio di riuscire a soddisfare una domanda elevata tramite diversi collegamenti punto a punto; il principale svantaggio invece è rappresentato da un probabile eccesso di posti che si possono avere una

volta che il percorso si dirama, soprattutto se vengono utilizzati autobus articolati.

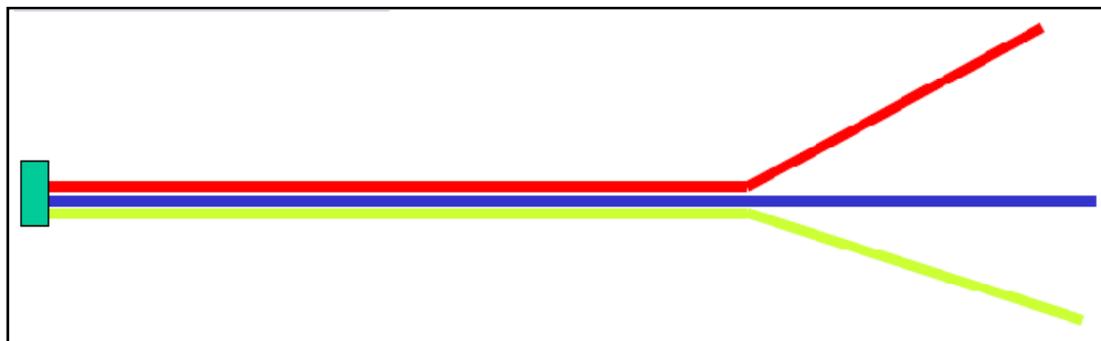


Figura 2.18 – Servizio diretto

2.6.2 Intervalli e frequenza del servizio

Gli intervalli di servizio rappresentano i periodi di tempo in cui il servizio è disponibile e può quindi essere utilizzato, mentre la frequenza quantifica l'intervallo di tempo che intercorre tra le corse.

Le opzioni riguardo gli intervalli di servizio generalmente sono due: si può infatti progettare un servizio continuativo, che durante tutto l'arco della giornata presenti una frequenza costante, oppure un servizio caratterizzato da una maggiore frequenza solo nelle ore di punta. Nel primo caso viene garantita, durante tutto l'arco della giornata, un'elevata frequenza e ciò assicura quindi ai passeggeri, che arrivano in modo casuale durante tutte le ore del giorno, tempi di attesa non significativi. Nel secondo caso invece viene fatta una distinzione del servizio tra ore di punta e ore di morbida. Durante le ore di punta viene garantita una maggiore frequenza e capacità, mentre durante le restanti ore della giornata viene garantito un servizio di base, analogo a quello offerto dal servizio di autobus locali.

La determinazione degli intervalli influenza fortemente il segmento di mercato che il sistema BRT può attrarre. Servizi di lunga durata (ovvero che partono sin dalle prime ore del mattino e terminano a notte inoltrata) permettono una maggiore flessibilità di orario agli utenti abituali e, diversi tipi di modelli di spostamento che fanno affidamento su un particolare servizio.

Diversamente invece intervalli di servizio brevi limitano il mercato dei potenziali utenti. Per esempio, un servizio che presenta una maggior frequenza solo nelle ore di punta, limita l'utilizzo dello stesso ai soli pendolari che hanno orari di lavoro compatibili con il servizio offerto.

Come mostrato in tabella 2.2 la scelta della durata del servizio varia a seconda del tipo di servizio BRT offerto e a seconda del tipo di strada su cui opera il sistema.

Principali vie di corsa	Modelli di servizio	Servizio		
		Settimanale	Sabato	Domenica
Strade arteriose	All stop	All Day	All Day	All Day
Traffico misto	Connecting Bus Routes	All Day	All Day	All Day
Corsie bus				
Corsie in mezzera (divieto sorpasso)				
Superstrade				
Traffico misto	Non stop	All Day	All Day	---
Bus/ Corsie HOV	Commuter Express	Peak period	---	---
Vie riservate	All stop	All Day	All Day	All Day
	Express	Daytime o Peak period	---	---
	Feeder service	Daytime All Day O Non Peak period	Daytime O All Day	Daytime
	Connecting Bus Routes	All Day	All Day	All day

* All Day – servizio tipicamente di 18/24 ore ;Daytime – dalle 7.00 alle 19.00; Peak period – dalle 6.30 alle 9.00 e dalle 16.00 alle 18.00

** Per ulteriori approfondimenti sui modelli di servizio si rimanda al TCRP Report 90

Tabella 2.2 – Tipi di servizi BRT e determinazione della durata (Fonte: TCRP Report 90)

La frequenza del servizio invece influisce sulla regolarità e sulla capacità dei passeggeri di far affidamento sul sistema BRT. Alte frequenze (esempio corse ogni 10 minuti o meno) danno l'impressione di un servizio affidabile con attese ridotte, che incoraggia i passeggeri ad arrivare casualmente senza dover fare sempre riferimento alle tabelle orarie del servizio. Inoltre impostare una frequenza solo ed esclusivamente sulla base del mercato

servito, è uno dei più importanti elementi di pianificazione e gestione che rende il sistema BRT superiore agli altri sistemi.

2.6.3 Distanza tra le fermate e controllo della tabella di marcia

Le velocità operative dei sistemi BRT sono fortemente influenzate da una serie di problemi di pianificazione operativa, tra cui la distanza che deve esserci tra due fermate successive. E' ovvio come questa distanza abbia un impatto misurabile sulla velocità operativa e sui tempi di viaggio degli utenti. Stazioni molto distanti tra loro permettono di viaggiare a velocità superiori e quindi di diminuire i tempi di viaggio. Questo fattore aiuta inoltre a far comprendere agli utenti la possibilità di un incremento del tempo necessario a raggiungere, a piedi o in macchina, le stazioni.

Poiché uno degli attributi del sistema BRT è la regolarità del servizio, è possibile monitorare costantemente la tabella di marcia imposta sul percorso, in modo tale da rispettare gli orari pianificati e regolare la velocità operativa. Ci sono diverse tecnologie che permettono di controllare la tabella di marcia e che spesso si interfacciano con i sistemi ITS che vedremo nel prossimo paragrafo.

2.7 Intelligent Transportation Systems (ITS)

I sistemi ITS sono in grado di migliorare le prestazioni del servizio BRT grazie all'uso di avanzate tecnologie di comunicazione. Questi sistemi incontrano le esigenze delle aziende di trasporto in quanto migliorano la sicurezza, l'efficienza delle operazioni e la qualità del servizio; inoltre sono in grado di migliorare la convenienza degli autisti permettendo l'accesso tempestivo ad una serie di informazioni e di dati affidabili.

I sistemi ITS sono caratterizzati da vari strumenti tecnologici che permettono di raccogliere, elaborare e diffondere dati in tempo reale. I dati, provenienti dal veicolo o da sensori posizionati sulla strada, generalmente vengono trasmessi su una rete dedicata e, attraverso un computer, vengono trasformati in informazioni utili alle aziende di trasporto, ai conducenti e agli utenti.

Un sistema ITS è in pratica formato da diversi apparecchi che, combinati tra loro, danno origine ad un particolare sistema. Per esempio, l'uso di un sistema GPS, che è in grado di fornire informazioni sulla posizione del veicolo, combinato con un sistema di programmazione e invio dell'orario grafico, e con segnali prioritari di traffico costituisce un particolare sistema ITS (Figura 2.19) che permette di migliorare il rispetto dell'orario grafico, dando luogo così ad un servizio migliore in termini di affidabilità e di velocità di marcia.

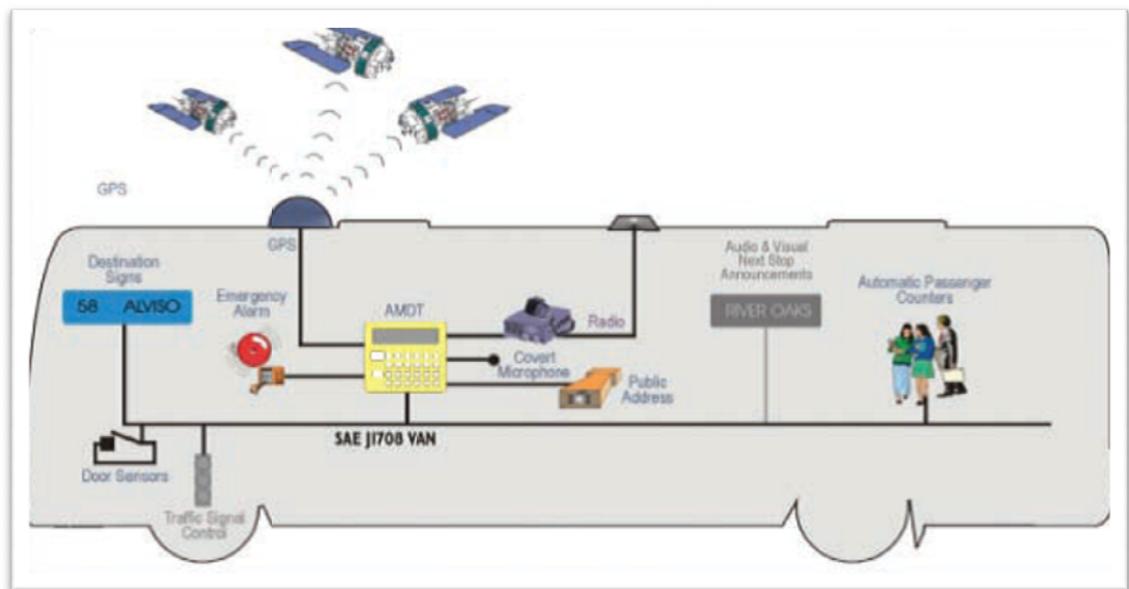


Figura 2.19 – Schema di funzionamento di un tipico sistema ITS

L'uso di tecnologie che possono controllare sia la posizione ed il percorso dei veicoli, che lo stato e le movimentazioni dei passeggeri, non solo consentono prestazioni migliori ma permettono di aumentare la safety e la security dei passeggeri e delle strutture.

Inoltre i sistemi ITS possono essere utilizzati per assistere gli operatori nelle operazioni manutentive della flotta di veicoli e per notificare, ai meccanici, eventuali problemi meccanici o necessità di manutenzione ordinaria.

Da ciò si può quindi comprendere come le tecnologie ITS migliorano le prestazioni e sono fondamentali nel generare alcuni benefici tipici dei sistemi

BRT. Verranno di seguito analizzati i vari sistemi ITS che possono essere integrati in un sistema BRT e, vista la molteplicità di sistemi esistenti, questi verranno categorizzati in sei differenti gruppi:

- sistemi di precedenza di transito dei veicoli,
- sistemi di veicoli intelligenti,
- sistemi relativi alla gestione delle operazioni,
- sistemi di informazione agli utenti,
- sistemi di safety e security,
- sistemi elettronici riguardanti la tariffa (già discussi nel paragrafo 2.5).

2.7.1 Sistemi di precedenza e sistemi di veicoli intelligenti

Nei sistemi di precedenza di transito vengono raggruppate tutte le metodologie e le apparecchiature utilizzate per fornire servizi di precedenza del sistema BRT. Lo scopo del loro utilizzo non è solo quello di ridurre i ritardi semaforici ma è anche quello di ottenere un maggior rispetto dei tempi imposti dall'orario grafico, in modo tale da aumentare l'affidabilità e diminuire i tempi di attesa. In genere i sistemi di precedenza (Figura 2.20) vengono installati in prossimità delle intersezioni per permettere ai veicoli BRT di



Figura 2.20 – Sistema semaforico di precedenza

superare l'incrocio a traffico misto senza perdere troppo tempo. Un impiego alternativo di questi sistemi invece permette di controllare gli accessi, ovvero di evitare che le corsie destinate al sistema vengano occupate da altri veicoli non autorizzati, soprattutto in prossimità delle stazioni.

Fanno invece parte dei sistemi di veicoli intelligenti tutte quelle tecnologie che forniscono ai veicoli controlli automatizzati laterali (cioè riguardanti lo sterzo) e longitudinali (cioè riguardanti il controllo della velocità di partenza e di arresto). Alcuni veicoli possono essere equipaggiati con appositi sensori di collisione oppure con sensori che aiutano l'avvicinamento alla piattaforma e facilitano l'imbarco sul mezzo. In generale l'utilizzo di questi sistemi aiuta a ridurre la frequenza e la gravità degli incidenti, e a ridurre i tempi di corsa e di sosta alle fermate.

2.7.2 Sistemi di gestione delle operazioni, di informazione agli utenti e di sicurezza

I sistemi di gestione delle operazioni permettono di migliorare la gestione delle flotte veicolari. Questo gruppo di tecnologie comprende infatti sistemi che migliorano le operazioni di pianificazione, l'efficienza di funzionamento, l'affidabilità del servizio e riducono i tempi di viaggio. Fanno parte di questi sistemi software che assistono le compagnie di trasporto nella pianificazione delle flotte veicolari; infatti questi programmi permettono, per esempio, di associare un conducente a ciascun mezzo ed integrarvi ulteriori informazioni di monitoraggio e controllo in tempo reale.

I sistemi di informazione rivolti ai passeggeri sono in grado di fornire agli utenti informazioni riguardo il servizio, in modo tale da migliorare la soddisfazione degli stessi e ridurre i tempi di attesa. Display che indicano in tempo reale informazioni riguardo le corse (Figura 2.21) possono avere un valore importante soprattutto nei sistemi in cui i tempi di intervallo tra una corsa e l'altra possono essere superiori ai 5 minuti. Conoscendo i minuti di attesa l'utente può così rilassarsi mentalmente e pensare ad un'attività per sfruttare al meglio il tempo di attesa.



Figura 2.21 – Display con informazioni in tempo reale sui tempi di attesa

Per le aziende di trasporto questi sistemi di informazione spesso riducono le mansioni del personale addetto alle relazioni con il pubblico attraverso i canali tradizionali (come, per esempio, le informazioni richieste telefonicamente).

I sistemi di informazione passeggeri spesso hanno duplici benefici:

- permettono al personale di transito di utilizzare le informazioni in tempo reale per monitorare l'affidabilità del loro servizio;
- possono rappresentare una fonte di reddito attraverso l'affitto e la vendita di spazi pubblicitari.

I display contenenti informazioni utili agli utenti possono essere ubicati lungo tutto il percorso di viaggio, in prossimità delle stazioni o all'interno delle stesse, oppure a bordo dei veicoli. Questi sistemi diffondono le informazioni attraverso diversi media tra cui internet, dispositivi wireless, insegne a pannelli dinamici, insegne a bordo del veicolo, sistemi di comunicazione al pubblico o sistemi vocali interattivi.

Per quanto riguarda infine i sistemi di safety e security, questi hanno lo scopo principale di garantire la sicurezza degli utenti del sistema, attraverso l'uso, per esempio, di diversi allarmi installati a bordo dei veicoli o nelle stazioni. L'utilizzo di telecamere nelle stazioni, oltre che permettere una stretta vigilanza di tutte le aree della stazione e scoraggiare la criminalità, fornisce un chiaro segno di presenza di un sistema di sicurezza.

2.8 Conclusioni

Dopo aver analizzato tutte le principali caratteristiche e le varie opzioni che il sistema può presentare, si comprende ancora di più l'impossibilità di fornire un'unica definizione che descriva in maniera globale, sintetica e concisa questi sistemi; tale difficoltà deriva soprattutto dall'ampia varietà di opzioni che possono essere progettate.

Vista questa variabilità i sistemi BRT possono pertanto essere a loro volta classificati in:

- BRT leggeri

- BRT standard
- BRT completi

Le caratteristiche generali che questi sistemi così classificati devono presentare vengono descritte in figura 2.22.

BRT- leggero	BRT- standard	BRT- completo
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Qualche forma di priorità ma non vie di marcia totalmente separate ✓ Migliore tempo di viaggio ✓ Fermate di miglior qualità ✓ Veicoli poco inquinanti ✓ Identità di mercato 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Corsie separate ✓ Pagamento/verifica tariffa prima di salire a bordo ✓ Stazioni di qualità elevata ✓ Veicoli poco inquinanti ✓ Identità di mercato 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Qualità servizio simile a metropolitana ✓ Rete di linee e corridoi integrati ✓ Stazioni di qualità e chiuse ✓ Pagamento/verifica tariffa prima di salire a bordo ✓ Servizio rapido e frequente ✓ Veicoli poco inquinanti e moderni ✓ Identità di mercato

Figura 2.22 – Caratteristiche principali dei diversi sistemi BRT
(Fonte: Wright, 2006)

In questo modo quindi i diversi sistemi, invece di rappresentare un insieme di qualità, disegnano uno spettro di possibilità che si possono avere nella progettazione del BRT. E' ovvio come più le caratteristiche del BRT progettato si avvicinano ad un BRT completo, maggiore saranno la qualità e le prestazioni del servizio ottenuto.

La scelta del sistema BRT che si vorrà sviluppare dipenderà soprattutto da diversi fattori come preferenze locali e culturali, densità di popolazione, distribuzione della domanda, geografia, topografia, risorse disponibili e volontà politica. Questi fattori spesso costituiscono una sorta di vincolo nella

progettazione che inevitabilmente si riflette sulla qualità e sulle prestazioni del servizio offerto.

Nel capitolo che segue pertanto verranno analizzati tutti gli attributi del sistema e si vedrà come le caratteristiche fisiche studiate, incidano sulla qualità del servizio offerto.

CAPITOLO 3

CARATTERISTICHE PRESTAZIONALI E COSTI DEL SISTEMA

3.1 Introduzione

Dopo aver analizzato le caratteristiche fisiche e di servizio che distinguono i sistemi BRT dagli altri tipi di sistemi verranno, in questa sezione, descritti i principali attributi prestazionali. Secondo la classificazione di Diaz (2009) le caratteristiche prestazionali che il sistema presenta sono sei:

- tempo di viaggio
- affidabilità
- identità ed immagine
- safety & security
- capacità
- accessibilità

A questi attributi, in questa sede, è stata aggiunta un' ulteriore caratteristica che potrebbe essere considerata dipendente da altri attributi ma non per questo meno importante, ovvero il comfort.

Ogni singolo attributo verrà qui analizzato sia in generale che nello specifico soffermandosi prevalentemente su quelle caratteristiche che determinano la qualità del servizio, e che pertanto permettono di valutare quantitativamente le prestazioni offerte.

E' bene notare come questi attributi non solo rappresentano un modo utile per valutare le caratteristiche prestazionali del sistema, ma forniscono anche un'idea generale di quelli che possono essere i potenziali benefici che si otterrebbero dall'implementazione di un sistema di questo tipo.

Anche se non è un attributo prestazionale, i costi del sistema rappresentano, insieme alla capacità, gli elementi fondamentali che rendono il BRT in grado di competere con i sistemi su ferro. Proprio per questo, anche se brevemente, in questo capitolo è presente un paragrafo interamente

dedicato ai costi che ha lo scopo principale di identificare quali tra questi rendono questo sistema competitivo, e che illustra in che misura le diverse caratteristiche fisiche del sistema, influiscono sui costi capitali.

3.2 Tempo di viaggio

Il tempo di viaggio è il principale attributo prestazionale del sistema e rappresenta il tempo effettivo speso dai passeggeri (e dai veicoli) nel percorrere il loro itinerario dall'inizio alla fine. Il tempo di viaggio dunque comprende sia il tempo speso sul veicolo in movimento che il tempo necessario ad entrare/uscire dal sistema, oltre che i tempi di attesa e di trasbordo.

Il tempo di viaggio può essere l'unico attributo del sistema che maggiormente preoccupa il passeggero ed, inoltre, risulta particolarmente importante negli spostamenti ricorrenti "obbligatori" come possono essere i trasferimenti effettuati per motivi di lavoro. La riduzione del tempo di viaggio dipende strettamente da come ciascuna caratteristica del sistema viene implementata nella rete e dalle relazioni che intercorrono tra i diversi elementi. In genere elevate velocità di viaggio e ridotti tempi di sosta alle fermate rendono il servizio BRT più attrattivo, soprattutto agli occhi di potenziali utenti che possono scegliere tra più modi di trasporto.

I tempi di viaggio sono fortemente influenzati dalle diverse condizioni operative in cui si trova la strada, dalla configurazione della rete e dalla frequenza del servizio. L' "Operational analysis of bus lanes arterials" infatti indica che, per corse suburbane, circa il 70% del tempo di viaggio totale si svolge con il veicolo in movimento, mentre per corse urbane (soprattutto se queste attraversano distretti commerciali), la stessa percentuale risulta essere inferiore (40-60%). Questo è dovuto principalmente dal fatto che le linee urbane spesso sono caratterizzate da volumi di passeggeri maggiori che salgono e scendono alle fermate, dalla presenza di una maggiore densità di fermate e di intersezioni, da una maggiore interferenza del sistema con i pedoni e da condizioni di traffico avverse.

Infine è bene sottolineare come le diverse componenti del tempo di viaggio non vengono valutate allo stesso modo dagli utenti del sistema, o meglio gli utenti non associano a tutti i tempi il medesimo peso, e ciò determina una differenza tra tempo di viaggio reale e tempo di viaggio percepito.

3.2.1 Analisi dei principali elementi che influenzano il tempo di viaggio e le sue caratteristiche

Il tempo di viaggio reale e quello percepito dagli utenti sono determinati sia da una pianificazione tattica e strategica del sistema di trasporto che da elementi come l'area coperta dal servizio, la configurazione della rete, la frequenza ed i collegamenti con gli altri servizi. Pertanto tutte le caratteristiche del sistema influenzano il tempo di viaggio, in quanto influiscono direttamente sulla velocità commerciale dei veicoli BRT.

Come è stato introdotto nella definizione del tempo di viaggio, questo è caratterizzato da diverse componenti le quali, a loro volta, vengono influenzate in modo diverso dalle caratteristiche fisiche e di servizio del sistema. Le componenti principali del tempo di viaggio sono:

- il tempo di corsa,
- il tempo di sosta alle fermate,
- il tempo di attesa,
- il tempo di trasferimento (o di trasbordo)

Il *tempo di corsa* viene definito come il tempo effettivo che passeggeri e veicoli BRT spendono in movimento fra le fermate. In molti casi la massima velocità dell'autobus non è il principale fattore che influenza i tempi di corsa. Infatti le linee che attraversano densi corridoi di traffico raramente riescono ad accelerare fino ad arrivare alla massima velocità in quanto la loro velocità è fortemente influenzata dall'andamento del traffico generale e dalle limitate distanze di arresto. Il tempo di corsa è influenzato da fattori come la congestione veicolare, da ritardi in prossimità delle intersezioni, da ritardi

lungo l'itinerario dovuti alla presenza di semafori e di precedenza pedonali ed infine dalla necessità di rallentare la velocità in prossimità delle stazioni.

Il *tempo di sosta* alle fermate rappresenta invece il tempo necessario al veicolo per caricare e scaricare i passeggeri in prossimità delle fermate (o delle stazioni). Questo tempo rappresenta circa il 30% del tempo totale di viaggio, e spesso è il responsabile di più del 40% dei ritardi dovuti alla gestione del traffico. Il tempo di sosta dipende da diversi fattori:

- dal numero di passeggeri che possono salire e scendere da una porta (maggiore è il numero e la dimensione degli ingressi maggiore saranno i passeggeri evasi)
- dal tipo di sistema per la riscossione della tariffa (il pagamento della tariffa prima dell'imbarco sul mezzo riduce ampiamente i tempi di sosta)
- occupazione del veicolo (una congestione all'interno del veicolo richiede tempi superiori per la salita e la discesa dei passeggeri).

Il tempo di sosta speso in prossimità di una determinata fermata può essere facilmente calcolato come segue:

$$t_s = P_a t_a + P_b t_b + t_{oc} \quad (\text{sec}) \quad (1)$$

Dove: P_a e P_b rappresentano rispettivamente il numero di passeggeri che possono scendere/salire dalla porta maggiormente trafficata (pass)

t_a e t_b rappresentano rispettivamente il tempo impiegato dal singolo passeggero a scendere/salire dal mezzo (pass/sec)

t_{oc} rappresenta il tempo impiegato dal mezzo ad aprire e chiudere le porte (circa 2-5 secondi)

E' bene sottolineare come nella determinazione del tempo di imbarco t_b si debba tenere conto sia del numero di porte che il mezzo ha (più sono le porte minori sono i tempi necessari), sia della tipologia di pianale del veicolo (pianali bassi permettono una riduzione del 20% di questo tempo) e sia della modalità di pagamento presente nel sistema. I valori di t_s così ottenuti a volte vengono aggiustati ed aumentati per tenere conto della presenza di passeggeri a ridotta mobilità.

In modo alternativo è possibile altrimenti considerare valori dei tempi di sosta alle fermate di default che varieranno dai 15 secondi, nel caso in cui la fermata sia su una strada periferica, fino ad un massimo di 60 secondi, nel caso in cui ci si trovi in stazioni intermodali o in fermate park-and-ride.

Il *tempo di attesa* viene definito come l'ammontare del tempo che i passeggeri spendono alle fermate prima di salire a bordo di un particolare servizio. Il tempo di attesa viene considerato come un attributo di grande importanza nella progettazione di un sistema di trasporto infatti, gli utenti attribuiscono un peso maggiore al tempo di attesa alle fermate piuttosto che al tempo di viaggio effettivo. Proprio per questo motivo i sistemi BRT vengono pianificati in modo tale da fornire un servizio con un'elevata frequenza durante tutte le ore del giorno che permetta agli utenti di arrivare in modo casuale senza che necessariamente si verifichino tempi di attesa troppo lunghi.

Infine il *tempo di trasferimento* (o di trasbordo) rappresenta il tempo speso dai passeggeri durante il trasferimento dal sistema BRT ad un altro sistema di trasporto, in modo tale da completare il loro viaggio. Ridurre il tempo necessario per spostarsi all'interno della stazione da un mezzo all'altro, e ridurre il tempo di attesa per il secondo servizio, automaticamente porta ad una diminuzione di questo elemento del tempo di viaggio.

Tutti questi fattori che determinano il tempo di viaggio effettivo vengono a loro volta influenzati, in modi diversi, dalle caratteristiche principali del sistema. Per esempio, uno dei fattori che maggiormente influenza il tempo di corsa è il grado di separazione delle corsie mentre, i fattori che maggiormente incidono sul tempo di sosta alle fermate sono quelli relativi alla piattaforma e alla configurazione del veicolo; infine gli elementi che maggiormente influiscono sul tempo di attesa e di trasferimento sono la frequenza, la configurazione delle stazioni ed i sistemi ITS utilizzati.

3.3 Affidabilità

L'affidabilità rappresenta la variabilità dei tempi di viaggio ed è uno dei parametri fondamentali su cui si basa la scelta dei clienti. Infatti gli utenti di

un sistema di trasporto generalmente vengono attratti dai servizi che presentano brevi tempi di viaggio, ma nello stesso tempo, sono anche disposti a continuare ad usare quel particolare sistema se questo rappresenta qualcosa di cui possono fidarsi. I sistemi che non sono in grado di fornire un livello di servizio costante, difficilmente riescono ad attirare verso loro potenziali clienti, soprattutto se questi possono scegliere tra diversi sistemi di trasporto. L'affidabilità dei tempi di viaggio è influenzata da numerose fonti di incertezza tra cui le condizioni di traffico, imprevisti guasti al veicolo dovuti sia a problemi meccanici che non, lunghezza dell'itinerario, recupero dei tempi pianificati, numero di fermate, regolarità della domanda di trasporto, ed un uso imprevedibile delle rampe per facilitare la salita e la discesa delle carrozzelle. Alcuni di questi fattori non possono essere direttamente controllati dalle aziende di trasporto mentre altri sì.

Nonostante queste incertezze, l'affidabilità può essere anche fortemente influenzata da alcune caratteristiche prestazionali del sistema come i tempi di corsa, la sosta alle fermate ed il servizio offerto. Quando l'affidabilità dipende da ciascuno di questi attributi generalmente ci si riferisce, rispettivamente, all'affidabilità dei tempi di viaggio, all'affidabilità del tempo di sosta alle fermate e all'affidabilità del servizio. Mentre i primi due aspetti mettono in relazione la capacità del sistema di soddisfare la tabella oraria o specifici tempi di viaggio predefiniti, l'affidabilità del servizio determina invece quali sono le caratteristiche del sistema che contribuiscono a fornire, all'utente, una percezione del servizio accessibile ed attendibile.

Nel paragrafo che segue verranno singolarmente analizzate queste tre caratteristiche - che altro non sono che la puntualità, la regolarità e l'attendibilità del servizio - e verrà definito in che modo queste influenzano l'affidabilità dei tempi di viaggio.

3.3.1 Analisi dei principali elementi che influenzano l'affidabilità e le sue caratteristiche

Con *affidabilità dei tempi di corsa* si vuole indicare la capacità del sistema di mantenere costanti i tempi di viaggio. Implicitamente ci si riferisce pertanto

alla capacità del servizio di mantenere elevate velocità lungo il percorso, con lo scopo di fornire agli utenti tempi di viaggio conformi. L'affidabilità dei tempi di corsa risulta essere quindi un attributo importante, che rafforza la convinzione degli utenti di potersi affidare completamente ad un sistema di questo tipo.

L'*affidabilità dei tempi di sosta* alle fermate rappresenta invece la capacità dei veicoli BRT di far salire e scendere alle fermate un consistente numero di passeggeri entro un certo intervallo di tempo, che minimizzi però il tempo trascorso dagli utenti alle stazioni e quindi il ritardo del veicolo. Il carico di passeggeri varia significativamente durante tutto il giorno, soprattutto tra i diversi periodi di punta. Inserire elementi del sistema che possono aiutare a gestire questa variazione di flussi durante il giorno, senza allo stesso tempo influenzare i tempi di viaggio, può migliorare questo aspetto dell'affidabilità. Ciò risulta di primaria importanza soprattutto per i servizi BRT che operano lungo corridoi in cui è presente un'elevata domanda. Come descritto nel dettaglio nel "the role of transit amenities and vehicle characteristics in building transit ridership" (TCRP-Report 46) prolungati tempi di sosta possono influire sulla complessiva percezione dell'affidabilità al di là dei tempi di viaggio realmente impiegati.

Infine l'*affidabilità del servizio* viene definita come una caratteristica qualitativa strettamente connessa alle capacità operative del sistema di fornire un servizio conforme alla sua pianificazione, alla sua politica e alle aspettative dei suoi utenti. Gli aspetti di una gestione del trasporto che possono promuovere l'affidabilità del servizio sono:

- la disponibilità delle opzioni del servizio offerto – Il servizio offerto può essere così frequente che una mancata corsa o un ritardo possono rappresentare un piccolo degrado del sistema. I passeggeri, avendo una maggiore disponibilità del servizio, hanno quindi più scelte che permettono loro di rispondere alle imprevedibilità dei propri programmi e dei propri comportamenti (come per esempio la necessità di lavorare fino a tardi oppure la necessità di tornare a casa nelle ore centrali della giornata).

- la capacità di recupero dopo un guasto – Vi sono diverse strategie che permettono di risolvere velocemente ritardi imprevisti e rotture dei veicoli.
- la disponibilità delle possibili risorse utilizzabili – Avere a disposizione un sufficiente numero di possibili risorse permette ai singoli operatori di soddisfare i propri piani di servizio a fronte di tutte le incertezze che si possono avere, come per esempio, l'indisposizione del conducente, la presenza di traffico ed altri eventi comunque imprevedibili.

Si comprende quindi come tutte le caratteristiche fisiche del sistema influenzino direttamente l'affidabilità dei tempi di corsa, mentre i fattori che maggiormente incidono sull'affidabilità dei tempi di sosta e dei servizi sono quelle legate alla struttura delle stazioni, alla configurazione dei veicoli, alla struttura tariffaria, alla frequenza dei servizi ed ai tipi di sistemi ITS presenti. Infatti avere un sistema BRT con un elevato grado di separazione dal resto del traffico e corredato da sistemi ITS di precedenza, può ridurre fortemente la propagazione del ritardo e di conseguenza migliorare l'affidabilità dell'intero sistema.

Da questa analisi emerge anche come affidabilità e tempi di viaggio siano strettamente legati tra loro ed influenzati in gran parte dalle medesime caratteristiche. Pianificare un sistema con tempi di viaggio accettabili e rispettabili incide automaticamente sull'affidabilità dello stesso.

3.4 Identità ed immagine

Uno degli scopi principali del sistema BRT è quello di fissare un'immagine ed un'identità ben distinta da quella dei sistemi locali di autobus, in modo tale da massimizzare il proprio potenziale attrattivo ed indirizzare verso se, nuovi utenti che non possono o non vogliono più utilizzare i correnti sistemi di trasporto. Quindi l'immagine e l'identità catturano come il sistema BRT viene percepito dagli utenti e dai non utenti, influenzando sia la percezione della qualità del servizio che il comportamento della popolazione. Questi attributi riflettono sia come i sistemi BRT si posizionano nel mercato

dei trasporti, sia il loro adattamento con l'ambiente urbano circostante. Ciò rappresenta un importante strumento promozionale e di mercato per gli utenti abituali, e un mezzo attraverso cui gli utenti non abituali possono ottenere informazioni. Queste informazioni provengono dalle caratteristiche visibili del sistema ovvero dai veicoli, dalle stazioni e dalle vie di marcia. Spesso, per

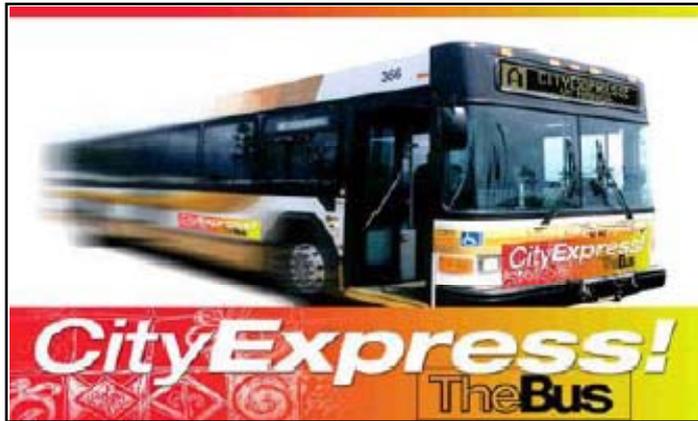


Figura 3.1 – Logo che identifica un sistema BRT

fare emergere questo sistema, i tracciati e/o le linee vengono caratterizzati da un colore oppure da un logo ricorrente sia alle fermate che sui veicoli BRT (Figura 3.1), mentre le stazioni, oltre essere molto visibili e vistose,

spesso sono vere e proprie opere d'arte moderna.

In questo contesto quindi con il termine identità ci si riferirà ad una sorta di marchio che viene attribuito al sistema e che permettere di distinguere questo dagli altri sistemi di trasporto (marchio di identità); mentre con il termine immagine ci si riferirà allo stile, all'estetica ed alla compatibilità degli elementi caratteristici del sistema che vengono inseriti in un determinato contesto urbano (progettazione contestuale).

3.4.1 Analisi dei principali elementi che influenzano l'immagine e l'identità del sistema

Come precedentemente affermato i due principali elementi che caratterizzano l'immagine e l'identità di un sistema BRT sono:

- il marchio d'identità – definisce l'identità del sistema come se fosse un prodotto di mercato
- la progettazione contestuale

Il marchio d'identità riflette come il sistema BRT viene classificato dalla popolazione rispetto agli altri sistemi di trasporto e alle altre opzioni di viaggio. Il sistema BRT tende ad avere un'identità separata dagli altri sistemi di trasporto per massimizzare il suo potenziale attrattivo. Questa strategia di separazione del servizio può risultare di successo soprattutto nella differenziazione di mercato: il sistema può quindi risultare come un ottimo servizio che, conseguentemente, può essere considerato dalla popolazione come una possibile scelta. Per avere questo impatto sulla popolazione è necessario che il sistema si imponga come un ben distinto modo di trasporto attraverso la sua immagine, ovvero attraverso elementi ben visibili e caratteristiche che lo rendano unico e siano in grado di attirare, anche solo per curiosità, la popolazione.

La progettazione contestuale invece misura come effettivamente le caratteristiche del sistema BRT sono integrate nell'ambiente circostante. Gli elementi fisici non devono essere visti solo come caratteristiche di cui si servono gli utenti ma devono essere considerati come punti focali per le comunità intorno a loro. Sistemi in cui gli elementi sono compatibili e in armonia con il contesto in cui sono inseriti, non solo forniscono benefici al trasporto, ma anche alla comunità stessa. A tal proposito, diversi studi svolti hanno evidenziato come stazioni di transito con un significativo livello di dotazioni, indipendentemente dal modo di trasporto, hanno un impatto forte e positivo sui quartieri circostanti, su interi centri cittadini e sulle altre comunità urbane. Integrare gli elementi caratteristici è sinonimo anche di integrazione dei sistemi nelle comunità, il che può anche significare facilità di accesso alle strutture, soprattutto per le persone disabili.

Da queste descrizioni s'intende pertanto come marchio d'identità e progettazione contestuale rappresentino due facce della stessa medaglia: è infatti difficile ottenere un'identità positiva e distinta se non vi sono elementi di spicco e ben integrati nell'ambiente, che contemporaneamente permettano di differenziare il sistema.

Ne deriva quindi che l'immagine del sistema, e conseguentemente l'identità, sono influenzate principalmente da come vengono progettate le vie di

marcia, dai tipi di veicoli utilizzati (sia in termini di tecnologia utilizzata che in termini di configurazione estetica) e dal tipo di stazioni progettate. L'immagine positiva del sistema può essere rafforzata dalle caratteristiche visive come un maggiore grado di segregazione e dall'uso di veicoli di design e poco inquinanti; inoltre la costruzione di stazioni o di accessi pedonali particolarmente curati (Figura 3.2) può aumentare fortemente il grado di attrazione al sistema.



Figura 3.2 – Accesso pedonale ad una stazione BRT di Bangkok

3.5 Safety & Security

I termini safety e security attribuiscono una duplice accezione al generico significato di sicurezza. Con il termine safety infatti si indicano l'insieme di misure atte a prevenire o a ridurre i pericoli legati alla persona, mentre con il termine security ci si riferisce alle misure adottate per prevenire le minacce da terzi (come atti criminali o terroristici).

In un sistema BRT ben progettato le misure adottate atte a preservare la safety e la security (ovvero la sicurezza nel suo significato generico), se implementate correttamente, permettono di:

- ridurre le percentuali di incidenti;

- migliorare la percezione pubblica della sicurezza, con conseguente aumento dell'utenza;
- migliorare la gestione del rischio con conseguente diminuzione dei crediti assicurativi, delle spese legali e delle indagini;
- ridurre i costi di manutenzione legati ad atti vandalici.

La costruzione di un ambiente sicuro per i clienti del sistema è un punto di primaria importanza dal momento che, spesso, le stazioni e le fermate sono incustodite e aperte a chiunque, per tutto l'esteso periodo di funzionamento del servizio.

Come precedentemente accennato quando si parla di *safety* ci si riferisce alla sicurezza dai pericoli legati alla persona, o meglio, legati ai passeggeri e ai dipendenti del sistema di trasporto. Gli elementi che permettono di definire se la *safety* è ben gestita dalle aziende di trasporto pubblico sono:

- la percentuale di incidenti – intesa come percentuale di incidenti effettivi legati alla sicurezza della persona, per unità orarie o miglia percorse;
- la percezione pubblica della *safety* – spesso misurata utilizzando sondaggi o informazioni provenienti dai passeggeri.

Poiché la *safety* è fortemente influenzata dal tipo di infrastruttura progettata e da come vengono pianificate le vie di marcia, ne deriva che, a seconda della classe di appartenenza del BRT, si avranno livelli di *safety* diversi; maggiore sarà il grado di segregazione, minore sarà l'interferenza con altri sistemi e quindi maggiore la sicurezza personale. La *safety* è fortemente influenzata anche dalla configurazione della piattaforma – piattaforme a livello facilitano la movimentazione in sicurezza dei disabili – e dai sistemi ITS utilizzati.

L'obiettivo principale della *security* invece è quello di minimizzare sia la frequenza che la gravità delle attività criminali che minacciano i sistemi BRT, in modo tale da poter ottenere anche un miglioramento dell'immagine. Generalmente il livello di *security* viene misurato in termini di percentuale di crimini verificatisi nel sistema, la statistica ottenuta viene poi confrontata con la medesima percentuale riferita però al sistema stesso nelle aree circostanti o agli altri sistemi presenti. Le misure atte ad ottenere una maggiore *security*

dovrebbero essere applicate in tutti quei punti del sistema in cui i passeggeri entrano in contatto con uno degli elementi caratteristici, quindi in particolar modo, nelle stazioni e sui veicoli. Anche il modo in cui viene raccolta la tariffa – per esempio utilizzando sistemi con barriere - e le tecnologie ITS utilizzate, possono rappresentare un punto su cui concentrarsi al fine di migliorare la sicurezza.

Sistemi di BRT leggero in cui si hanno stazioni chiuse e protette, e che utilizzano veicoli con sistemi di sicurezza installati (per esempio telecamere) evidenziano come sia possibile ottenere un livello di sicurezza che risulterà senz'altro più elevato rispetto a quello dei sistemi tradizionali di autobus o di LRT, ma che comunque sarà inferiore a quello ottenuto con l'implementazione di un sistema BRT completo.

3.6 Accessibilità

In ambito trasportistico, il termine accessibilità è spesso utilizzato sia per descrivere l'utilizzabilità generale del servizio da parte di tutti gli utenti sia per descrivere la vicinanza al punto di accesso (cioè la vicinanza di stazioni o di fermate) del sistema considerato. Nel caso del BRT quando si parla di accessibilità si fa invece riferimento all'abilità ed alla facilità con cui un qualsiasi individuo diversamente abile può utilizzare il sistema. Intendendo l'accessibilità in questi termini si capisce pertanto come un miglioramento degli attributi prestazionali del sistema unito ad un miglioramento delle caratteristiche dello stesso può portare ad una significativa valorizzazione dell'accessibilità sia degli utenti disabili che della generale utenza.

L'accessibilità così definita viene pertanto misurata considerando sia che i programmi, le attrezzature ed i veicoli soddisfino i requisiti normativi e le linee guida di progetto, e sia valutando che i sistemi esistenti di BRT siano in grado di soddisfare le necessità di mobilità di tutti gli utenti per cui il sistema è stato progettato, inclusi persone disabili e anziane. Si possono pertanto identificare due distinte tipologie di accessibilità:

- accessibilità fisica – prevede la rimozione di particolari barriere fisiche e l'introduzione di sistemi (Figura 3.6) che possano agevolare l'ingresso/l'uscita dai veicoli (a) e dalle stazioni (b)
- accessibilità alle informazioni – prevede che tutti gli utenti possano accedere ad informazioni relative al servizio, soprattutto gli utenti affetti da cecità e da sordità.



(a)



(b)

Figura 3.6 – Misure adottate per l'accessibilità fisica nei veicoli e nelle stazioni

Per quanto riguarda l'accessibilità fisica un ulteriore fattore che influenza questa può essere il sistema di pagamento della tariffa: è necessario

progettare sistemi che permettano a tutti gli utenti di acquistare o convalidare il titolo di viaggio in tempi ragionevoli abbastanza corti e nel modo più semplice possibile. La presenza di sistemi di pagamento con barriere, se non ben progettate ed implementate, può in questo caso creare problemi di accessibilità fisica.

Nel caso dell'accessibilità alle informazioni invece la caratteristica che maggiormente influenza questa è il tipo di sistema ITS installato nella rete. Infatti spesso è necessario che le informazioni relative alle linee non solo siano divulgate da schermi ma anche diffuse attraverso annunci vocali.

Visti i diversi tipi di accessibilità a cui ci si riferisce nei sistemi BRT, ne consegue che anche gli indicatori a cui ci si può riferire saranno diversi. L'accessibilità infatti può essere misurata in diversi modi:

- attraverso la conformità di norme e requisiti;
- attraverso valutazioni qualitative del sistema provenienti da persone disabili, anziani, bambini e adulti che trasportano bagagli o carrozzine;
- studiando il livello di risposta e di utilizzo del sistema da parte delle persone disabili;
- mediante la possibilità di raggiungere luoghi di lavoro, servizi, abitazioni, zone commerciali e di divertimento in intervalli di tempo ragionabili e senza essere ostacolati da barriere fisiche nell'utilizzo del BRT.

3.7 Comfort

Anche se nella classificazione degli attributi prestazionali questa caratteristica non sempre è presente, è bene analizzarla in quanto un maggior comfort di viaggio può portare ad un maggiore interesse verso il sistema. Strettamente legato al comfort risulta essere la capacità del sistema. Infatti, come si vedrà in seguito, la capienza dei veicoli viene determinata in modo tale da garantire un certo livello di comfort all'interno dell'abitacolo e ciò influenza, indirettamente, la capacità del sistema.

Le maggiori caratteristiche che influiscono sul comfort non solo dipendono dalle configurazioni dei veicoli ma anche dall'aspetto delle stazioni. Questa caratteristica infatti può essere influenzata da elementi come la pulizia, la presenza di dotazioni rivolte agli utenti, lo spazio necessario all'utente in piedi e a sedere, e l'ambiente in cui si trova la stazione. Elementi strettamente dipendenti dalla configurazione del veicolo che incidono sul comfort di viaggio sono invece la disposizione dei posti a sedere, l'abilità dei passeggeri in piedi di potersi muovere, la temperatura interna, la ventilazione ed il livello di rumore e di vibrazione.

Ne consegue pertanto che sistemi BRT che presentano migliori veicoli e stazioni puntano ad un elevato livello di qualità in termini di comfort.

Molto spesso però accade che lungo una stessa linea si possano avere sia stazioni dotate di ogni comfort che semplici pensiline identificative della fermata. Nonostante queste premesse e la determinazione degli elementi che potrebbero migliorare il comfort di viaggio, in molti casi, il livello di comfort ottenuto dal sistema è del tutto paragonabile a quello che si ha nei sistemi di autobus convenzionali.

3.8 Capacità

Quando si parla di capacità del sistema ci si riferisce al numero massimo di persone, o di veicoli, che possono essere movimentati oltre un punto da una linea BRT o da un sistema di trasporto pubblico generico sotto determinate condizioni. E' necessario garantire un'adeguata capacità lungo tutto uno specifico corridoio in quanto può capitare che, in alcune aree esterne alla rete metropolitana centrale, possano esserci problemi dovuti alla capacità. Infatti, punti in cui la domanda di trasporto eguaglia o addirittura supera la capacità, oltre a rappresentare una criticità del sistema, influiscono anche sulla qualità generale del servizio: l'affidabilità tende a soffrire, la velocità a diminuire ed il carico di passeggeri ad aumentare.

La capacità è uno degli attributi fondamentali che rende questo sistema in grado di competere con gli altri sistemi di trasporto collettivo, proprio per questo è necessario considerare diversi problemi legati ad essa.

Il primo problema è dovuto dalla *limitata capacità fisica di alcuni collegamenti critici o di particolari sezioni (come per esempio i colli di bottiglia) presenti nel sistema*. In questo caso la capacità del sistema viene determinata considerando:

- la capacità dei veicoli (passeggeri)
- la capacità delle stazioni (veicoli e passeggeri)
- la capacità delle vie di marcia (veicoli)

L'elemento che tra questi maggiormente limita l'avanzamento, e quindi la velocità del sistema, sarà l'attributo che dovrà maggiormente essere controllato in prossimità dei punti critici della rete.

Il secondo problema riguarda la *differenza che intercorre tra capacità del sistema e domanda di trasporto relativa al sistema stesso*. Si ricorda infatti che la capacità rappresenta una misura del numero massimo stimato di passeggeri che potrebbero essere serviti da una particolare linea BRT, mentre la domanda è il numero effettivo di passeggeri che utilizzano la linea; da queste caratteristiche si può ottenere una quantità che misura la capacità di utilizzo della rete.

Terzo ed ultimo problema riguarda *l'interdipendenza tra capacità e livello di servizio (LOS) del BRT*. I parametri del livello di servizio che influenzano anche la capacità sono:

- affidabilità del servizio (in termini di frequenza, periodo e copertura)
- livello di comfort (misurato attraverso la densità in piedi)
- tempo di viaggio

Fatta questa premessa, nello studio della capacità dei sistemi BRT ci si riferisce pertanto ai due aspetti ben distinti di questa, ovvero alla capacità di persone ed alla capacità di veicoli. La capacità di persone viene definita come il *“numero massimo di passeggeri che possono essere trasportati lungo una sezione critica del percorso BRT in un dato periodo di tempo, sotto specifiche condizioni operative, senza significativi ritardi, pericoli o restrizioni e con ragionevole certezza”* (TCRP- Transit Capacity and Quality of Service Manual); la capacità veicolare invece viene definita come *“il numero*

massimo di veicoli che possono passare una data postazione in un determinato periodo di tempo” (Kittelson & Associates Inc.).

L'influenza dei diversi elementi del sistema determina diverse dimensioni di capacità ovvero (Figura 3.3):

- la massima capacità – massima capacità teorica determinata dalle caratteristiche fisiche del sistema (cioè dai veicoli o dalle infrastrutture)
- la capacità di progetto – è la massima capacità ridotta a causa di norme e politiche legate al comfort dei passeggeri, alla sicurezza e alla gestione.
- la capacità operativa – capacità reale determinata attraverso la frequenza del servizio e la dimensione dei veicoli utilizzati.

E' importante sottolineare come la capacità operativa può effettivamente essere minore di quella massima, questo accade perché spesso i sistemi BRT operano con frequenze minori e con veicoli più piccoli di quelli con cui si è determinata la massima capacità.

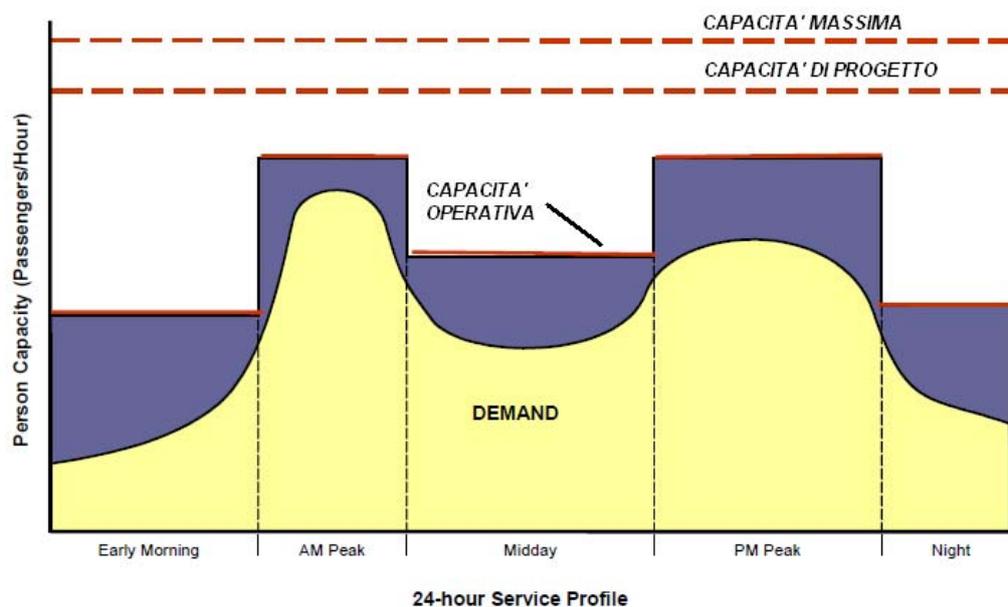


Figura 3.3 – Capacità massima, di progetto e operativa in relazione alla domanda nella progettazione di un sistema di trasporto pubblico (Fonte: FTA)

Solitamente i sistemi BRT si trovano a dover soddisfare una domanda di trasporto molto alta (circa di 20.000 pass/h per direzione o più) e ciò richiede pertanto l'uso di veicoli ad elevata capacità. La massima capacità lungo una determinata direzione viene pertanto determinata considerando sia la capienza dei vicoli che la capacità dei veicoli lungo l'infrastruttura, la quale dipende strettamente dalla configurazione delle vie di marcia, dalla configurazione delle stazioni e dalla configurazione dei veicoli. Infine per la determinazione di questa capacità è necessario conoscere la caratterizzazione della domanda di passeggeri in termini di distribuzione, di lunghezza dei viaggi e di passeggeri in ingresso e in uscita alle stazioni.

3.8.1 Analisi sul calcolo della capacità del sistema

Come precedentemente definito la capacità di sistema di trasporto determina il massimo numero di unità (veicoli o persone a seconda dell'unità a cui ci si riferisce) che possono passare, in un ora, oltre un determinato punto del percorso. Per il calcolo di questa in genere è necessario conoscere la frequenza del servizio, ovvero il numero di veicoli che passano in un intervallo di tempo di un ora, oltre un punto determinato del percorso. Poiché in genere la durata del servizio è maggiore in prossimità delle stazioni piuttosto che in altri punti del percorso (in quanto in prossimità delle fermate vengono fatti imbarcare e sbarcare i passeggeri dal mezzo), la capacità dei sistemi di trasporto pubblico viene fortemente influenzata dalla capacità delle stazioni, o meglio, dai "lunghi" tempi di sosta che qui si verificano.

Per la determinazione di tale capacità massima si partirà pertanto dal calcolo della **capacità veicolare delle fermate**, ovvero dal numero di veicoli che in un ora possono fermarsi in una stazione. Il numero di autobus all'ora per il singolo ancoraggio può essere determinato attraverso le seguenti formule:

- flusso ininterrotto
$$C_b = \frac{3600}{(1+C_v Z)+t_c} \quad (2)$$

- flusso interrotto
$$E_b = \frac{3600(g/C)}{t_s(g/C+C_v Z_a)+t_c} \quad (3)$$

Dove g = tempo di verde

C = lunghezza del ciclo

C_v = coefficiente di variazione tempi di sosta ($\sim 0,6$)

t_s = tempo di sosta (medio)

t_c = media tra il tempo in cui il veicolo lascia la fermata ed il tempo in cui il veicolo successivo può entrare alla fermata

Z_a = parametro che considera che la coda sia distribuita secondo una variabile normale standard (valori tabulati)

Il tempo di sosta viene calcolato in funzione del tempo necessario a salire e a scendere dal veicolo impiegato dal singolo passeggero, e quindi dipenderà anche dal numero e dalla disposizione delle porte del mezzo e dal sistema di pagamento della tariffa presente (1).

Per come viene definito il parametro Z_a questo rappresenta la percentuale di fallimento ovvero, la probabilità che non si formi una coda di autobus dietro il veicolo in sosta (tabella 3.1).

Failure Rate	Z_a
1.0%	2.330
2.5%	1.960
5.0%	1.645
7.5%	1.440
10.0%	1.280
15.0%	1.040
20.0%	0.840
25.0%	0.675
30.0%	0.525
50.0%	0.000

Tabella 3.1 – Valori di Z_a in funzione della percentuale di fallimento
(Fonte: TCRP Report 100)

Se la piattaforma della stazione prevede più ancoraggi, le equazioni (2) e (3) andranno moltiplicate per il numero effettivo di ancoraggi presenti:

$$C_v = C_b N_b \quad (4)$$

Dove N_b viene tabulato (Tabella 3.2) a seconda della configurazione della stazione.

Loading Area #	On-Line Loading Areas		Off-Line Loading Areas	
	Efficiency %	# of Cumulative Effective Loading Areas	Efficiency %	# of Cumulative Effective Loading Areas
1	100	1.00	100	1.00
2	85	1.85	85	1.85
3	60	2.45	75	2.60
4	20	2.65	65	3.25
5	5	2.70	50	3.75

NOTE: On-line values assume that buses do not overtake each other.

Tabella 3.2 – Valori del coefficiente N_b (Fonte: TCRP Report 100)

Nota la capacità veicolare si è in grado di determinare la **capacità di passeggeri alle fermate** attraverso l'espressione:

$$P_b = C_v B \quad (5)$$

Dove: B = passeggeri saliti a bordo per bus

C_v = capacità veicolare della stazione (bus/h)

P_b = capacità di passeggeri alla fermata (pass/h)

A influenzare i tempi di sosta sono, in genere, il numero di passeggeri che salgono a bordo pertanto, noti i volumi di passeggeri imbarcati oppure i tempi di sosta, la (5) è facilmente determinabile.

Per la definizione di capacità del sistema data, quella che ci interessa conoscere è la **capacità massima di passeggeri trasportati** lungo un determinato percorso. Tale capacità è determinata dal numero di autobus che passano attraverso la fermata maggiormente impegnata, dai passeggeri imbarcati che vengono serviti e dall'abilità di ricevere ulteriori passeggeri tra questa fermata e la massima sezione di carico. Per questo motivo conoscere la distribuzione dei passeggeri alle stazioni, lungo tutto il percorso, diventa significativo come il carico di passeggeri trasportabili per autobus. In genere è la massima sezione di carico a stabilire la frequenza di autobus di un corridoio, ma anche conoscere la distanza tra le fermate e la capacità in ogni singola stazione permette di determinare la medesima frequenza. Infatti il volume massimo di passeggeri nell'ora di punta può essere stimato in funzione del numero di autobus che possono essere processati in prossimità della stazione maggiormente trafficata, assumendo l'ipotesi che ciascun mezzo saturo il carico di progetto quando raggiunge il punto di massimo

carico. Pertanto la capacità di persone trasportate lungo un determinato percorso (o linea) nel suo massimo punto di carico, in determinate condizioni, è determinata dal prodotto tra il massimo carico di passeggeri consentito per autobus ed il numero di autobus che passano attraverso la fermata controllata:

$$P_{mlp} = P_{max} f_{mlp} (PHF) \quad (6)$$

Dove: P_{mlp} = capacità di persone trasportate lungo una linea nel suo massimo punto di carico sotto determinate condizioni (pass/h)

P_{max} = capienza massima autobus (pass/bus)

f_{mlp} = frequenza determinata (bus/h)

Esprimere tale capacità in questi termini è appropriato solo nel caso in cui si operi in condizione di carichi dispersi, proprio per questo motivo, una premessa più realistica sarebbe quella di considerare i passeggeri elaborati alla fermata maggiormente trafficata come rappresentativi di una percentuale di flusso della massima sezione di carico. In questo modo se Q rappresentasse il numero di passeggeri imbarcati alla determinata fermata di riferimento, inteso però in termini percentuali rispetto al totale, i volumi di passeggeri, oltre il punto di carico più trafficato, potrebbero essere ottenuti come percentuale dei volumi di picco di passeggeri imbarcati alle fermate maggiormente trafficate.

Infine la massima capacità di persone di una linea nel suo massimo punto di carico può essere determinata dalla massima capacità veicolare delle corsie ovvero:

$$P_{mlp,max} = P_{max} B \quad (7)$$

$$B = B_0 \gamma \eta \lambda n' \quad (8)$$

Dove B è la capacità veicolare della corsia (bus/h) calcolata considerando la capacità teorica della corsia (B_0) e diversi fattori di aggiustamento che tengono conto rispettivamente dell'eventuale interferenza con biciclette, della larghezza della strada, della presenza di intersezioni a traffico misto, e del numero di corsie.

Nel caso in cui le fasce di sorpasso in prossimità delle stazioni siano condivise con un traffico veicolare misto, è necessario ridurre del 10-20% il valore di capacità ottenuto.

Considerando le formule viste per il calcolo della massima capacità veicolare in prossimità delle stazioni e facendo una stima della stessa considerando stazioni di tipo on-line, con diversi numeri di approdi, per diverse percentuali di verde efficace e diversi tempi di sosta è possibile ottenere i valori presenti in tabella 3.3. Nel calcolo svolto sono stati considerati i seguenti valori:

- t_c pari a 15 secondi
- Z_a pari a 0,675
- C_v pari a 0,6

Numero di approdi

Tempo di sosta (s)	1		2		3		4		5	
	g/C									
	0.5	1.0	0.5	1.0	0.5	1.0	0.5	1.0	0.5	1.0
30	43	63	79	117	105	154	113	167	115	170
60	26	36	48	67	64	89	69	96	70	98
90	19	25	35	47	46	62	49	67	50	69
120	15	20	27	36	36	48	39	52	39	53

Tabella 3.3 – Valori stimati della massima capacità veicolare nel caso di stazioni on-line

Come si può notare dal grafico (Figura 3.4) un aumento del numero di approdi permessi, ha un effetto minore sulla capacità piuttosto che nella riduzione dei tempi di sosta.

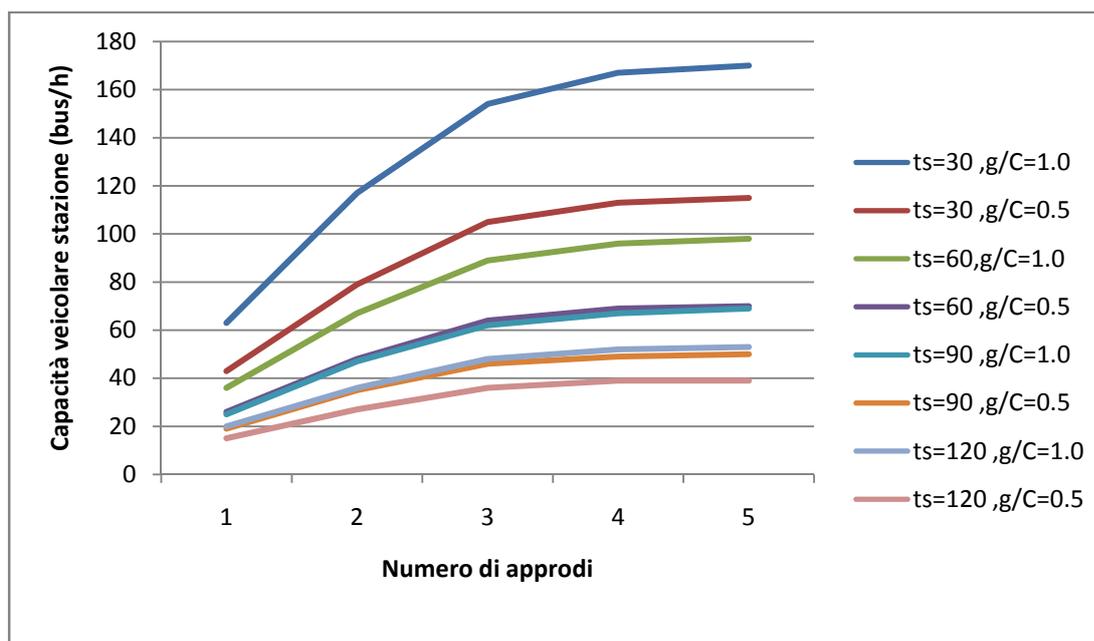


Figura 3.4 – Massima capacità veicolare delle fermate in funzione dei tempi di sosta e del numero di approdi permessi

Di fatto quindi si può notare come la capacità del sistema BRT sia influenzata da tutte e sette le caratteristiche individuate. Questo fatto sottolinea come tutti gli elementi del sistema non solo sono focalizzati a migliorare la qualità del servizio ma, in larga misura, anche a migliorare la capacità. Per capire meglio quali sono nello specifico gli elementi che influenzano la capacità veicolare e la capacità di persone si rimanda al grafico in figura 3.5.

Diversi studi svolti sulla capacità dei sistemi BRT su strade a traffico misto e su percorsi con un alto grado di separazione, hanno evidenziato come per ottenere una capacità elevata su percorsi a traffico misto, è necessario mantenere un costante e ben fissato intervallo tra due successivi veicoli. Inoltre maggiore è il grado di separazione del sistema dal traffico misto e maggiori sono i provvedimenti presi in prossimità delle stazioni (presenza di corsie di sorpasso per i veicoli che non effettuano la fermata, presenza di sistemi che aiutano la salita e la discesa dal veicolo, ecc..), più la capacità migliora.

Da questa analisi inoltre viene evidenziato come linee BRT aventi una distribuzione di passeggeri che si imbarcano uniformemente lungo tutto il percorso, permette di avere capacità maggiori piuttosto che quelle che si otterrebbero se il picco di passeggeri calcolato fosse concentrato solo in alcune fermate.

Come precedentemente affermato, nella progettazione di un sistema BRT non sempre viene considerata la massima capacità. Infatti, da questa analisi, si capisce che progettare sistemi basandosi sulla massima capacità tenderebbe ad affaticare il sistema e non consentirebbe variazioni di domanda o di funzionamento, pertanto una progettazione che consideri la massima capacità è pertanto da evitare.

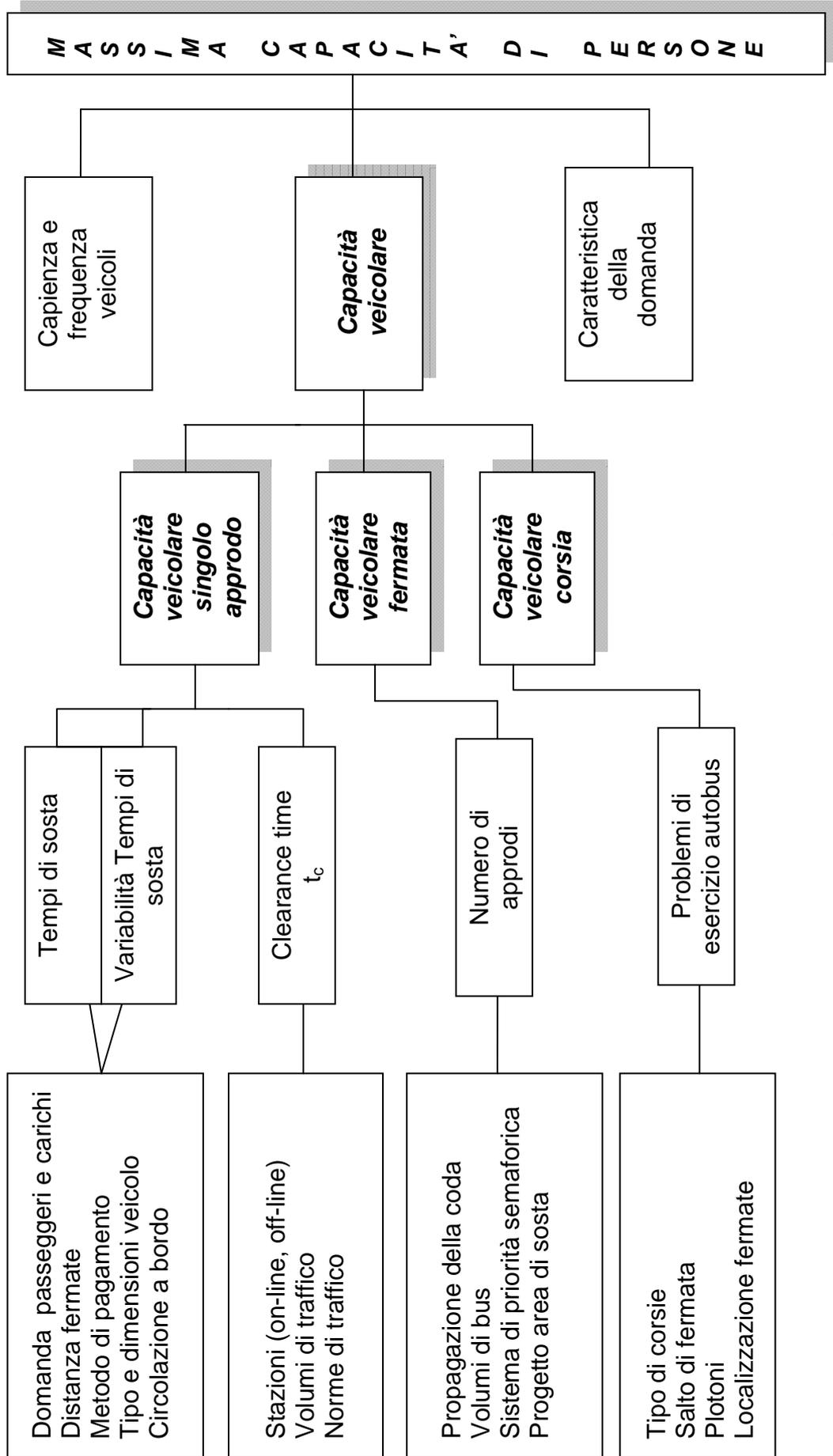


Figura 3.5 – Elementi che influenzano il calcolo della capacità veicolare e di persone

3.8.2 Carico di passeggeri e capienza dei veicoli

Dal punto di vista della capacità, il carico di passeggeri ammessi su un autobus limita fortemente il numero di persone che un dato numero di veicoli possono trasportare. Dal punto di vista dei passeggeri invece, la capienza del mezzo riflette direttamente il livello di comfort a bordo, sia in termini di essere in grado di trovare un posto a sedere che in termini di affollamento generale all'interno del mezzo. Con lo scopo di fornire un servizio ad alta velocità confortevole sulle lunghe distanze, le agenzie di transito possono cadere nell'errore di impostare il carico consentito al mezzo a livelli inferiori rispetto a quelli che realmente i mezzi potrebbero tollerare. Ciò inevitabilmente porta a degli effetti sulla capacità dell'intero sistema.

Il carico passeggeri rappresenta semplicemente il numero di passeggeri trasportabili su un singolo mezzo. Nel calcolo della capacità spesso, per indicare quanto il veicolo è occupato rispetto alla sua capienza di progetto massima, viene utilizzato un coefficiente di occupazione variabile; in genere un fattore di 1,0 indica che tutti i posti sono occupati. In tabella 3.4 vengono riportati alcuni valori tipici di capienza dei veicoli a seconda del tipo di mezzo utilizzato. I valori di capienza forniti in questo caso considerando che la capienza massima sia circa il 150% dei posti a sedere. Questi ultimi sono stati definiti considerando un coefficiente di densità di $0,3 \text{ m}^2/\text{passeggero}$ (che è un valore piuttosto basso per ottenere un discreto livello di comfort).

Lunghezza [m]	Larghezza [m]	Altezza Pianale [cm]	Numero Porte	Posti a sedere *	Capienza
12,2	2,45 - 2,6	33 - 92	2 - 5	35 - 44	50 - 60
13,8	2,45 - 2,6	34 - 92	2 - 5	35 - 52	60 - 70
18	2,5 - 2,6	35 - 92	4 - 7	31 - 65	80 - 90
24	2,5 - 2,6	36 - 92	7 - 9	40 - 70	110 - 130

Tabella 3.4 – Capienze a confronto per diverse dimensioni dei veicoli BRT

* il numero di posti a sedere include anche i posti adibiti alle sedie a rotelle

Spesso però la politica di trasporto adottata non considera questi valori di capienza che teoricamente potrebbero essere offerti, ma valori inferiori. Considerare valori di capienza superiori, che quindi considerano coefficienti

di densità inferiori a $0,3 \text{ m}^2/\text{passaggero}$, causerebbe diversi problemi non solo di comfort ma anche di capacità del sistema. Infatti se da una parte verrebbe massimizzata la capienza, dall'altra parte si avrebbero problemi legati alla circolazione dei passeggeri all'interno del mezzo che causerebbero maggiori tempi di sosta alle fermate, con conseguente diminuzione della capacità del sistema. Ovviamente maggiore è il valore del fattore di densità, migliore è il comfort all'interno del mezzo; in generale nella progettazione si considerano valori di questo coefficiente pari a $0,4 \text{ m}^2/\text{passaggero}$.

3.8.3 Confronto sulle capacità dei diversi sistemi di trasporto pubblico

La capacità dei passeggeri ed i costi sono i fattori fondamentali che, in genere, si considerano nelle decisioni relative a quale sistema di trasporto pubblico adottare. Proprio per questo motivo, in questa sezione, viene ulteriormente approfondita la capacità dei sistemi BRT, ponendo questa in relazione alle capacità che si hanno nei diversi sistemi di trasporto pubblico maggiormente utilizzati in tutto il mondo.

Fino a qualche decennio fa la scelta di un sistema piuttosto che di un altro era determinata principalmente dalle capacità orarie delle diverse tecnologie. Nota pertanto la domanda di un corridoio e le diverse classi di capacità dei sistemi, era immediato definire quale fosse la tecnologia migliore da utilizzare. In figura 3.6 viene illustrata la visione tradizionale delle capacità dei diversi sistemi di trasporto pubblico e, come si può notare, le diverse classi di capacità, e i relativi modi di trasporto associati, sono ben distinte tra loro. Secondo questa suddivisione ogni sistema avente una domanda di passeggeri oraria per direzione superiore ai 12.000 passeggeri, necessitava della costruzione di un sistema di metropolitana pesante o di un sistema su ferro sopraelevato.

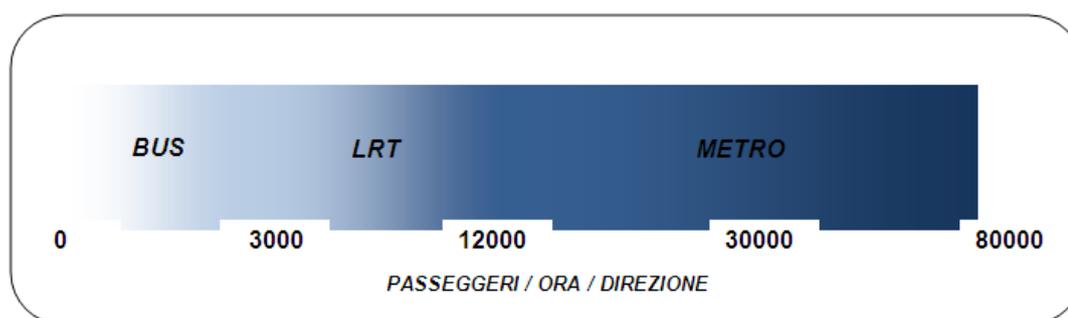


Figura 3.6 – Classi di capacità tradizionali dei diversi sistemi di trasporto pubblico

Con l'introduzione dei sistemi BRT, vista l'elevata domanda che questi riescono a soddisfare, la visione della capacità di trasporto pubblico è nettamente cambiata. Da diversi rilievi effettuati nelle diverse città in cui il sistema è operativo è risultato infatti che le diverse classi di BRT, sono in grado di coprire un ampio spettro di capacità che, a seconda della classe, può variare dai 3.000 ai 30.000 pass/h per direzione (Figura 3.7).

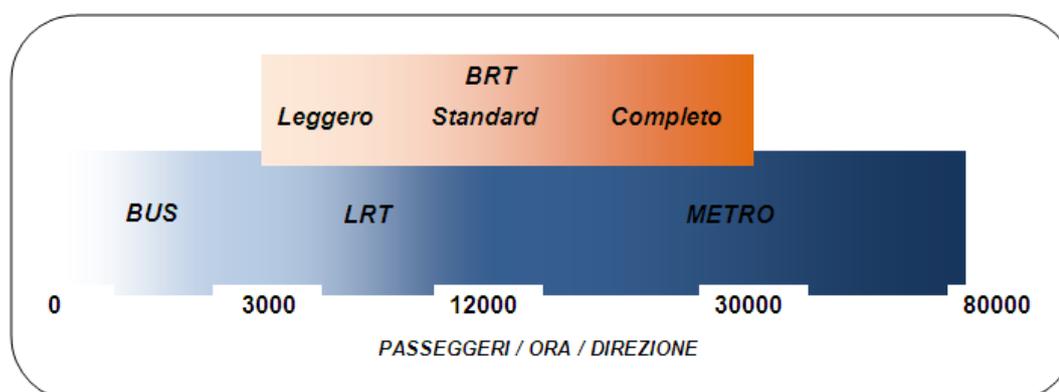


Figura 3.7– Classi di capacità dei diversi sistemi di trasporto pubblico con l'introduzione del BRT

3.9 Costi

Oltre la capacità l'altro fattore di fondamentale importanza per il progetto di un sistema BRT sono i costi. In fase di progettazione, essendo note tutte le caratteristiche che è possibile progettare e conoscendo le risorse finanziarie realmente disponibili, si è in grado di decidere se il sistema potrà essere

effettivamente realizzato o meno e soprattutto su quali elementi investire maggiormente per ottenere la massima capacità.

Quando ci si riferisce ai costi, si fa riferimento ai:

- costi capitali – includono le risorse finanziarie spese per l'acquisizione dei diritti di precedenza e per l'eventuale costruzione di apposite vie di marcia, di stazioni e di tutti quegli elementi caratteristici del sistema (veicoli, sistemi ITS, sistemi di pagamento tariffa ecc.).
- costi operativi – ovvero i costi necessari al mantenimento e al corretto funzionamento del sistema.

I costi capitali dei sistemi BRT variano notevolmente a seconda del sistema costruito infatti, più la struttura progettata è complessa e sofisticata, più la qualità del servizio aumenta e di conseguenza anche i costi capitali risultano elevati. Non è detto però che sistemi realizzati con costi più bassi non forniscano un livello di servizio accettabile e di minor successo.

Nell'immagine che segue (Figura 3.8) vengono confrontati quanto i costi capitali relativi alle diverse caratteristiche, influiscono sul costo capitale totale del sistema nei casi in cui si voglia progettare un sistema BRT di "bassa qualità" ed un sistema di BRT di maggiore qualità.

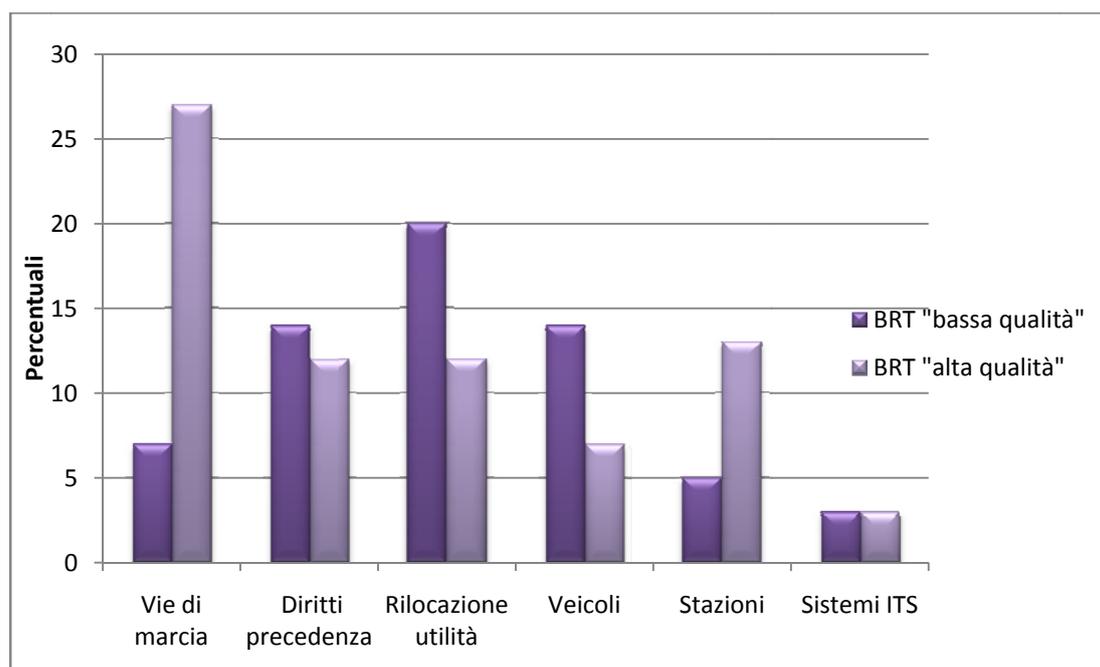


Figura 3.8 – Influenza delle caratteristiche sui costi per i diversi sistemi BRT

In virtù di ciò detto fino ad ora riguardo le caratteristiche del sistema e considerando i costi capitali, si avrà che gli elementi progettati per ottenere una maggiore qualità di servizio presupporranno costi capitali maggiori, ma allo stesso tempo, saranno anche in grado di sopportare una capacità maggiore di passeggeri. Come evidenzia il grafico la caratteristiche fisiche del sistema che maggiormente contribuiscono ad un elevata qualità e che implicano i costi maggiori sono le vie di marcia, la configurazione delle stazioni ed i tipi di veicoli utilizzati. A tal proposito nella tabella che segue (Tabella 3.5), per dare un'idea della variabilità e dell'ordine di grandezza dei costi, vengono definite le varie alternative possibili per queste caratteristiche ed i relativi costi. Si può pertanto notare come più le caratteristiche del sistema si avvicinano a quelle di un sistema BRT completo più i costi risultano essere elevati.

Noto l'ordine di grandezza dei costi capitali e dall'analisi di diversi studi presenti in letteratura è emerso che gli oneri per la realizzazione dei sistemi BRT risultano essere comunque molto più bassi rispetto a quelli dei sistemi LRT. Come mostrato in figura 3.9 i costi capitali medi per miglio variano da circa 13,5 milioni di US\$/miglio, nel caso di progetti interamente dedicati al transito dei veicoli BRT, fino ad un minimo di 680.000 US\$/miglio nel caso più semplice in cui il sistema è integrato semplicemente lungo un arteria di traffico, contro i circa 35 milioni di dollari necessari alla costruzione di un sistema LRT.

VIE DI MARCIA	
Corsie a flusso misto	<p>COST (\$ Million)</p> <p>0 15 30</p>
Corsie riservate	<p>COST (\$ Million)</p> <p>0 15 30</p>
Vie di marcia riservate a raso	<p>COST (\$ Million)</p> <p>0 15 30</p>
Vie di marcia totalmente separate	<p>COST (\$ Million)</p> <p>0 15 30</p> <p>Costi: \$ / miglio di corsia</p>
STAZIONI	
Pensiline semplici	<p>COST</p> <p>0 5 10</p>
Stazioni con diversi servizi	<p>COST</p> <p>0 5 10</p>
Centri di transito intermodali	<p>COST</p> <p>0 5 10</p>
Caratteristiche della piattaforma	
Altezza piattaforma standard	<p>COST</p> <p>L M H</p>
Altezza a livello del veicolo	<p>COST</p> <p>L M H</p>
Lunghezza singolo approdo	<p>COST</p> <p>-----</p> <p>L M H</p>
Lunghezza due approdi	<p>COST</p> <p>L M H</p>
Lunghezza per più approdi	<p>COST</p> <p>L M H</p>
Corsia di sorpasso	<p>COST</p> <p>L M H</p> <p>Costi: L= bassi, M=medi, H=elevati</p>
VEICOLI	
Autobus convenzionali	<p>COST</p> <p>0 0.8 1.6</p>
Autobus di design	<p>COST</p> <p>0 0.8 1.6</p>
Autobus autoarticolati convenzionali	<p>COST</p> <p>0 0.8 1.6</p>
Autobus autoarticolati design	<p>COST</p> <p>0 0.8 1.6</p>
Autobus specializzati	<p>COST</p> <p>0 0.8 1.6</p> <p>Costi intesi a veicolo</p>

Tabella 3.5 – Elementi caratteristici e relativi costi

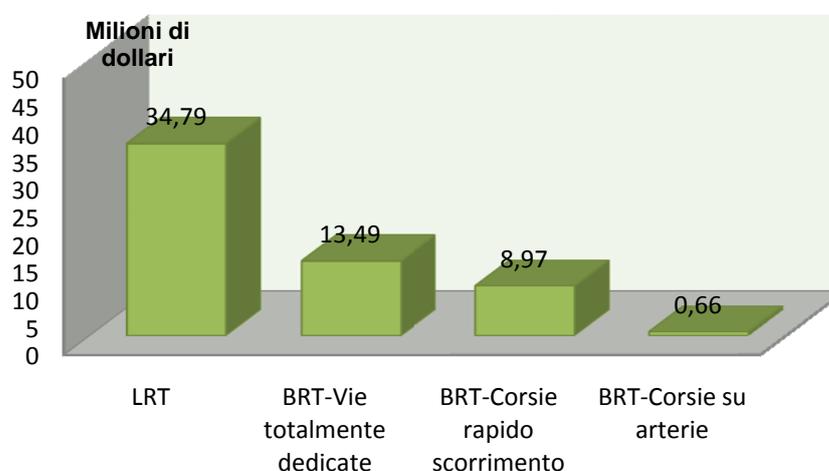


Figura 3.9 – Confronto costi capitali LRT-BRT

I costi capitali di questi sistemi risultano essere competitivi anche se confrontati con altri sistemi di trasporto, aventi maggiori capacità. Recenti studi effettuati sulla fattibilità dei diversi sistemi di trasporto in città in via di sviluppo, hanno evidenziato come i sistemi BRT prevedono costi capitali variabili dai 0.5 ai 15 US\$/km. Considerando che, in termini di capacità, questi sistemi sono in grado di competere con molteplici sistemi che vanno dai tradizionali tram a sistemi più complessi come metropolitane, e considerando i costi di questi sistemi (Tabella 3.6), è evidente come il BRT permetta nettamente un elevato risparmio, soprattutto se le prestazioni ottenute sono analoghe a quelle che si otterrebbero negli altri casi.

SISTEMA	COSTI CAPITALI (US\$/KM)
Tram	10-25 milioni
Light Rapid Transit (LRT)	15-40 milioni
Sistemi suburbani su ferro	25-60 milioni
Sistemi su ferro sopraelevati	50-125 milioni
Metropolitane	50-320 milioni

Tabella 3.6 – Costi capitali dei diversi sistemi (US\$2006)

3.10 Benefici potenziali

La misura ed il modo con cui ciascuna caratteristica influenza gli attributi prestazionali determina i benefici potenziali che il sistema dovrebbe presentare.

I principali benefici che ci si attende dalla realizzazione di un sistema BRT sono strettamente connessi all'affidabilità, alla frequenza ed alla velocità commerciale, e sono:

- un miglioramento dei tempi di viaggio,
- un aumento dell'utenza,
- minori costi capitali e di funzionamento
- migliore qualità ambientale.

L'*economia dei tempi* di viaggio è soprattutto dovuta al tipo di vie di marcia che si hanno, al tipo di stazioni considerate, alle tecnologie che permettono tempi di imbarco più veloci e ai sistemi ITS presenti lungo la tratta. Il tempo per collegare tra loro due aree centrali della metropoli, può diminuire fino al 50% se la linea viaggia su vie totalmente dedicate a lei e/o che presentano un sistema di precedenza semaforica nei tratti in cui il veicolo interferisce con il traffico veicolare.

L'introduzione di questo modo di trasporto, che spesso risulta una valida alternativa ai sistemi LRT, dovrebbe portare ad un *aumento dell'utenza* che potrebbe essere spinta a provare questo sistema per i bassi tempi di viaggio che promette. L'immagine di un sistema del tutto simile a quello convenzionale di autobus, ma che presenta caratteristiche più attrattive e veicoli più caratteristici e di design dovrebbe contribuire ad attrarre potenziali utenti anche solo per curiosità. Inoltre la sicurezza di non avere tempi di attesa alla fermata elevati e la possibilità di potere avere sempre informazioni in tempo reale sull'arrivo del veicolo, potrebbe potenzialmente attrarre un maggior numero di passeggeri.

Uno dei benefici principali che si dovrebbero verificare riguarda i costi. Quando si parla di *riduzione dei costi* non ci si riferisce solo ai minori costi capitali necessari alla realizzazione, ma ci si riferisce anche ai costi di funzionamento e manutenzione. A causa delle elevate frequenze di servizio

e della maggiore capienza dei mezzi utilizzati la domanda di trasporto potrebbe essere soddisfatta utilizzando un minor numero di veicoli che quindi porterebbero ad una riduzione dei costi operativi.

Infine l'aumento dell'utenza e l'uso di veicoli moderni che permettono minori emissioni di CO₂ porterebbero senz'altro ad un miglioramento della qualità ambientale. Infatti le riduzioni di CO₂ non solo sarebbero dovute dall'uso di veicoli non inquinanti ma anche dal minor numero di utenti che, indirizzati verso questo modo di trasporto, utilizzerebbero in minor misura mezzi di trasporto privato.

3.11 Conclusioni

Dall'analisi svolta in questa sezione è risultato che ciascun attributo prestazionale è influenzato fortemente da tutte, o solo da alcune, delle caratteristiche principali del sistema; per riassumere quali particolari caratteristiche influenzano ciascun attributo si rimanda alla tabella 3.7.

Da questo studio è inoltre emerso che dagli attributi prestazionali del sistema è possibile determinare quali sono le caratteristiche e le particolarità che determinano quantitativamente le prestazioni del sistema stesso. Infatti le caratteristiche prestazionali degli esistenti sistemi BRT vengono misurate considerando principalmente il numero di passeggeri trasportati e la velocità media di viaggio. Per quanto riguarda la prima caratteristica, questa può essere misurata considerando:

- il numero di passeggeri settimanali
- il flusso degli autobus nell'ora di picco,
- il numero di passeggeri per direzione nell'ora di picco.

La velocità è invece un parametro importante sia per la valutazione prestazionale da parte degli utenti sia da parte dei conducenti, che riflette il tipo di via di marcia sul quale viaggia il sistema, la distanza tra due successive stazioni ed il tipo di servizio fornito.

Nella valutazione delle prestazioni di un sistema di trasporto pubblico è bene considerare anche i tempi di attesa alle fermate. Nel caso del BRT questo attributo ha un'importanza più marginale. Infatti, si presume che

questo sistema operi a frequenze elevate tali per cui è possibile trascurare tale tempo che conseguentemente, verrà considerato come un attributo avente un minor peso.

ATTRIBUTI PRESTAZIONALI						
Tempo di viaggio	Affidabilità	Identità ed immagine	Safety & Security	Capacità	Accessibilità	Comfort
VIE DI MARCIA						
Localizzazione	X	X	X	X	X	
Grado separazione	X	X	X	X		
Marcatura	X	X	X			
Tipo di guida	X	X	X			
STAZIONI						
Tipo		X	X	X		X
Servizi passeggeri		X	X			X
Marcia piede	X	X	X	X	X	
Piattaforma	X	X		X	X	
Corsia sorpasso	X	X		X		
Accesso		X	X		X	
VEICOLI						
Configurazione	X	X	X	X	X	X
Estetica migliore		X	X			
Circolazione interna	X	X	X	X	X	X
Tipo di carburante	X	X				X
SISTEMA TARIFFARIO						
Convalida e verifica	X	X		X	X	
Opzioni e mezzi pagamento	X	X	X	X	X	
Struttura	X			X		
ITS						
Precedenza veicoli	X	X		X	X	
Sistema veicoli intelligenti	X	X	X	X	X	
Sistemi di gestione	X	X	X	X	X	
Sistemi info utenti	X	X	X	X	X	
Sistemi di sicurezza			X			

ATTRIBUTI PRESTAZIONALI							
	Tempo di viaggio	Affidabilità	Identità ed immagine	Safety & Security	Capacità	Accessibilità	Comfort
STRUTTURA PERCORSI							
Lunghezza Struttura		X					
Distanza fermate	X		X			X	
	X	X				X	
SERVIZI							
Frequenza	X	X		X	X		
Durata del servizio		X					

Tabella 3.7 – Riassunto di quali caratteristiche del sistema influenzano i diversi attributi prestazionali

CAPITOLO 4

APPLICAZIONI NEL MONDO

4.1 Introduzione

Negli ultimi anni, in diverse parti del mondo, molte città in via di sviluppo hanno aumentato il loro volume e, conseguentemente, ciò ha portato ad una crescita della popolazione e quindi ad un cambiamento delle necessità degli utenti dei sistemi di trasporto pubblico. Poiché spesso le amministrazioni non dispongono di risorse finanziarie necessarie alla costruzione di sistemi su ferro, sono stati progettati diverse tipologie di Bus Rapid Transit.

Come precedentemente sottolineato questi sistemi, se ben progettati, permettono il trasporto di un elevato numero di passeggeri rispetto ai sistemi di autobus tradizionali, fornendo contemporaneamente un ottimo livello di servizio, avendo minori costi sia capitali che operativi.

Non in tutte le città però l'introduzione di linee BRT ha portato i benefici attesi. Nelle sezioni che seguono infatti, dopo aver brevemente accennato alla storia e all'evoluzione dei moderni BRT, verranno analizzate le caratteristiche fisiche e gli attributi prestazionali di alcuni dei più importanti sistemi mondiali. Poiché i sistemi applicati in tutto il mondo sono più di cento, si è deciso di analizzare solo alcuni di questi. In particolare, si è deciso di descrivere quei sistemi che presentavano o caratteristiche particolari o comunque elevate prestazioni in termini di capacità. Per ciascuna linea è stata elaborata un'apposita tabella che mettesse in evidenza sia le caratteristiche principali del sistema, che alcuni attributi prestazionali, in modo tale da rendere più facile il confronto tra i diversi casi analizzati.

4.2 Storia ed evoluzione del BRT

Il concetto di Bus Rapid Transit non è poi così moderno come si potrebbe pensare infatti, una sorta di antenato di questo sistema, fu progettato nel 1930 a Chicago. In questa occasione si dovette studiare un piano per convertire tre linee ferroviarie di collegamento veloce in linee di autobus

espresse e, proprio con questo obiettivo, nacquero i primi corridoi esclusivi totalmente dedicati al trasporto di autobus. Questi corridoi erano presenti solo lungo le superstrade, infatti il mezzo, una volta giunto nel centro della città, operava come un normalissimo autobus locale del tempo.

Sull'esempio di Chicago, nel giro di pochi anni ed in diverse città degli Stati Uniti, si svilupparono differenti sistemi che di volta in volta prevedevano l'introduzione di alcune caratteristiche che si avvicinavano, sempre di più, a quelle dei moderni sistemi BRT. Nel 1937 a Washington DC fu progettata una linea espressa simile a quella di Chicago che prevedeva però che le fermate fossero poste ad intervalli fissi e regolari tra loro, mentre nel 1959 fu il turno di Saint Louis, nel cui progetto, rientravano piattaforme di carico passeggeri disposte a lato del corridoio. In questo modo veniva permesso il funzionamento in senso orario degli autobus e, conseguentemente, un minor tempo di viaggio. Nel 1977, a Milwaukee, fu progettato un piano di trasporto che prevedeva ben 107 miglia di linee espresse di autobus oltre che l'integrazione di un sistema di parcheggi atti a migliorare l'accessibilità. In questo caso si assistette ad un incremento, nel giro di pochi anni, della frequenza degli autobus nell'ora di picco pomeridiana.

A questi progetti ne seguirono altri in tutto il mondo che, anche se in modalità diverse, presentavano alcune delle caratteristiche tipiche del sistema in esame.

Nonostante ciò però il primo vero progetto che segnò la nascita dei BRT moderni fu quello di Curitiba nel 1974. Il progetto venne sviluppato in quanto la città, soggetta ad una crescita esponenziale della popolazione, necessitava della costruzione di un sistema metro-ferroviario. Tuttavia la mancanza di risorse economiche richiese un approccio più creativo, che portò pertanto alla nascita di questo sistema e che, ancora oggi, è considerato un riferimento mondiale. Sul successo di Curitiba nello stesso periodo si svilupparono, in diverse città del Brasile (Porto Alegre, Belo Horizonte, San Paolo), sistemi simili ma più basilari che avevano come scopo principale quello di permettere una maggiore capacità di trasporto avendo a disposizione limitate risorse finanziarie.

Negli stessi anni, alcune città del Nord America, furono soggette ad una crescita urbana che portò ad un'espansione delle città verso le zone più periferiche. Quest'urbanizzazione causò un aumento del traffico veicolare sulle principali arterie con conseguente congestione di esse. Poiché le zone periferiche non erano ben collegate ai centri metropolitani, e soprattutto ai distretti economici e commerciali delle città, in questi anni nacque l'esigenza di sviluppare sistemi di trasporto pubblico che collegassero in maniera veloce le zone periferiche ai diversi distretti. In questo contesto, pertanto, si svilupparono i primi sistemi BRT che emersero sottoforma di corsie riservate su vie a scorrimento veloce (Los Angeles - *Wilshire-Whittier e Ventura Boulevard Lines*).

Sempre nel medesimo periodo anche in Europa iniziarono a svilupparsi sistemi simili che prevedevano però una guida vincolata. L'esempio più importante risulta quello della città tedesca di Essen che, nel 1980, rese operativo il sistema O-Bahn. Presto il sistema fu applicato anche oltre oceano infatti, la città di Adelaide, fu la prima al mondo ad applicare alcune delle caratteristiche tipiche dei primi sistemi BRT ad un sistema a guida vincolata, con lo scopo principale di ottenere un sistema di collegamento punto a punto, che potesse massimizzare anche la capacità. Successivamente i sistemi a guida vincolata vennero applicati in diverse città inglesi (Leeds, Bradford e Ipswich) ma visti gli elevati costi che la costruzione dell'infrastruttura richiedeva, non si ottennero ulteriori sviluppi.

I sistemi BRT più simili a quello di Curitiba riapparvero negli anni novanta, con lo scopo principale di incrementare sia la capacità che la velocità. Nel giro di pochi anni, in molte città del Nord e del Sud America, i sistemi BRT furono soggetti ad un incremento esponenziale. Di fondamentale importanza, sia per le caratteristiche fisiche che prestazionali che lo identificano, risulta essere il sistema di Bogotá (*TransMilenio*) il quale rappresenta, ad oggi, il sistema avente la maggiore capacità. Come mostrato in figura 4.1, a partire dalla costruzione di questo sistema, si ebbe un'impennata nell'applicazione dei BRT in tutto il mondo, infatti, dati aggiornati all'anno 2010 individuano circa 120 sistemi operativi in tutto il

globo, ed almeno 50 in via di progettazione. Questo sviluppo segnò inevitabilmente la nascita di sistemi BRT aventi caratteristiche diverse tra loro, e quindi, la necessità di raggruppare questi in diverse classi (vedi paragrafo 2.8).

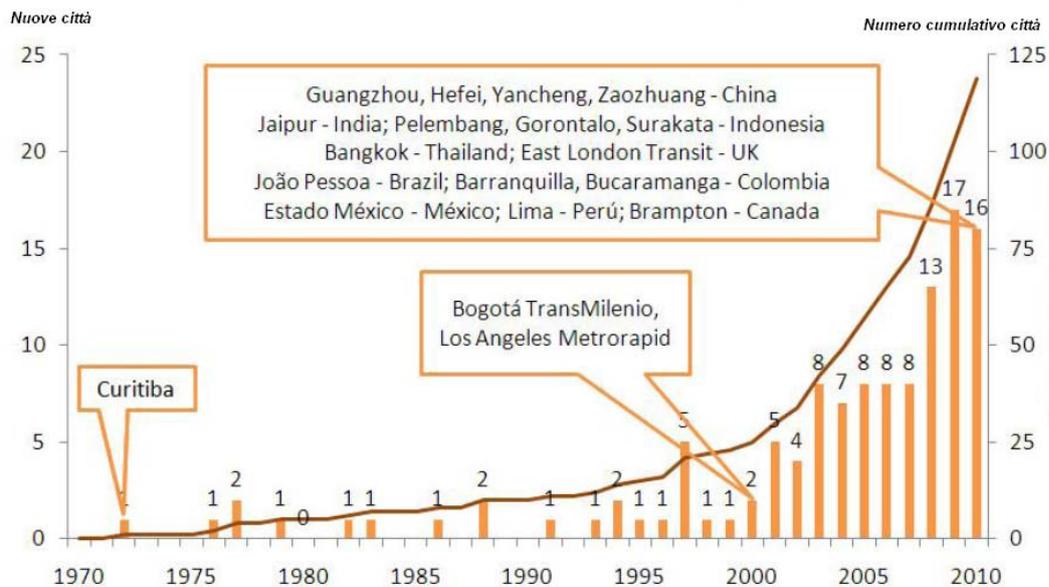


Figura 4.1 – Costruzione dei sistemi BRT nel mondo
(Fonte: Hidalgo et al.,2010)

Un discorso a parte deve essere fatto per i sistemi BRT europei. Mentre in gran parte delle città mondiali, negli anni novanta, venivano sempre più applicati questi innovativi sistemi di trasporto pubblico, in Europa, ci si concentrava maggiormente sullo sviluppo dei sistemi su ferro (metropolitana e tram), sia per soddisfare le esigenze di un trasporto di massa ampliato, sia per favorire una ristrutturazione ed una rigenerazione urbana. Solo negli ultimi anni il trasporto pubblico europeo ha posto la sua attenzione su sistemi di tipo BRT, che sono emersi principalmente per la loro flessibilità piuttosto che per la loro elevata capacità.

Nell'ultimo decennio i sistemi BRT stanno trovando largo impiego in diverse parti del mondo, soprattutto nei paesi in via di sviluppo. Ciò accade in quanto vengono sempre più considerati come una soluzione che permette di soddisfare domande di trasporto intermedie, senza costi di progetto elevati.

4.3 Applicazione dei sistemi BRT nel mondo

Nei seguenti paragrafi verranno brevemente illustrate le principali caratteristiche di alcuni dei più importanti sistemi BRT implementati in tutto il mondo. I diversi sistemi funzionanti non sempre presentano tutte le caratteristiche che differenziano questo sistema dagli altri sistemi di trasporto pubblico infatti, è possibile individuare una vasta gamma di strutture e servizi associate alle diverse applicazioni di BRT. Le differenze che si possono identificare per i diversi sistemi riflettono principalmente sia le specifiche necessità della popolazione, che le risorse disponibili. In virtù di ciò pertanto, per i diversi continenti, sono stati analizzati solo alcuni dei principali sistemi esistenti, i quali sono stati scelti o per le caratteristiche particolari che presentano e/o per l'elevata domanda di passeggeri che sono in grado di soddisfare.

Come precedentemente osservato, le caratteristiche principali del sistema influenzano fortemente le prestazioni dello stesso quindi, per cercare di focalizzare la presenza o meno degli elementi fondamentali, per ciascun caso analizzato, si sono utilizzate delle tabelle nelle quali sinteticamente sono state inserite:

- informazioni relative all'infrastruttura (veicoli, stazioni, presenza sistemi ITS, struttura del percorso, ecc.);
- informazioni relative alla capacità e ai parametri da cui essa dipende;
- informazioni relative al costo dell'infrastruttura.

Poiché non sempre è risultato possibile reperire per ogni singolo sistema tutte le informazioni, in alcuni casi e per alcune caratteristiche, il valore mancante è stato stimato. Dove non è risultato possibile stimare i valori si è semplicemente indicato che il dato richiesto non è disponibile.

Per una maggior chiarezza espositiva i sistemi analizzati sono stati suddivisi in base ai continenti di appartenenza.

4.3.1 U.S.A e Canada

Molti dei sistemi presenti in U.S.A e in Canada anche se sono in funzione, risultano essere ancora parzialmente in costruzione o comunque prevedono, nel breve termine, diversi progetti di ampliamento. La maggior parte di questi sistemi è stata sviluppata o in seguito ad un'elevata crescita urbana o perché, comunque, vi era la necessità di eseguire collegamenti veloci tra parti opposte della città.

I sistemi ritenuti particolarmente interessanti e pertanto analizzati, sono stati quelli di Boston, Eugene, Los Angeles, Miami, Ottawa, Pittsburgh e Vancouver. Tutti questi sistemi si differenziano tra loro per estensione, elementi caratteristici, struttura dei percorsi e costi.

Il BRT di Boston è molto importante in quanto è uno dei pochi sistemi, tra quelli analizzati, che presenta una metodologia di pagamento della tariffa prima di salire a bordo. Questo sistema, che collega l'aeroporto al centro della città, è uno dei più costosi al mondo in quanto, la maggior parte del percorso, è stato costruito in apposite gallerie.

L'*Emerald Express* (Figura 4.2) invece collega la città di Eugene con la città di Springfield. Il percorso presenta una struttura di tipo trunk-feeder, in cui il tratto di linea chiuso collega l'ospedale della città all'università, ed è completamente gratuito. Il sistema infatti prevede che il pagamento della tariffa avvenga solo lungo i corridoi in cui il percorso si apre ottenendo, in questo modo, un'utenza maggiore. Nell'analisi condotta pertanto ci si è riferiti soltanto al tratto della linea che è completamente gratuito.

Per la città di Los Angeles sono state analizzate tre linee BRT: l'*Orange Line*, la *Ventura Boulevard Line* e la *Wilshire Whitter Rapid*. L'*Orange Line* è la più rappresentativa in termini di elementi caratteristici;



Figura 4.2 – BRT a Eugene



Figura 4.3 – Stazione dell'Orange Line

infatti, oltre a presentare tutti gli elementi principali del sistema, è caratterizzata da un' immagine e da un' identità che la distinguono dagli altri sistemi di trasporto pubblico (Figura 4.3). Anche le altre due linee analizzate sono facilmente identificabili, sia per il tipo di veicoli che utilizzano che per il colore che caratterizza l'intero percorso della linea. Tutte e tre le linee sono perfettamente integrate con gli altri sistemi di trasporto pubblico, tanto da

rappresentare una sorta di estensione del servizio ferroviario e metropolitano della città.

Il sistema *Miami-Dade* ha molte caratteristiche che ricordano i BRT dell'*Orange Line* ed è stato sviluppato lungo uno dei principali corridoi della città di Miami. Al momento è operativo ma si sta progettando un'ulteriore estensione. Viaggia su vie di marcia totalmente dedicate a lui e quasi tutte le stazioni sono dotate di servizi integrativi come parcheggi di tipo park and ride.

Il *Transitway* di Ottawa costituisce il primo sistema BRT costruito fuori dall'America Latina. La maggior parte del percorso della linea è separato dal resto del traffico veicolare ed è su strade a scorrimento veloce; solo in prossimità del centro città si hanno tratti di corsie condivise con altri sistemi di trasporto pubblico. Il sistema risulta ben integrato nell'ambiente e tutte le stazioni che presenta sono di tipo "on-line", dotate però di sottopassaggi pedonali per evitare conflitti pedoni/veicoli, visti gli elevati volumi di autobus che frequentano la strada.

Il sistema di Pittsburgh invece (Figura 4.4) è stato costruito principalmente sulla vecchia linea ferroviaria. La prima linea a nascere nel 1977 fu la *South Busway* che, sulla base del BRT di Curitiba, prevedeva il collegamento tra la prima periferia ed il centro della città, caratterizzato da un elevato livello di congestione. Successivamente, nel 1983, venne inaugurata

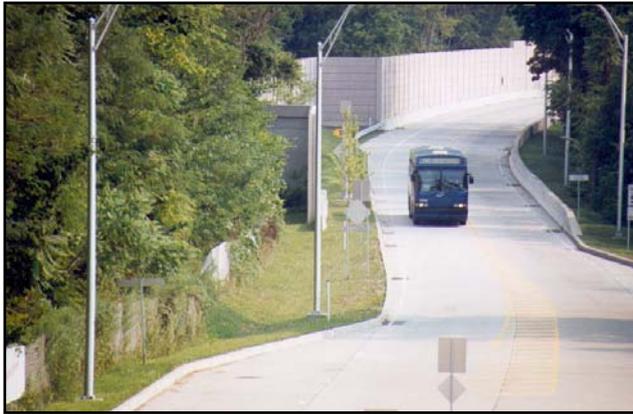


Figura 4.4 – BRT a Pittsburgh

la *East Busway* la quale inizialmente era lunga 11 km, e che, nel 2003, è stata ulteriormente allungata di 4 km. Infine nel 2000 è stata inaugurata la *West Busway*, linea più recente, identificata dal colore verde e corredata da circa 2800 parcheggi

automobilistici e sistemi park and ride lungo tutto il suo percorso. Tutte e tre le linee operano con un servizio “all day” e appartengono a diversi corridoi in cui circolano diverse linee, sia di autobus che di LRT.

Infine la *Broadway B-Line* di Vancouver collega la parte est alla parte ovest della città. Dal 2000 al 2007, è stata operativa, in via sperimentale, la *Richmond B-Line* che prevedeva, oltre che l’uso di dispositivi ITS altamente tecnologici, il collegamento nord-sud della città passando anche per la zona dell’aeroporto cittadino.

Tutte le specifiche informazioni sui sistemi appena introdotti vengono presentate in tabella 4.1

Città	Boston	Eugene	Los Angeles
Nome linea	Silver Line	EmX	Orange Line
Caratteristiche principali			
Vie di marcia			
Separate	x	x	parziale
Condivise			
Rete integrata linee	x	x	x
Intersezioni a livelli differenti	In tunnel		
Stazioni			
Intermodali	x	x	x
Vie di sorpasso			
Piattaforma a livello			parziale
Distanza media	1130 m	530 m	1600 m
Numero	11	8	14
Veicoli			
Tipologia di veicoli	Articolato e standard	Articolato	Articolato
Tecnologia a basse emissioni	ibrido	Ibrido elettrico	GNC
Capacità (pass/veicolo)	104	120	120
Pianale ribassato		x	x
Sistemi che agevolano imbarco/sbarco		x	
Tariffa			
Riscossione/verifica pre imbarco	x		x
Sistemi automatici riscossione e/o verifica	parziale		x
Tecnologia pagamento	contanti/ carta magnetica	servizio gratuito	contanti/ carta magnetica
Struttura percorsi			
Numero corridoi	1	1	1
Numero linee nei corridoi	4	1	1
Lunghezza corridoi tot.	11,3 km	6,44 km	22,7 km
Sistemi ITS			
Sistema AVL veicoli	x		x
Priorità semaforica		x	x
Numero intersezioni		24	35
Servizi			

<i>Sistemi informativi utenti</i>	x	x	x
<i>Integrazione modale servizi (parcheggi per veicoli e biciclette, ecc.)</i>	x	x	x

Attributi prestazionali

<i>Capacità massima di persone (passeggeri/ora/direzione)</i>	8600	2700	952
<i>Velocità media commerciale</i>	n.d	24 km/h	34 km/h
<i>Tempo medio di sosta</i>	24 sec	10 sec	
<i>Headway di picco</i>	3 min	10 min	5 min
<i>Headway fuori picco</i>	12 min	15 min	20 min

Ulteriori informazioni

<i>Anno di inaugurazione</i>	2004	2007	2005
<i>Costo infrastruttura (millionUS\$/km)</i>	53,20	2,80	14,9

Città	Los Angeles		Miami
	Ventura Boulevard Line	Wilshire-Whittier Rapid	South Miami
Caratteristiche principali			
Vie di marcia			
Separate			x
Condivise	x	x	
Rete integrata linee	x	x	x
Intersezioni a livelli differenti			
Stazioni			
Intermodali	x	x	x
Vie di sorpasso			x
Piattaforma a livello	parziale	parziale	
Distanza media	1716 m	1395m	920 m
Numero	15	30	21
Veicoli			
Tipologia di veicoli	Standard	Standard	Standard
Tecnologia a basse emissioni	CNG	CNG	No (diesel)
Capacità (pass/veicolo)	52	52	52
Pianale ribassato	x	x	x
Sistemi che agevolano imbarco/sbarco	x	x	
Tariffa			
Riscossione/verifica pre imbarco			
Sistemi automatici riscossione e/o verifica			
Tecnologia pagamento	Contanti/carta	Contanti/carta	Contanti
Struttura percorsi			
Numero corridoi	1	1	1
Numero linee nei corridoi	1	1	1
Lunghezza corridoi tot.	26 km	42 km	21,9 km
Sistemi ITS			
Sistema AVL veicoli	x	x	
Priorità semaforica	x	x	x
Numero intersezioni	211		tutte
Servizi			
Sistemi informativi utenti	x	x	parziale
Integrazione modale servizi (parcheggi per veicoli e biciclette, ecc.)	x	x	parziale

Attributi prestazionali			
<i>Capacità massima di persone (passeggeri/ora/direzione)</i>	750 (s)	1500	800 (s)
<i>Velocità media commerciale</i>	30 km/h	23 km/h	45 km/h
<i>Tempo medio di sosta</i>	n.d	n.d	n.d
<i>Headway di picco</i>	7 min	2 min	10 min
<i>Headway fuori picco</i>	12 min	10 min	20 min
Ulteriori informazioni			
<i>Anno di inaugurazione</i>	2000	2000	1997
<i>Costo infrastruttura (millionUS\$/km)</i>	n.d	n.d	21

(s) valori stimati

Città	Pittsburgh		
	Nome linea	South Busway	East Busway
Caratteristiche principali			
Vie di marcia			
Separate	x	x	x
Condivise			
Rete integrata linee	x	x	x
Intersezioni a livelli differenti			
Stazioni			
Intermodali	parziale	x	x
Vie di sorpasso	parziale (6)	x	x
Piattaforma a livello	x	x	x
Distanza media	627 m	1633 m	1350 m
Numero	10	9	6
Veicoli			
Tipologia di veicoli	standard	standard	standard
Tecnologia a basse emissioni	No (diesel)	No (diesel)	No (diesel)
Capacità (pass/veicolo)	50	80	50/57
Pianale ribassato		x	x
Sistemi che agevolano imbarco/sbarco	parziale		
Tariffa			
Riscossione/verifica pre imbarco			
Sistemi automatici riscossione e/o verifica			
Tecnologia pagamento	n.d	n.d	n.d
Struttura percorsi			
Numero corridoi	1	1	1
Numero linee nei corridoi	15	38	10
Lunghezza corridoi tot.	6,9 km	14,7 km	8,1 km
Sistemi ITS			
Sistema AVL veicoli	parziale	parziale	parziale
Priorità semaforica		x	x
Numero intersezioni		1	1
Servizi			
Sistemi informativi utenti	parziale	parziale	parziale
Integrazione modale servizi (parcheggi per veicoli e biciclette, ecc.)	parziale	x	x

Attributi prestazionali			
Capacità massima di persone (passeggeri/ora/direzione)	2000	5400	1700
Velocità media commerciale	35 km/h	40 km/h	40 km/h
Tempo medio di sosta	n.d	n.d	n.d
Headway di picco	2 min	4min	5 min
Headway fuori picco	8 min	8 min	20 min
Ulteriori informazioni			
Anno di inaugurazione	1977	1983	2000
Costo infrastruttura (millionUS\$/km)	3,90	12,50	31,9

Città	Ottawa	Vancouver
<i>Nome linea</i>	Transitway	Broadway B Line
Caratteristiche principali		
Vie di marcia		
<i>Separate</i>	x	x
<i>Condivise</i>	x	parziale
<i>Rete integrata linee</i>	x	x
<i>Intersezioni a livelli differenti</i>		
Stazioni		
<i>Intermodali</i>		x
<i>Vie di sorpasso</i>	condivise	n.d
<i>Piattaforma a livello</i>	parziale	
<i>Distanza media</i>	810 m	980 m
<i>Numero</i>	37	13
Veicoli		
<i>Tipologia di veicoli</i>	standard	articolati
<i>Tecnologia a basse emissioni</i>	No (diesel)	No (diesel)
<i>Capacità (pass/veicolo)</i>	50	120
<i>Pianale ribassato</i>		
<i>Sistemi che agevolano imbarco/sbarco</i>	parziale	parziale
Tariffa		
<i>Riscossione/verifica pre imbarco</i>		
<i>Sistemi automatici riscossione e/o verifica</i>	parziale	parziale
<i>Tecnologia pagamento</i>	Contanti/ carta	Contanti/ carta/ pass
Struttura percorsi		
<i>Numero corridoi</i>	3	1
<i>Numero linee nei corridoi</i>	varie	1
<i>Lunghezza corridoi tot.</i>	30 km	13 km
Sistemi ITS		
<i>Sistema AVL veicoli</i>	x	x
<i>Priorità semaforica</i>		x
<i>Numero intersezioni</i>		
Servizi		
<i>Sistemi informativi utenti</i>	x	x
<i>Integrazione modale servizi (parcheggi per veicoli e biciclette, ecc.)</i>	parziale	x

Attributi prestazionali		
Capacità massima di persone (passeggeri/ora/direzione)	10000	1000 (s)
Velocità media commerciale	40 - 80 km/h	30 km/h
Tempo medio di sosta	10-20 sec	
Headway di picco	2 min	1.5–5 min
Headway fuori picco	15 min	4.5-12 min
Ulteriori informazioni		
Anno di inaugurazione	1983	2001
Costo infrastruttura (millionUS\$/km)	8,30	n.d

(s) valori stimati

Tabella 4.1 – Caratteristiche dei sistemi BRT operativi in U.S.A e Canada

4.3.2 Australia

Tra i cinque sistemi BRT presenti in Australia si sono analizzati quelli presenti ad Adelaide, a Brisbane e a Sydney.

Il più caratteristico di questi risulta essere l'*O-Bahn* di Adelaide il quale è un sistema su gomma a guida vincolata meccanicamente, che circola lungo un percorso interamente dedicato a lui. Nonostante sia un sistema vincolato risulta comunque essere abbastanza flessibile in quanto, il vincolo utilizzato, gli permette tranquillamente di circolare anche su brevi tratti di vie ordinarie (Figura 4.5). L'*O-Bahn* oltre ad essere stato il primo BRT australiano, è considerato uno dei sistemi BRT urbani più veloci al mondo in quanto, oltre a circolare principalmente su vie dedicate a lui, può procedere fino a ben 80 km/h. La velocità del sistema può essere così elevata lungo l'intero percorso perché sono presenti poche e ben distanziate stazioni, il che permette quindi, di ridurre i tempi di sosta e, conseguentemente, il tempo di viaggio.



Figura 4.5 – O-Bahn all'ingresso di una stazione

Il sistema BRT di Brisbane invece è caratterizzato da diverse linee che operano su diversi corridoi, appartenenti ad una rete di sistemi di trasporto diversi ben collegati tra loro. Le linee operano su vie totalmente dedicate e separate dal resto del traffico (Figura 4.6) e lungo il percorso è possibile trovare diversi tunnel e viadotti.



Figura 4.6 – BRT Brisbane

Infine la linea T-Ways di Sydney analizzata è quella che collega l'area occidentale della città alla zona periferica. Il sistema viaggia principalmente su vie totalmente dedicate, fatta eccezione per un tratto in cui il percorso è su corsie preferenziali su strade a traffico misto; ciò è stato assolutamente inevitabile in quanto la costruzione del sistema è avvenuta all'interno di



Figura 4.7 – Stazione intermodale di Liverpool

un'area che già era fortemente urbanizzata. Lungo tutto l'itinerario le stazioni (Figura 4.7) sono confortevoli, sicure (grazie all'installazione di telecamere a circuito chiuso) e facilmente accessibili. Il sistema è stato progettato in modo tale da poter essere convertito in una metropolitana

leggera, se la domanda di utenti nel tempo diventasse elevata.

In tabella 4.2 vengono riassunte tutte le principali caratteristiche fisiche e quantitative dei tre sistemi descritti.

Città	Adelaide	Brisbane	Sydney
Nome linea	O-Bahn	SE Busway	T-Ways Liverpool Parramatta
Caratteristiche principali			
Vie di marcia			
Separate	x	x	x
Condivise			parziale
Rete integrata linee	x		x
Intersezioni a livelli differenti	x	x	
Stazioni			
Intermodali	x	x	x
Vie di sorpasso	x		
Distanza media	5000 m	1000 m	860 m
Numero	3	10	35
Veicoli			
Tipologia di veicoli	standard	standard	standard
Tecnologia a basse emissioni	No (diesel)	Diesel e CNG	No (diesel)
Capacità (pass/veicolo)	70	60	70
Pianale ribassato		x	x
Sistemi che agevolano imbarco/sbarco			
Tariffa			
Riscossione/verifica pre imbarco			
Sistemi automatici riscossione e/o verifica	parziale		parziale
Tecnologia pagamento	Tessera magnetica	Carta elettronica	contanti
Struttura percorsi			
Numero corridoi	2	2	1
Numero linee nei corridoi	18	varie	1
Lunghezza corridoi tot.	12 km	16,5 km	31 km (di cui 10 km esclusivi)
Sistemi ITS			
Sistema AVL veicoli		x	x
Priorità semaforica			
Numero intersezioni			
Servizi			
Sistemi informativi utenti	parziale	x	parziale

<i>Integrazione modale servizi (parcheggi per veicoli e biciclette, ecc.)</i>	x		parziale
Attributi prestazionali			
<i>Capacità massima di persone (passeggeri/ora/direzione)</i>	4000	10000	n.d
<i>Velocità media commerciale</i>	80 km/h	55 km/h	30 km/h
<i>Tempo medio di sosta</i>	n.d	n.d	n.d
<i>Headway di picco</i>	60 sec	60 sec	5 min
<i>Headway fuori picco</i>	5-15 min	5-15 min	10 min
Ulteriori informazioni			
<i>Anno di inaugurazione</i>	1983	2001	2003
<i>Costo infrastruttura (millionUS\$/km)</i>	7,20	24	6,7

Tabella 4.2 – Caratteristiche dei sistemi BRT operativi in Australia

4.3.3 Sud America

I principali sistemi BRT presenti in Sud America vengono ormai presi come riferimento in tutto il mondo. La crescita esponenziale della popolazione in molte di queste città, insieme alla necessità di migliorare le condizioni di viaggio degli esistenti sistemi di trasporto in poco tempo e avendo a disposizione limitate risorse finanziarie, ha determinato il grande successo di questi sistemi in questa parte del mondo.

Di importanza fondamentale, sia per le caratteristiche che presenta che per il livello di prestazione che garantisce, risulta essere la rete integrata del BRT di Curitiba. Come precedentemente introdotto il sistema è considerato un riferimento per i BRT moderni, a partire dal quale si sono poi evoluti gran parte dei BRT mondiali. Questo sistema è stato sviluppato come parte integrante di un piano globale che prevedeva l'estensione radiale della città lungo cinque corridoi. In ciascun corridoio le linee BRT che vi operano procedono su vie totalmente dedicate a loro che, generalmente, si trovano lungo la mezzera della strada. Una delle maggiori caratteristiche che identifica questo sistema sono le stazioni, le quali spesso, come segno di



Figura 4.8 – Una delle stazioni BRT di Curitiba

distinzione dagli altri sistemi di trasporto pubblico, hanno la forma di un tubo (Figura 4.8). Inoltre il numero totale di fermate della rete è di circa 1273 tra stazioni e fermate, di cui ben 21 risultano essere centri di transito intermodali. Altra caratteristica che identifica

questo sistema è data dall'identità e dalla capienza dei veicoli utilizzati, che spesso sono mezzi bi-articolati equipaggiati con un numero di porte variabile da tre a cinque.

Subito dopo la costruzione del sistema di Curitiba, in diverse parti del Brasile, si fecero sempre più strada sistemi simili a questo, che però non

presentavano molti di quelli che sono stati definiti come elementi caratteristici. Infatti i sistemi di San Paolo, di Porto Alegre e di Belo Horizonte possono essere considerati come sistemi intermedi tra BRT leggeri e BRT standard, in quanto sono caratterizzati da vie di marcia totalmente separate dal resto del traffico, collocate principalmente sulla mezzera della strada, e da particolari configurazioni delle vie in prossimità delle fermate (Figura 4.9).

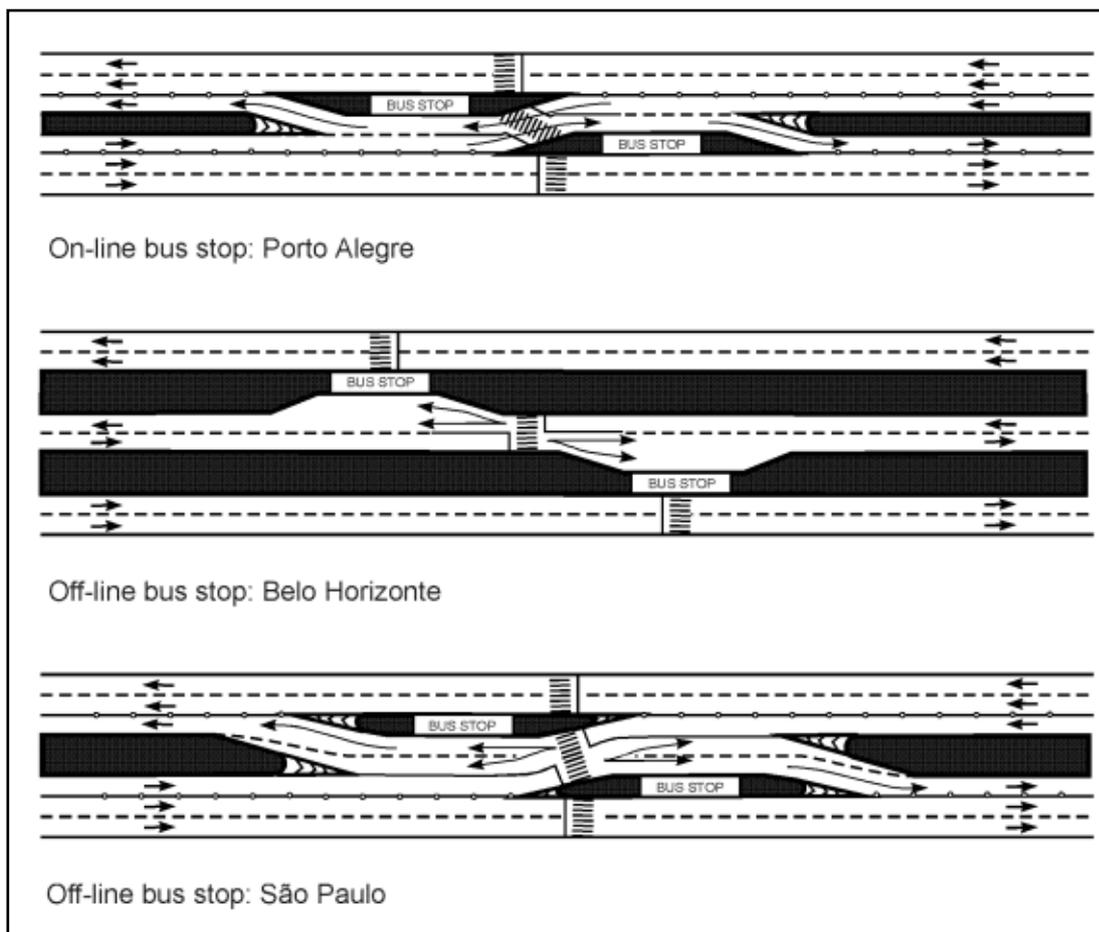


Figura 4.9 – Diverse configurazioni delle stazioni per agevolare i collegamenti espressi

La rete integrata di San Paolo, nonostante sia caratterizzata da pochi degli elementi caratteristici del BRT, è comunque in grado di soddisfare un'elevata domanda di trasporto durante le ore di picco, mediante l'applicazione di un apposito modello di ordinamento dei veicoli sulle vie di marcia. Grazie a particolari terminal posti all'ingresso dei percorsi, i veicoli vengono fatti partire secondo una determinata sequenza che dovrà essere

mantenuta lungo tutto il percorso a tutte le fermate, proprio come se si fosse in presenza di più convogli ferroviari (Figura 4.10)

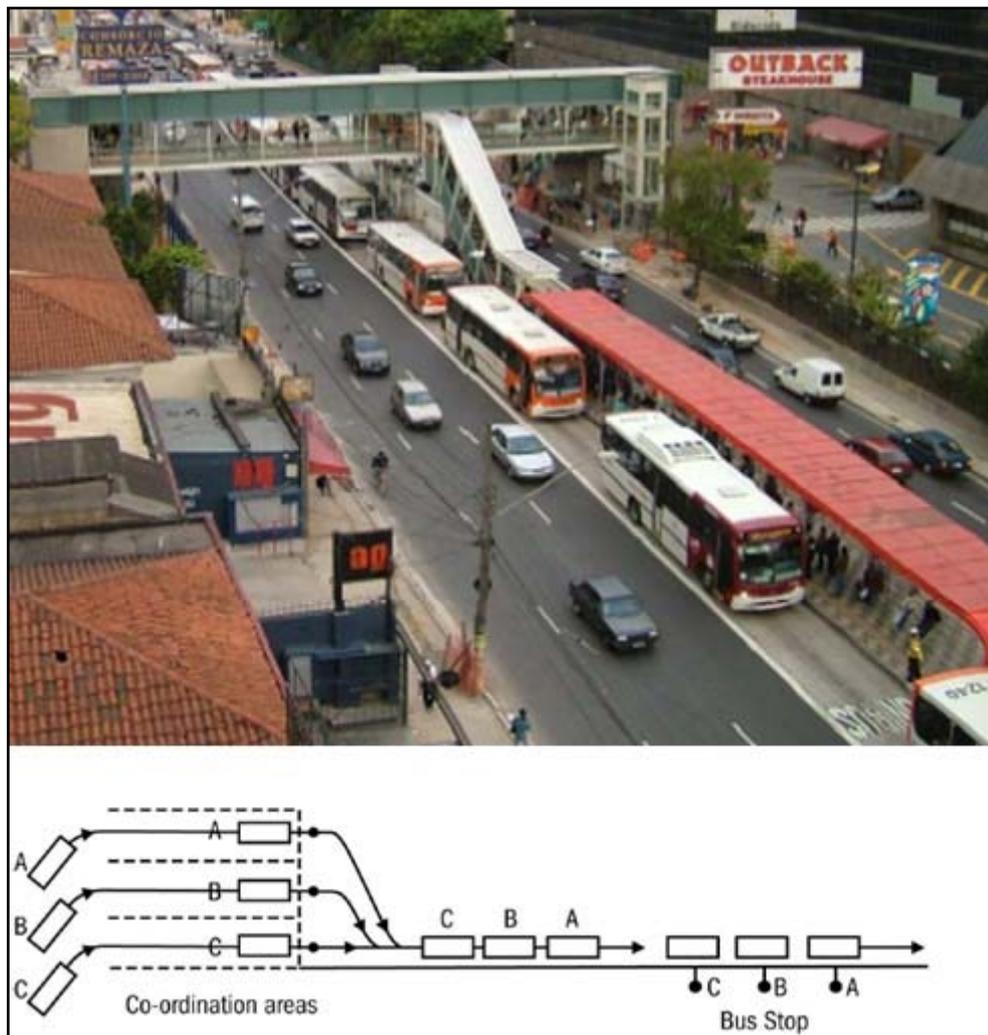


Figura 4.10 – Stazione BRT San Paolo e ordinamento dei plottoni

Il sistema di Porto Alegre, delle linee *Assis Brasil & Farrapos*, fu progettato alla fine degli anni settanta per risolvere seri problemi di congestione che si verificavano durante le ore di picco, ed è del tutto simile a quello di San Paolo. Negli ultimi anni però è in fase di progettazione un miglioramento di queste due linee che prevede l'integrazione di tutti gli elementi caratteristici del sistema, in modo tale da ottenere un sistema analogo al TransMilenio di Bogotá.

Il sistema di Belo Horizonte, invece, non è ancora completamente operativo, ma è stato comunque menzionato in quanto, in vista dell'evento

calcistico di coppa del mondo che si terrà nel 2014 proprio in questa città, si è deciso di implementare i collegamenti tra le varie parti della città e la zona dello stadio. La linea analizzata è la *Cristiano Machado*, il cui progetto prevede che questa passi lungo il percorso che fino ad oggi era destinato al trasporto pubblico locale (come per i precedenti due sistemi analizzati), attraverso un adeguamento del percorso agli standard BRT.

Un sistema nato sul successo di quello di Curitiba è il famoso *TransMilenio* di Bogotá. Questo presenta tutte le caratteristiche principali dei sistemi di BRT completo, ma non solo, molti degli attributi che lo identificano lo rendono molto simile ad un sistema di metropolitana leggera, soprattutto in termini di capacità e di modalità di sbarco/imbarco (Figura 4.11). Ricordando la definizione di massima capacità di persone data precedentemente per definire quantitativamente questo attributo, per questo sistema, non ci si riferirà al volume di passeggeri che vengono movimentati oltre la sezione di massimo carico, ma bensì al numero di passeggeri movimentati, durante le ore di picco, lungo una delle principali arterie di traffico su cui viaggia il sistema. Questo dato infatti, in questo particolare caso, è ritenuto più significativo in quanto l'arteria avente una maggiore capacità veicolare non necessariamente corrisponde con la sezione maggiormente caricata nell'ora di picco.



Figura 4.11 – Stazione BRT del TransMilenio

Il *TransMilenio* è uno di quei sistemi che prevedono il pagamento della tariffa prima di salire a bordo del mezzo, in particolare, alcune stazioni prevedono il pagamento della stessa prima dell'ingresso. Qui sono installati appositi tornelli, che permettono l'accesso solo se il titolo di viaggio è stato

convalidato. Infine il sistema è stato implementato in due diverse fasi e, in vista di un ulteriore aumento della domanda futura, si sta progettando una terza fase di evoluzione che prevede un'ulteriore estensione dello stesso. Infine la città di Quito (Ecuador) negli ultimi quindici anni, a livello di trasporto pubblico, ha subito una grande trasformazione. La città presenta tre linee BRT. La prima ad essere progettata, nonché la più conosciuta, è la *Trolleybus Line* o *Trole* che fu costruita nel 1995 e successivamente ampliata nel 2000; le altre due linee della città sono l' *Ecovía* e la *Central-Norte*. In questo contesto si è analizzata solo la prima in quanto le altre presentano caratteristiche del tutto analoghe a questa ed hanno sia un'estensione che una capacità minore rispetto alla prima. La caratteristica che differenzia la *Trole* dalle altre due linee è data dal fatto che, la maggior parte del percorso (circa il 90%) si svolge su corsie apposite totalmente separate dal traffico veicolare, mentre il restante 10% attraversa il centro storico della città che fa parte del patrimonio dell'UNESCO (Figura 4.12).



Figura 4.12 – Linea BRT di Quito che passa nel centro storico della città

La zona storica è costituita da un intreccio di vie strette che raramente permettono la suddivisione in due corsie. Se da una parte ciò dimostra la flessibilità del sistema, che comunque è in grado di fornire un servizio

pubblico di alta qualità in una zona prevalentemente ciclo-pedonale, dall'altra ciò ha ripercussioni sia sulla capacità che sulla velocità commerciale. Infatti, lungo questo tratto, la capacità non può superare gli 8000 pass/direzione/ora, mentre la velocità non supera i 10 km/h. Nonostante ciò il sistema di Quito è uno dei sistemi BRT più importanti e capaci del mondo.

Ulteriori dettagli relativi ai sistemi presenti in Sud America vengono esposti nella seguente tabella (Tabella 4.3)

Città	Bèlo Horizonte	Bogotà	Curtiba
Nome linea	Cristiano Machado Busway	TransMilenio	Rete integrata
Caratteristiche principali			
Vie di marcia			
Separate	x	x	x
Condivise			
Rete integrata linee	x	x	x
Intersezioni a livelli differenti	x (tunnel)	parziale	
Stazioni			
Intermodali	x	x	x
Vie di sorpasso	x	x	
Distanza media	440 m	790 m	540 m
Numero	10	115	1273
Veicoli			
Tipologia di veicoli	Standard/articolati	Biarticolati/articolati	Biarticolati
Tecnologia a basse emissioni	x	Parziale (diesel)	
Capacità (pass/veicolo)	70	160/80	270
Pianale ribassato	x		
Sistemi che agevolano imbarco/sbarco	x	x	x
Tariffa			
Riscossione/verifica pre imbarco		x	x
Sistemi automatici riscossione e/o verifica		x	parziale
Tecnologia pagamento	n.d	Carta elettronica	Carta elettronica
Struttura percorsi			
Numero corridoi	1	6	6
Numero linee nei corridoi	1	84	12
Lunghezza corridoi tot.	6 km	170 km	74 km
Sistemi ITS			
Sistema AVL veicoli	x	x	x
Priorità semaforica	x	x	
Numero intersezioni		n.d	
Servizi			
Sistemi informativi utenti	x	x	x
Integrazione modale servizi (parcheggi per veicoli e biciclette, ecc.)	n.d	parziale	parziale

Attributi prestazionali			
<i>Capacità massima di persone (passeggeri/ora/direzione)</i>	14500 (s)	45000*	11000
<i>Velocità media commerciale</i>	30 km/h	27 km/h	19 km/h
<i>Tempo medio di sosta</i>		25 sec	22 sec
<i>Headway di picco</i>	n.d	3 min	2 min
<i>Headway fuori picco</i>	n.d	5 min	6 min
Ulteriori informazioni			
<i>Anno di inaugurazione</i>	2013	2000	1972
<i>Costo infrastruttura (millionUS\$/km)</i>	15	18,6	6

* Volume di passeggeri nelle ore di picco lungo una delle principali vie arteriose del sistema. Il volume di passeggeri lungo la sezione di massimo carico invece è di circa 27000 pass/direzione.

Città	Porto Alegre	Quito	San Paolo
<i>Nome linea</i>	Assis Brasil & Farrapos Busways	Trole	Rete integrata
Caratteristiche principali			
Vie di marcia			
<i>Separate</i>	x	x	x
<i>Condivise</i>			
<i>Rete integrata linee</i>		parziale	x
<i>Intersezioni a livelli differenti</i>		parziale	
Stazioni			
<i>Intermodali</i>		x	
<i>Vie di sorpasso</i>	parziale		parziale
<i>Distanza media</i>	650 m	450 m	500 m
<i>Numero</i>	33	34	235
Veicoli			
<i>Tipologia di veicoli</i>	Standard/articolati	filobus	Standard/articolati
<i>Tecnologia a basse emissioni</i>	No (Diesel)	elettrico	No (Diesel)
<i>Capacità (pass/veicolo)</i>	120	160	120
<i>Pianale ribassato</i>	x		
<i>Sistemi che agevolano imbarco/sbarco</i>	parziale	x	
Tariffa			
<i>Riscossione/verifica pre imbarco</i>		x	
<i>Sistemi automatici riscossione e/o verifica</i>		x	
<i>Tecnologia pagamento</i>	Contanti	Contanti	Contanti/carte
Struttura percorsi			
<i>Numero corridoi</i>	5	2	9
<i>Numero linee nei corridoi</i>	36	5	40
<i>Lunghezza corridoi tot.</i>	10,2 km	16,2	130 km
Sistemi ITS			
<i>Sistema AVL veicoli</i>			
<i>Priorità semaforica</i>		x	
<i>Numero intersezioni</i>			
Servizi			
<i>Sistemi informativi utenti</i>		x	parziale
<i>Integrazione modale servizi (parcheggi per veicoli e biciclette, ecc.)</i>			

Attributi prestazionali			
Capacità massima di persone (passeggeri/ora/direzione)	26100 ⁽¹⁾ 17500 ⁽²⁾	8000	35000
Velocità media commerciale	15 km/h	15 km/h	22 km/h
Tempo medio di sosta	30 sec	20 sec	30 sec
Headway di picco	30 sec	1 min	30 sec
Headway fuori picco	2 min	3 min	n.d
Ulteriori informazioni			
Anno di inaugurazione	1977	1995	2003
Costo infrastruttura (millionUS\$/km)	2,2	5,1	15

(1)Assis Brasil

(2)Farrapos busway

Tabella 4.3 - Caratteristiche dei sistemi BRT operativi in Sud America

4.3.4 Asia

Negli ultimi dieci anni, diversi stati asiatici, hanno deciso di costruire sistemi BRT sulla base dei risultati ottenuti in città molto popolate come Bogotà e Curitiba, con lo scopo di indirizzare sempre più utenti all'uso dei sistemi di trasporto pubblico. Nella maggior parte dei casi però, questo sistema non ha prodotto i risultati attesi nonostante fossero presenti tutte le caratteristiche principali. In virtù di ciò i sistemi asiatici che si è deciso di descrivere, sono quelli di Beijing, di Guangzhou e di Jakarta.

A partire dal 2005 a Pechino, in vista dei giochi olimpici del 2008, si è cercato di implementare il trasporto pubblico in modo da ottenere un sistema di linee BRT integrato in vista dell'evento. La linea analizzata è stata la *Linea 1 del Southern axis* la quale è stata la prima linea BRT costruita nella città. La linea presenta tutte le caratteristiche principali tipiche del sistema e, 13 dei 16,5 km che costituiscono il percorso, sono fisicamente separati dal resto del traffico veicolare. La linea inoltre ha un'immagine ed un'identità che si



Figura 4.13 – Stazione BRT Beijing

riflettono sia sui veicoli utilizzati che nelle stazioni (Figura 4.13), le quali distinguono chiaramente questo sistema dal sistema di autobus locali. Per avvantaggiare la salita e la discesa dei passeggeri molte stazioni sono caratterizzate da piattaforme a livello e da

un sistema di porte scorrevoli. Il problema principale del malfunzionamento del BRT pechinese nasce proprio da queste caratteristiche. Infatti, diversi studi, hanno evidenziato come nella progettazione, sia assolutamente necessario porre attenzione alle distanze tra la piattaforma della stazione ed i veicoli (Figura 4.14). In particolar modo la distanza orizzontale (horizontal

gap) e quella trasversale (transverse gap), si è visto che sono causa di elevati tempi di sosta alle fermate. Infatti le persone impiegano in media più tempo per le operazioni di imbarco/sbarco, e ciò, conseguentemente, si

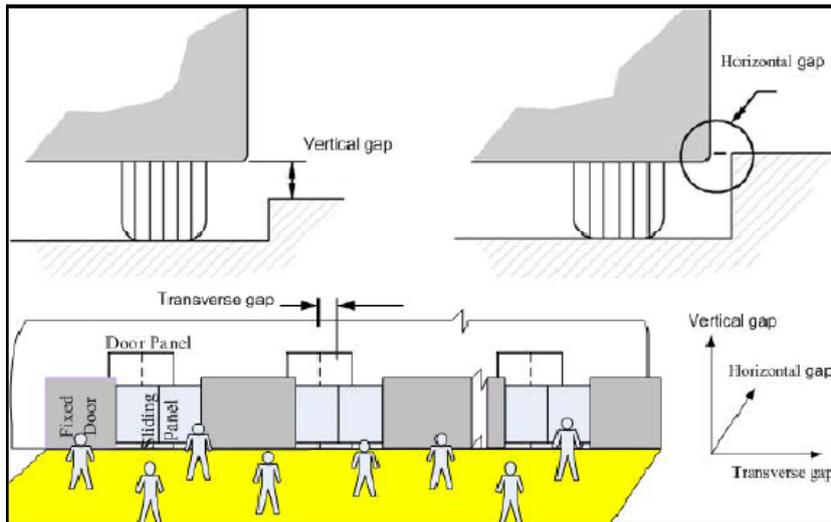


Figura 4.14 – Distanze tra stazione e veicolo

ripercuote sui tempi di sosta alle fermate e quindi sui tempi di viaggio che così tendono ad aumentare piuttosto che a diminuire.

Inoltre un altro problema che inizialmente si

era presentato lungo la linea, riguardava il sovraffollamento in alcune stazioni e sui veicoli durante le ore di punta. Questo perché, con l'introduzione del nuovo sistema, era stato soppresso il percorso parallelo di autobus locali e pertanto ciò ha avuto ripercussioni sulla nuova linea. A causa dell'elevata utenza e della mancanza di mezzi BRT operativi, la BTG ha immediatamente deciso di ripristinare il percorso parallelo di autobus locali in modo tale da ridurre la domanda sulla linea BRT ed eliminare quindi i problemi relativi alla capacità nelle ore di punta, garantendo comunque un servizio migliore.

Il sistema BRT di Guangzhou, invece, è uno dei sistemi più rappresentativi in termini di capacità, infatti ha una capacità di circa 26900 pass/dir/ora. Questo sistema è stato il primo in Cina ad avere, nelle stazioni, un parcheggio dedicato alle biciclette, ed il primo al mondo ad includere tunnel di collegamento diretto tra le sue stazioni e quelle della metropolitana. Inoltre, altra caratteristica distintiva, è che il GBRT presenta stazioni molto estese in lunghezza, si ricorda infatti che la più lunga misura circa 260 metri. Prima dell'introduzione del sistema BRT, le linee di trasporto pubblico locale, incontravano diversi problemi legati alla congestione veicolare. Infatti, molti di

questi erano presenti in prossimità delle fermate poste nelle adiacenze di intersezioni a traffico misto (Figura 4.15a). Con l'introduzione del GBRT l'intera infrastruttura è stata riprogettata soprattutto in prossimità di questi punti critici (Figura 4.15b).



(a)



(b)

Figura 4.15– Problemi di congestione in prossimità della stazione di Ganding (a) risolti con la ristrutturazione dell'infrastruttura e l'introduzione del GBRT (b)

Infine il sistema indonesiano di Jakarta è stato progettato con lo scopo di fornire ai cittadini un sistema di trasporto veloce che aiutasse a ridurre la congestione del traffico, lungo le vie principali della città, durante le ore di picco. Tutto il sistema integrato di linee viaggia principalmente su corsie

interamente dedicate a lui (Figura 4.16) e le fermate, spesso collocate sulla mezz'isola o a lato della strada su strutture elevate, hanno un'immagine che le distingue da quelle del trasporto pubblico locale. Inoltre l'ingresso alle stazioni spesso è legato alla convalida del titolo di viaggio, infatti ove non presenti i tornelli di banchina, spesso sono operativi assistenti che controllano e verificano l'avvenuta convalida del ticket di viaggio. Molte



Figura 4.16 – Vie di marcia separate a Jakarta

delle caratteristiche di questo sistema quindi ricordano i sistemi sud americani, con la grande differenza che questo presenta un'elevata limitazione in termini di capacità, dovuta principalmente ai veicoli. Infatti, tutti i veicoli utilizzati nella linea, sono caratterizzati da un'unica grande porta attraverso la quale avvengono le operazioni di imbracco/sbarco (Figura 4.17) . Com'è ovvio ciò limita fortemente il flusso di passeggeri ed aumenta i tempi di sosta alle fermate, producendo non solo tempi di viaggio lunghi, ma anche un livello di comfort non idoneo alle stazioni.

Nella tabella che segue (Tabella 4.4) vengono brevemente descritti questi tre sistemi.



Figura 4.17 – Uno dei veicoli utilizzati dal Transiakarta

Città	Beijing	Guangzhou	Jakarta
<i>Nome linea</i>	Southern Axis Line 1	GBRT	Transjakarta
Caratteristiche principali			
Vie di marcia			
<i>Separate</i>	parziale	x	x
<i>Condivise</i>			parziale
<i>Rete integrata linee</i>			x
<i>Intersezioni a livelli differenti</i>	x	x	
Stazioni			
<i>Intermodali</i>		x	x
<i>Vie di sorpasso</i>	x	x	
<i>Distanza media</i>	1220 m	880 m	860 m
<i>Numero</i>	19	26	215
Veicoli			
<i>Tipologia di veicoli</i>	articolato	standard/articolato	standard
<i>Tecnologia a basse emissioni</i>	Parziale (diesel euro 3, CNG)	Parziale (diesel euro 3)	Parziale (diesel euro 3, CNG)
<i>Capacità (pass/veicolo)</i>	160	80/120	75
<i>Pianale ribassato</i>	x	x	x
<i>Sistemi che agevolano imbarco/sbarco</i>	parziale	parziale	x
Tariffa			
<i>Riscossione/verifica pre imbarco</i>	x	x	x
<i>Sistemi automatici riscossione e/o verifica</i>	parziale	x	parziale
<i>Tecnologia pagamento</i>	Carta elettronica	Contanti/carta elettronica	Carta elettronica
Struttura percorsi			
<i>Numero corridoi</i>	1	1	11
<i>Numero linee nei corridoi</i>	1	1	varie
<i>Lunghezza corridoi tot.</i>	16,5 km	22,5 km	172 km
Sistemi ITS			
<i>Sistema AVL veicoli</i>	x	x	x
<i>Priorità semaforica</i>	x	x	
<i>Numero intersezioni</i>	3	n.d	

Servizi			
Sistemi informativi utenti	x	x	x
Integrazione modale servizi (parcheggi per veicoli e biciclette, ecc.)		x	
Attributi prestazionali			
Capacità massima di persone (passeggeri/ora/direzione)	7500	26900	3900
Velocità media commerciale	22 km/h	19 km/h	17 km/h
Tempo medio di sosta	20 sec	n.d	n.d
Headway di picco	2 min	10 sec	1,5 min
Headway fuori picco	4 min	n.d	n.d
Ulteriori informazioni			
Anno di inaugurazione	2005	2010	2004
Costo infrastruttura (milionUS\$/km)	5	4,4	1,1

Tabella 4.4 - Caratteristiche dei sistemi BRT operativi in Asia

4.3.5 Europa

Per quanto riguarda l'introduzione dei sistemi BRT in Europa è necessario fare una serie di premesse. I modelli urbani europei presentano, in genere, città relativamente dense caratterizzate da strade strette dove sono concentrate sia attività economiche che residenze. Ciò ovviamente ha ripercussioni sia sui flussi, che sull'organizzazione del trasporto pubblico locale e quindi anche sul tipo di sistema di trasporto utilizzabile. Inoltre implementare un sistema che permetta un'elevata capacità (quindi un sistema BRT completo per esempio) nelle città europee sarebbe molto complesso in quanto si necessiterebbe di un elevato grado di separazione che non sempre verrebbe garantito o per la mancanza fisica di spazio, o per trincee urbane indesiderate o per la bassa domanda di trasporto presente.

A partire dalla fine degli anni novanta, in diverse città europee, si sono costruiti sistemi BRT che presentavano caratteristiche che possono definirsi innovative rispetto a quelle dei sistemi mondiali analizzate fino ad ora. Nonostante ciò però anche per i sistemi europei le vie di marcia, e quindi la separazione di queste dal resto del sistema, costituiscono l'elemento fondamentale che permette una maggiore regolarità del servizio e maggiori velocità. Nel caso europeo però le corsie preferenziali permettono una maggiore permeabilità da parte degli altri modi di trasporto. Infatti, spesso, le corsie adibite al traffico dei veicoli BRT si trovano su strade principali, evidenziate da un colore particolare, e vengono condivise con utenze minori come motocicli, biciclette e servizio taxi.

Sull'esempio dell'O-Bahn di Essen e di Adelaide, nel 1995 a Leeds, venne costruito un sistema a guida vincolata su una delle principali strade di collegamento tra la periferia Nord della città ed il distretto economico. Il sistema costruito risultava essere molto flessibile in quanto prevedeva sia che parte del percorso si svolgesse su corsie preferenziali, che su una via totalmente dedicata a lui (Figura 4.18). La particolarità che distingue questo sistema da quello australiano, è che si può facilmente convertire in un sistema a guida vincolata solo in prossimità di particolari punti in cui il livello di congestione risulta essere elevato.



Figura 4.18 – Punto in cui il percorso del BRT di Leeds diventa a guida vincolata

Nell'analisi svolta, i dati relativi al *Superbus* di Leeds, si riferiscono solo alle quattro sezioni in cui opera il vincolo, la cui lunghezza totale è di 1,5 km. Il vincolo in questo caso può essere usato anche fuori dal suo percorso per permettere un corretto avvicinamento del veicolo alla fermata e quindi avere tempi di sosta minori. Il sistema di Leeds è stato esaminato principalmente per sottolineare come un intervento su punti mirati del percorso, con lo scopo di migliorare la congestione veicolare, migliori fortemente anche il servizio offerto. Tuttavia, a differenza dell' O-Bhan australiano, dove la guida vincolata rappresenta il modo attraverso il quale è possibile ottenere una maggiore capacità di trasporto senza alcuna riduzione della capacità veicolare della strada su cui opera, il sistema di Leeds ha portato ad una leggera riduzione di quest'ultima.

Il sistema di Amsterdam considerato invece è costituito da due linee. La prima collega l'aeroporto della città al quartiere centrale di Haarlem, mentre la seconda collega il nord e il sud della città passando sempre per la zona dell'aeroporto. Il percorso totale delle due linee è lungo circa 41 km, passa attraverso diversi tunnel (Figura 4.19) e viadotti e un tratto di circa 5 km scorre lungo l' autostrada. In caso di congestione lungo quest'ultimo tratto è



Figura 4.19 – BRT di Amsterdam

previsto che il mezzo utilizzi le corsie di emergenza per rispettare i tempi di viaggio.

Infine le tre linee TEOR di Rouen rappresentano in modo significativo l'applicazione degli standard BRT alle città europee. Il sistema è a guida ottica e viaggia

per il 45% del suo percorso su corsie totalmente segregate (Figura 4.20), identificate da una pavimentazione di colore rosso. E' bene sottolineare come, nonostante questo sistema presenti molte delle caratteristiche principali dei sistemi BRT mondiali, non sempre garantisce un elevato livello di servizio, in quanto le linee passano per il centro storico della città. Per la conformazione fisica di queste zone i veicoli sono costretti a diminuire la loro velocità e quindi ad aumentare i tempi di viaggio.



Figura 4.20 – BRT di Rouen

In tabella 4.5 vengono, anche in questo caso, riassunte le principali caratteristiche dei sistemi introdotti.

Città	Amsterdam	Leeds	Rouen
Nome linea	Zuidtangent Lines	Superbus A61	TEOR Lines
Caratteristiche principali			
Vie di marcia			
Separate	x	parziale	x
Condivise			
Rete integrata linee		x	
Intersezioni a livelli differenti	x	parziale	x
Stazioni			
Intermodali	x	n.d	x
Vie di sorpasso			
Distanza media	1500 m	500 m	535 m
Numero	22	n.d	41
Veicoli			
Tipologia di veicoli	articolati	standard/ speciali	articolato
Tecnologia a basse emissioni	Parziale (diesel)		Parziale (diesel)
Capacità (pass/veicolo)	130	70	110
Pianale ribassato			x
Sistemi che agevolano imbarco/sbarco	x	x	x
Tariffa			
Riscossione/verifica pre imbarco			parziale
Sistemi automatici riscossione e/o verifica			
Tecnologia pagamento	carta	n.d	Carta magnetica
Struttura percorsi			
Numero corridoi	2	1	3
Numero linee nei corridoi	1	5	3
Lunghezza corridoi tot.	41 km	n.d	29,8 km
Sistemi ITS			
Sistema AVL veicoli	x	x	x
Priorità semaforica	x	x	x
Numero intersezioni	45 (tutte)		15
Servizi			
Sistemi informativi utenti	x		x
Integrazione modale servizi (parcheggi per veicoli e biciclette, ecc.)	x	x	parziale

Attributi prestazionali			
Capacità massima di persone (passeggeri/ora/direzione)	n.d	n.d	1800
Velocità media commerciale	38 km/h	20 km/h	16 km/h
Tempo medio di sosta	15 sec	n.d	60 sec
Headway di picco	6 min	n.d	3 min
Headway fuori picco	10 min	n.d	4 min
Ulteriori informazioni			
Anno di inaugurazione	2002	1995	2001
Costo infrastruttura (millionUS\$/km)	11	6,4*	5,5

*Riferito solo al tratto appositamente costruito per permettere la guida meccanica vincolata

Tabella 4.5 - Caratteristiche dei sistemi BRT operativi in Europa

4.4 Conclusioni

Come analizzato nel capitolo precedente, gli attributi prestazionali del sistema quantificabili risultano essere il tempo di viaggio, la capacità, il costo dell'infrastruttura e la velocità media commerciale. Per cercare di sottolineare al meglio le prestazioni dei sistemi analizzati ed avere un confronto, è stato elaborato un istogramma che ordinasse i diversi sistemi in ordine decrescente di capacità (Figura 4.21). Dai dati raccolti in letteratura, il sistema avente la capacità maggiore è risultato il TransMilenio di Bogotá mentre, tra quelli a minore capacità, compare l'Orange Line di Los Angeles. Questo fatto sottolinea largamente come la capacità, così come è stata definita in questo elaborato, dipenda fortemente non solo dal grado di separazione del sistema ma anche dal numero di corsie per senso di marcia in particolari punti del percorso.

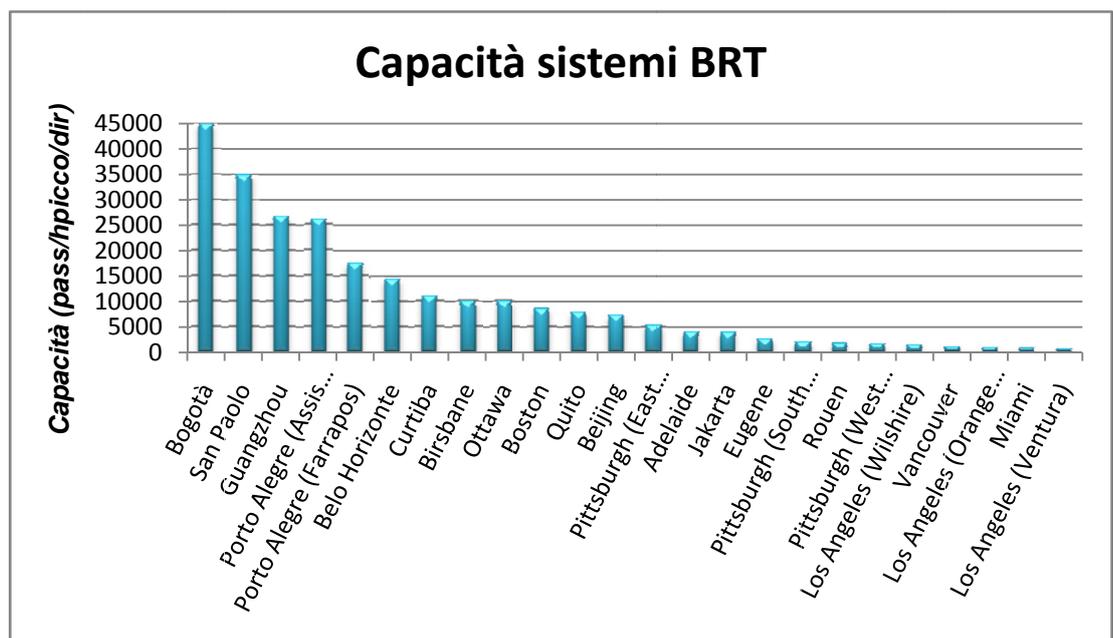


Figura 4.21 – Confronto tra le capacità dei diversi sistemi analizzati

Sempre mantenendo lo stesso ordine si sono poi confrontati i costi infrastrutturali dei diversi BRT (Figura 4.22). Da questo confronto è emerso che i sistemi più costosi non sono quelli aventi una maggiore capacità o un maggior grado di separazione, ma bensì quelli

che presentano particolari infrastrutture o elementi caratteristici di design o all'avanguardia. Infatti il sistema di Boston, il cui percorso si svolge prettamente in tunnel, risulta essere il più costoso tra quelli analizzati. Altro sistema risultato molto costoso nonostante la bassa capacità, è quello di Miami. Ciò evidenzia come particolari scelte di integrazione ambientale non sempre determinano bassi costi ed una domanda che giustifichi tali investimenti. Un fatto che si nota immediatamente, invece, è che i sistemi aventi capacità maggiori paradossalmente sono quelli che hanno i minori costi infrastrutturali.

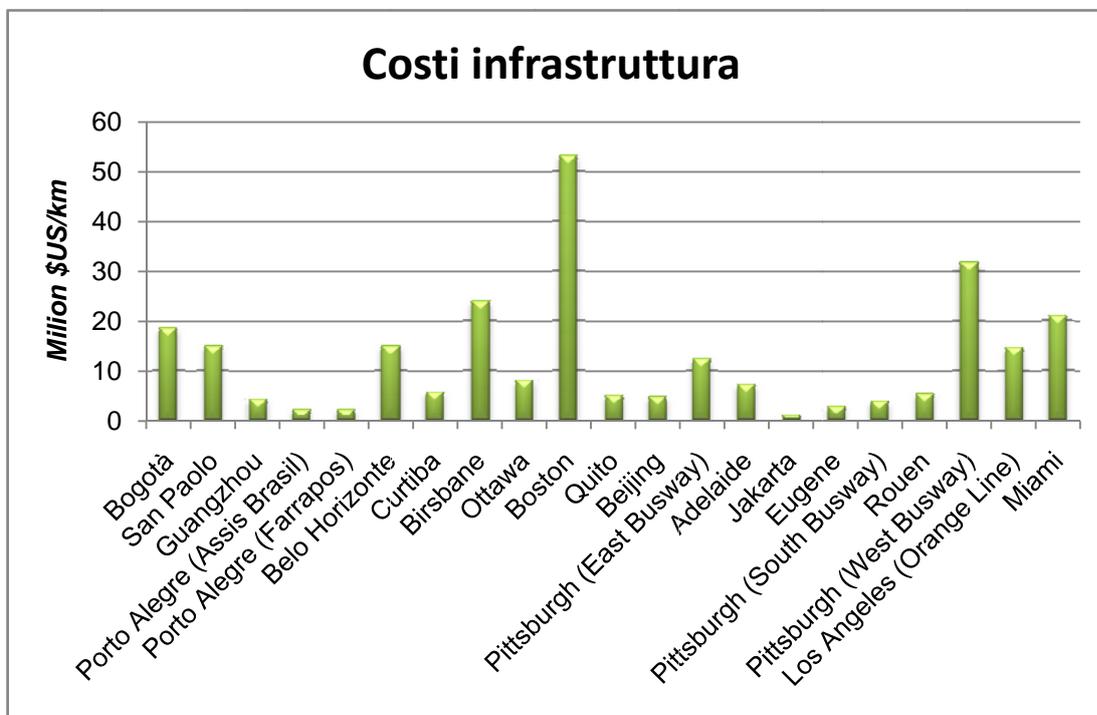


Figura 4.22 – Confronto tra i diversi costi infrastrutturali dei diversi sistemi analizzati (US\$ 2006)

Infine per quanto riguarda le velocità medie commerciali (Figura 4.23), si è notato come gran parte dei sistemi analizzati operino tra i 14 km/h ed i 20 km/h. Velocità maggiori si sono ottenute in tutti quei casi in cui gli elementi caratteristici sono stati ottimamente implementati, ovvero in quei percorsi che presentano tutti o alcuni dei seguenti elementi: vie di marcia separate, stazioni off-line, piattaforme a livello, sistemi di prepagamento della tariffa,

stazioni ben distanziate tra loro, veicoli di maggiore capienza e controlli centralizzati.

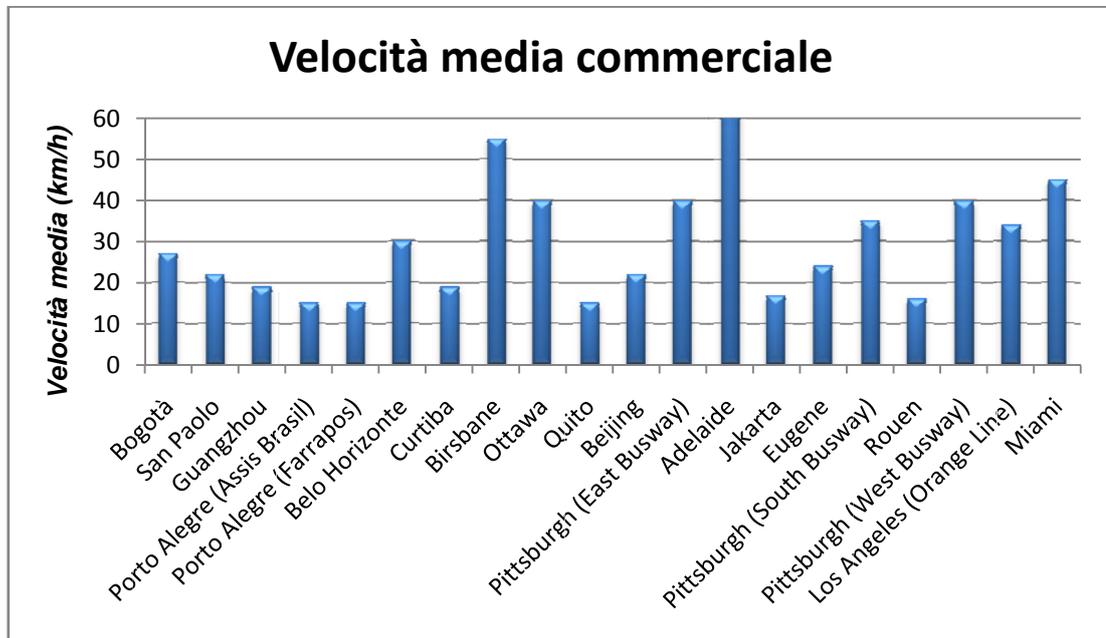


Figura 4.23 – Velocità medie commerciali dei sistemi analizzati

Nell'analisi è stato necessario porre una particolare attenzione ai sistemi asiatici di Beijing e Jakarta. Nel primo caso infatti, si sono riscontrati diversi problemi di sovraffollamento durante le ore di picco, in seguito ad una ridistribuzione della domanda ed a problemi dovuti al non perfetto allineamento dei veicoli in prossimità delle stazioni; mentre nel secondo caso, è emerso come l'uso di veicoli aventi un unico accesso, in cui avvengono le operazioni sia di imbarco che di sbarco, possa fortemente limitare la capacità.

Una parentesi a parte invece deve essere fatta riguardo i sistemi BRT europei. Mentre in tutti gli altri continenti l'esigenza di sviluppare un sistema avente una capacità di trasporto maggiore è data principalmente da una crescita della popolazione e dall'espansione delle città, per quanto riguarda l'Europa questo concetto non vale. I sistemi europei, infatti, non nascono con l'esigenza di applicare un nuovo modo di trasporto avente maggiore capacità poiché gran parte della domanda già viene soddisfatta dagli esistenti sistemi

su ferro. Questi vengono piuttosto considerati in termini di qualità, ovvero vengono definiti come sistemi in grado di fornire un maggior livello di servizio paragonabile a quello dei sistemi tramviari, contenendo allo stesso tempo i costi. Proprio per questo motivo i BRT europei, che possono essere classificati come BRT leggeri, sono conosciuti con l'acronimo BHLS ovvero *Buses with a High Level of Service*. Tra le differenze che possono riscontrarsi tra questi sistemi ed i BRT americani, per esempio, è che questi difficilmente operano lungo superstrade e ciò, pertanto, preclude la possibilità di fornire servizi espressi.

Infine, considerando la classificazione dei sistemi fatta nel capitolo 2, dopo aver analizzato i diversi casi operativi nel mondo, è possibile classificare questi sistemi come:

- BRT leggeri tutti i sistemi europei ed alcuni di quelli americani;
- BRT standard la maggior parte dei sistemi americani, canadesi e parte di quelli australiani;
- BRT completi tutti i sistemi sudamericani, asiatici e alcuni sistemi australiani.

CONCLUSIONI

Lo scopo del seguente elaborato è stato quello di identificare le principali caratteristiche fisiche e prestazionali che differenziano questo sistema di trasporto pubblico, da quelli maggiormente comuni come autobus locali e sistemi su ferro. Descritte tutte le caratteristiche principali, si è poi passati ad un'analisi più approfondita di quegli attributi che permettono di definire quantitativamente le prestazioni di questi sistemi, nonché ad uno studio di alcuni dei più importanti BRT applicati nel mondo.

Dall'analisi dei diversi casi mondiali è emerso come l'attributo fondamentale, che distingue questi sistemi dai tradizionali sistemi di trasporto di massa, sia la capacità; infatti, i BRT, sono in grado di soddisfare capacità variabili tra i 200 ed i 45000 passeggeri/ora/direzione. In particolare l'elevata capacità, viene garantita soprattutto da una buona progettazione delle caratteristiche principali. Studiando i diversi sistemi, è risultato che elementi come il grado di separazione delle vie di marcia, l'utilizzo di sistemi di priorità semaforica, l'applicazione di un servizio di prepagamento della tariffa ed un corretto allineamento piattaforma/veicolo in prossimità delle fermate, sono fondamentali nel garantire sia un'elevata capacità sia un alto livello di servizio. Tuttavia, non tutti i sistemi BRT sono destinati a fornire un massima capacità infatti, in alcuni casi, si è visto che la domanda non sempre è abbastanza elevata da giustificare l'operatività del sistema al limite della sua capacità.

Rispetto ai comuni sistemi di trasporto di massa, i BRT sono in grado di garantire non solo una capacità superiore ma anche un elevato comfort di viaggio, una maggiore affidabilità, tempi di viaggio ridotti ed una maggiore accessibilità. Come è ben noto i tempi di viaggio sono strettamente legati alla velocità commerciale media del sistema. L'analisi sui sistemi applicati ha evidenziato come questi operino ad una velocità media di circa 30 km/h, e solo in casi particolari si raggiungono velocità superiori che possono far pensare ad un collegamento "rapido", come implicitamente il nome porta ad

intendere. Il risultato di questo studio ha dato risalto al fatto che, maggiori velocità commerciali si ottengono riducendo l'interazione con il traffico misto ed aumentando la distanza tra le stazioni e l'headway medio tra due successivi veicoli.

Di fondamentale importanza nella progettazione, sia ai fini della capacità sia per ottenere maggiori velocità commerciali ed affidabilità, è risultato il tempo di sosta alle fermate. Infatti la valutazione di questo attributo, non deve essere assolutamente sottovalutata in quanto, in fase progettuale, un'errata valutazione di questo potrebbe far ottenere valori teorici di capacità decisamente più elevati di quelli realmente ottenibili.

L'esempio della città di Beijing, ha evidenziato come una domanda troppo elevata porti ad un sovraffollamento delle stazioni sia in termini di persone che di veicoli, dovuta principalmente ad una maggiore frequenza del servizio. Frequenza che, se risultasse troppo elevata, porterebbe a problemi dovuti all'interazione fisica tra i mezzi in sosta. Piattaforme non molto estese in lunghezza, infatti, permetterebbero la sosta di uno o al massimo due veicoli e pertanto, con l'obiettivo di garantire un servizio ad elevata frequenza che possa soddisfare un'alta domanda di trasporto, si potrebbe commettere l'errore di non considerare lo spazio fisico necessario ai veicoli in prossimità di tutte le stazioni. Questo fatto inevitabilmente porterebbe ad una propagazione di code in prossimità di particolari fermate, quindi ad un incremento del tempo di sosta e, conseguentemente, a capacità reali minori. Anche livelli di domanda troppo bassi rispetto alla capacità massima ottenibile, possono creare problemi al sistema. Dall'analisi di alcuni sistemi applicati in U.S.A ed in Europa è risultato infatti che, in queste condizioni, ci sarebbe l'elevato rischio che le comunità non riconoscano alcuna innovazione nel sistema, soprattutto se questo non fosse caratterizzato da una ben distinta immagine ed identità rispetto ai sistemi tradizionali di autobus. Conseguentemente le comunità non sarebbero disposte ne ad approvare investimenti rivolti a questi, ne tantomeno a pagare una tariffa che loro stessi potrebbero giudicare elevata. Ciò ovviamente porterebbe ad un

decadimento dei benefici attesi, e soprattutto renderebbe il nuovo sistema poco attrattivo .

Infatti, non sempre la costruzione di una linea caratterizzata da un alto grado di separazione e da un'elevata velocità commerciale e frequenza, garantisce il successo di un sistema. La linea deve essere caratterizzata anche da una buona immagine ed identità che sia in grado di attirare verso se potenziali utenti. Pertanto, per garantire il corretto funzionamento di questi sistemi, è necessario che questi abbiano un marchio – o meglio un brand distintivo - che li possa fortemente distinguere dai tradizionali autobus. Se ciò non fosse, la maggior parte dell'utenza non sarebbe attratta da questo nuovo modo di trasporto, che verrebbe semplicemente percepito come un sistema analogo a quello locale di autobus

Oltre che per la capacità, i Bus Rapid Transit emergono anche per quanto riguarda i loro costi. I casi analizzati, soprattutto quelli in Sud America, hanno infatti evidenziato come questi rappresentino una valida e rapida soluzione di trasporto pubblico, avente costi di costruzione ed operativi molto più bassi rispetto ai sistemi di metropolitana leggera. Dai diversi dati presenti in letteratura, è emerso che la costruzione di un sistema BRT costa mediamente dai 0,5 ai 15 milioni di dollari (US\$) al km, fatta eccezione per alcuni casi in cui, i costi, sono risultati più elevati per la particolarità dell'infrastruttura. Ciò sottolinea ampiamente come questi sistemi abbiano un costo inferiore rispetto ai sistemi su ferro, in quanto un sistema tramviario richiede investimenti che in media variano dai 10 ai 25 milioni di dollari al km, mentre un sistema LRT prevede costi variabili dai 15 ai 40 milioni di dollari/km. Pertanto, considerando anche la capacità dei diversi modi, si intuisce facilmente come i BRT possano essere considerati sistemi in grado di colmare il divario tra i comuni autobus locali ed i sistemi di metropolitana leggera.

La flessibilità che caratterizza i BRT rappresenta un altro punto che necessariamente è bene considerare. Questo attributo permette di realizzare linee che, se correttamente progettate, sono in grado di sostenere un incremento futuro della domanda. Se quest'ultima diventa molto alta e se le

risorse economiche lo permettono, è possibile convertire questi sistemi in LRT. Inoltre, quando si parla di flessibilità, è bene conferire a questa un'ulteriore accezione. Infatti gli esempi di Quito e di Rouen, sottolineano la flessibilità di questi sistemi intesa come facile adattamento a particolari ambienti considerati come vincoli nella progettazione.

I sistemi BRT sono strettamente legati anche al problema dell'impatto ambientale. Infatti, se da una parte questi sistemi possono avere un alto impatto con l'ambiente circostante (soprattutto se caratterizzati da un grado di separazione alto), dall'altra permettono però un rispetto dell'ambiente stesso. Infatti, la loro implementazione, prevede spesso una diminuzione dell'inquinamento ambientale dato sia dal fatto che, se il sistema funziona correttamente, permette di indirizzare sempre più utenti all'uso del trasporto pubblico - il caso di Guangzhou da questo punto di vista risulta essere il più rappresentativo - e sia dal uso di veicoli poco inquinanti. Più precisamente, dove le risorse finanziarie lo permettono, è previsto l'utilizzo di veicoli a basse emissioni o comunque alimentati elettricamente o a gas naturale.

In conclusione è possibile dedurre che, affinché si possa progettare un sistema che funzioni correttamente e sia in grado di fornire un servizio di elevate capacità e qualità, è necessario sia considerare le esperienze applicative mondiali sia progettare correttamente quelle che sono le caratteristiche principali del sistema. Particolare attenzione dovrà essere fatta alle vie di marcia, dalla quale dipenderanno poi tutte le altre caratteristiche a seconda del livello di servizio che si vorrà ottenere. Inoltre è bene collaborare con le comunità in modo tale da esporre chiaramente caratteristiche, limiti e costi del sistema che si andrà a realizzare, per evitare così di avere problemi di scarsa immagine ed identità. Infine, per una corretta progettazione, sarebbe bene pensare come se si stesse progettando un sistema su ferro che però adoperi mezzi gommati, preferibilmente poco inquinanti.

BIBLIOGRAFIA

AA.VV (2001). *“Mass Transit: Bus Rapid Transit Shows Promise”*. United States General Accounting Office, Report to Congressional Requesters.

AA.VV (2012). *“The BRT standard Version 1.0”*. Institute for Transportation & Development City.

AA.VV (2007). *“Bus Rapid Transit service guidelines”*. VTA Transit Sustainability Policy 2007.

Barr J., Clayton C. et al. (2010). *“Designing Bus Rapid Transit Running Ways”*. American Public Transportation Association (APTA), Washington DC.

Canales C. (2006). *“Public Transport policies in Europe: implementing Bus Rapid Transit systems in major european cities”*. Centre for Innovation in Transport. Technical University of Catalonia

Carey N.G (2002). *“Applicability of Bus Rapid Transit to corridors with intermediate levels of transit demand”*. Journal of Public Transportation, volume 5 no.2

Chonghua Z., Zhizhe S. (2011). *“Interface between Vehicles and Stations for Bus Rapid Transit Systems”*. ASCEE 2011.

Currie G. (2006). *“Bus Rapid Transit in Australasia: Performance, Lessons Learned and Futures”*. Journal of Public Transportation, 2006 BRT Special Edition.

Diaz R.B., Hinebaugh D. (2009). *“Characteristics of Bus Rapid Transit for Decision-Making (CBRT)”*. Federal Transit Administration U.S. Department of Transportation.

Finn B., Heddebaut O., Rabuel S. (2009). *“Bus with a high level of service (BHLS): the European BRT concept”*. Transportation Research Board. 89th Annual Meeting, Washington, D.C. January 2010.

FTA (Federal Transit Administration) (2006). *“Bus Rapid Transit Developments in China”*. Washington, DC.

FTA (Federal Transit Administration) (2001). *“Bus Rapid Transit vehicle characteristics”*. U.S. Department of Transportation, Washington, DC.

FTA (Federal Transit Administration) (2011). *“Metro Orange Line: BRT Project Evaluation”*. FTA Report No. 0004. October 2011.

- Gardner G. (1991). *"The performance of Busway Transit in developing cities"*. Transport and Road Research Laboratory (TRRL). Crowthorne, Berkshire,
- Gray G.E. et al. (2006). *"Bus Rapid Transit: a handbook for partners"*. Mineta Transportation Institute.
- Grava, S. (2003) *"Urban transportation systems: Choices for communities"*. McGraw-Hill, New York
- Guha R. (2011). *"Pre-Feasibility of Bus Rapid Transit (BRT) and Metro Rail in Old Dhaka"*. Bangladesh university of engineering and technology.
- Hensher D.A. and Golob T. F. (2008). *"Bus Rapid Transit systems: a comparative assessment"*. Transportation, Volume 34 no. 4.
- Hidalgo D. (2009). *"Bus Rapid Transit in Asia: from quantity to quality"*. Transport TRB Annual Meeting, Washington DC. January 2009.
- Hidalgo D. and Graftieaux, P. (2008). *"Bus rapid transit systems in Latin America and Asia results and difficulties in 11 cities"*. Transportation Research Record.
- Jarzab J. T., Lightbody J. and Maeda E. (2002). *"Characteristics of bus rapid transit projects: an overview"*. Journal of Public Transportation, volume 5 no. 2.
- Jianguo Z., Liangpeng H. (2011). *"The layout planning of Bus Rapid Transit (BRT) network"*. International Conference on Transportation Engineering 2011.
- Kittelson & Associates, Inc. and Levinson H. S. (2007) *"Bus Rapid Transit Practitioner's Guide (TCRP Report 118)"*. Transportation Research Board. Washington, DC .
- Kittelson & Associates Inc., KFH Group Inc., Parsons Brinckerhoff Quade & Douglass Inc., K. Hunter-Zaworski (2003) *"Transit Capacity and Quality of Service Manual (TCRP Report 100)"*. US Transit Cooperative Research Program, Washington, D.C.
- Kodukula S. (2011). *"Sustainable Transport and Bus Rapid Transit"*. GIZ Transport Policy Advisory Services. Fifth Asia Pacific Urban Forum. Bangkok, Thailand
- Kulyk W. (2004). *"Vision Statement and Action Plan"*. Federal Transit Administration: Bus Rapid Transit (BRT) Initiative.
- Leroy W. Demery (2004). *"Bus Rapid Transit in Curitiba, Brazil - An Information Summary"*. Publictransit, Special Report 1.

Levinson H., Zimmerman S., Clinger J. and Rutherford S. (2002). “*Bus rapid transit: an overview*”. Journal of Public Transportation, Volume 5 no.2.

Levinson H. S., Zimmerman S., et al. (2003). “*TCRP Report 90, Bus Rapid Transit, Volume 1 - Case studies in Bus Rapid Transit,*” and “*Volume 2 - Planning and implementation guidelines in process (TCRP Project A-23).*” Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C.

Levinson H.S, Herbert S., and others (2003). “*Bus Rapid Transit: Synthesis of Case Studies*”. Transportation Research Board, Washington, D.C. Annual Meeting 2003.

Liu Y., Lei Y., Xumei C. (2007). “*Benefit analysis on Bus rapid Transit exclusive lanes*”. International Conference on Transportation Engineering 2007.

López Lambas M.E. and Valdès C. (2010). “*Squaring the circle: the BHLS concept*”. Association for European Transport and contributors 2010.

Maunganidze L. (2011). “*The role of Bus Rapid Transit in improving public transport levels of service, particularly for the urban poor users of public transport*”. Faculty of Engineering & the Built Environment Centre for Transport Studies, Cape Town.

Meirelles A. (2000). “*A Review of Bus Priority Systems in Brazil: from Bus Lanes to Busway Transit*”. Smart urban transit conference, 17-20 ottobre 2000, Brisbane (Australia).

Menckhoff G. (2005). “*Latin America experiences with Bus Rapid Transit*”. Annual Meeting – Institute of Transportation Engineers, Melbourne (Australia).

Menckhoff G. (2011). “*Some comments on proposed BRT scoring system*”. ITDP Transport Systems Summit, Bogotá, 22 giugno 2011

Polzin S. E. and Baltés M. R. (2002). “*Bus rapid transit: a viable alternative?*” Journal of Public Transportation, Volume 5 no. 2.

Rebelo J.M. (2003). “*Basic Busway data in Latin America*”. Université Lumière Lyon 2.

Rodríguez D.A and Mojica C.H (2008). “*Land value impacts of bus: The case of Bogotá’s Transmilenio*”. Lincoln Institute of Land Policy

Sandoval E.E and Hidalgo D. (2002). *“TransMilenio: a high capacity-low cost Bus Rapid Transit system developed for Bogotá”*. Urban Public Transportation System.

Sorg D. (2011). *“Bus rapid transit systems and beyond”*. ETH Swiss federal Institute of technology Zurich.

Suisman D. (2002). *“The Los Angeles metro rapid system: designing rapid bus service from the sidewalk up”*. Urban Public Transportation System.

Transportation Research Board (1999). *“The Role of Transit Amenities and Vehicle Characteristics in Building Transit Ridership: Amenities for Transit Handbook and the Transit Design Game Workbook (TCRP Report 46)”*. National Research Council, Washington, D.C.

Taotao D., Nelson J.D. (2010). *“Recent Developments in Bus Rapid Transit: A Review of the Literature”*. Transport Reviews, volume 31, no. 1, January 2011.

US GAO (2001). *“Bus Rapid Transit Shows Promise”*. GAO-01-984. Washington, DC.

Van Der Spek D. (2010). *“THE ZUIDTANGENT: experiences with BHLS in the Amsterdam region”*. COST-BHLS.

Vuchic V. (2005) *“Urban Transit: Systems and Technology”*. Hoboken NJ.

William V., Callaghan Jerram L. (2006). *“The Potential for Bus Rapid Transit to Reduce Transportation-Related CO₂ Emissions”*. Journal of Public Transportation, 2006 BRT Special Edition.

Wright L. (2010). *“Bus rapid Transit: a public transport renaissance”*. Built environment, volume 35 no. 3.

Wright L., Hook W. (2007). *“Bus Rapid Transit Planning Guide”* 3rd edition. Institute for Transportation & Development Policy, New York

Wright L. (2010). *“The European Bus with a High Level of Service (BHLS): Concept and Practice”*. Built environment, volume 36 no.3

Wright L. (2003). *“Sustainable Transport: A Sourcebook for Policy-makers in Developing Cities”*. Module 3b: Bus Rapid Transit. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Eschborn.

Yabe T. and Nakamura F. (2005). *“Study on the relationship between capacity, cost and operation alternatives of Bus Rapid Transit”*. Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, volume 4.

Siti web

www.asce.org
www.bhls.eu
www.brtbrasil.org.br
www.busaustralia.com
www.chinabrt.org
www.curitiba.pr.gov.br
www.dft.gov.uk
www.en.wikipedia.org
www.fta.dot.gov
www.gao.gov
www.gobrt.org
www.itdp.org
www.morethanyouthink.com
www.nbrti.org
www.nationmaster.com
www.pittsburghtransit.info
www.quito.gov.ec
www.ricerchetrasporti.it
www.transjakarta.co.id
www.transmilenio.gov.co
www.trb.org