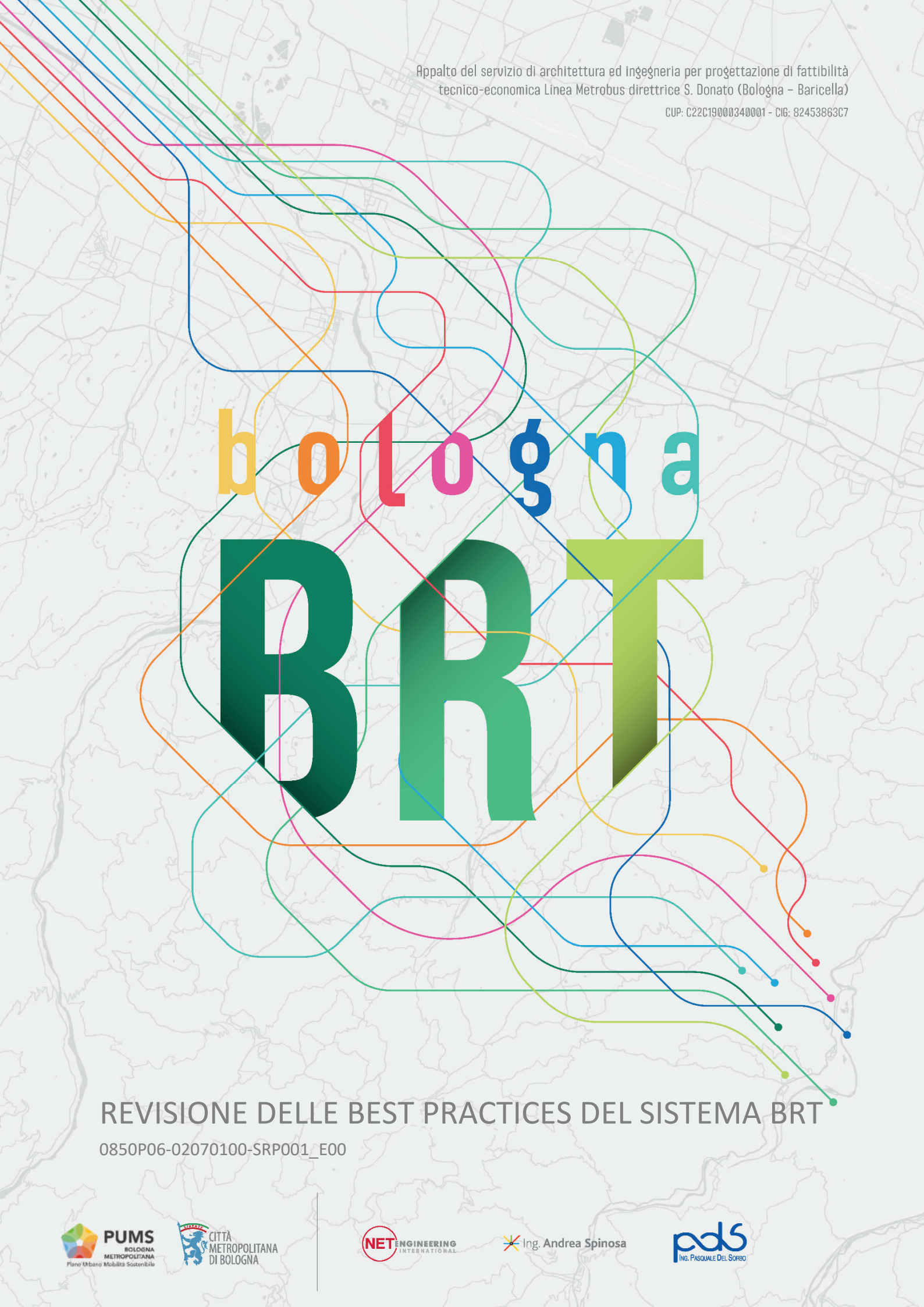


Appalto del servizio di architettura ed ingegneria per progettazione di fattibilità
tecnico-economica Linea Metrobus direttrice S. Donato (Bologna - Baricella)

CUP: C22C19000340001 - CIG: 82453863C7



bologna BRT

REVISIONE DELLE BEST PRACTICES DEL SISTEMA BRT

0850P06-02070100-SRP001_E00

DATA	CODICE RELAZIONE	REV.
12/2020	0850P06-02070100-SRP001_E00	0

REV	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
0	Emissione	12/2020	C. Vor Nell	G. Acciaro	M. Lelli

<u>Il Responsabile del progetto e dell'integrazione fra le prestazioni specialistiche</u> Ing. Simone Eandi Ordine degli Ingegneri della Provincia di Cuneo, n. 1418/A (Firmato digitalmente)	<u>Il Progettista</u> Ing. Giovanni Acciaro Ordine degli ingegneri della Provincia di Roma, n. 21715/A (Firmato digitalmente)	<u>Il Direttore tecnico</u> Ing. Giovanni Acciaro Ordine degli ingegneri della Provincia di Roma, n. 21715/A (Firmato digitalmente)
---	---	---

Sommario

Revisione delle best practices del sistema Bus Rapid Transit	1
1 Premessa	1
2 Obiettivi dell'analisi	1
3 Approccio metodologico	1
4 Il Bus Rapid Transit: definizione, evoluzione, esempi.....	2
4.1 La definizione del servizio	2
4.2 Cenni sulla evoluzione del BRT ed esempi nel mondo	2
5 Confronto tra Sistemi di Trasporto.....	4
5.1 La capacità del sistema BRT	5
5.2 La velocità commerciale dei sistemi BRT	6
5.3 Il Sistema Bus Rapid Transit nel Mondo	7
5.4 Casi di studio confrontabili con Bologna	13
5.5 Applicazioni del sistema Bus Rapid Transit in Italia	22
6 Sintesi delle raccomandazioni di replicabilità delle soluzioni	25
6.1 La tipologia di sede	25
6.2 La regolazione delle intersezioni	26
7 Conclusioni	27
8 Bibliografia	28

Indice delle figure

Figura 5—1: esperienze di BRT nel mondo in termini di lunghezza del tracciato (km).....	4
Figura 5—2: esperienze di BRT nel mondo in termini di domanda giornaliera (pass/day)	5
Figura 5—3 Confronto delle Capacità dei diversi sistemi di trasporto	6
Figura 5—4 Capacità e costi capitali per i diversi sistemi di trasporto di massa – BRT Planning guide (2007).....	6
Figura 5—5 Velocità commerciali nei diversi sistemi di trasporto	7
Figura 5—6: Confronto indicatori di sistema	7
Figura 5—7: Percentuale di segregazione (in blu) vs. lunghezza totale delle linee (in arancio)	9
Figura 5—8: Correlazione tra la velocità commerciale e la percentuale di segregazione.....	10
Figura 5—9: Catchment Areas con differenti distanze tra le fermate	11
Figura 5—10: Correlazione tra la densità delle fermate e la velocità commerciale.....	11
Figura 5—11: Domanda di picco, correlazione tra il valor massimo sopportabile dalla linea (in arancio) e il valor medio di tutti i corridoi della città (in blu)	12
Figura 5—12: Correlazione tra la velocità commerciale e la domanda di picco	13
Figura 5—13: Sintesi dei risultati	14
Figura 5—14: Inquadramento delle velocità commerciali per le relative città.....	15
Figura 5—15: Correlazione tra velocità commerciale e densità tra le fermate	16
Figura 5—16: Correlazione tra la velocità commerciale e la lunghezza totale della linea BRT.....	17
Figura 5—17: Analisi della tipologia di regolazione semaforica (tecnologia ITS).....	18
Figura 5—18 Inquadramento della linea BRT di Helsinki	19
Figura 5—19 Fermata BRT ad Helsinki	20
Figura 5—20 The Spurbus – Essen, tipologia di fermata, sede non vincolata	20
Figura 5—21 Inquadramento delle linee BRT di Rouen	21
Figura 5—22 Sistema di regolazione in rotatoria, BRT di Rouen	22
Figura 5—23 Fermata TEOR - Rouen.....	22
Figura 5—24: fermata “tipo”	23

Figura 5—25 Schema del funzionamento del sistema di protezione delle tratte banalizzate.....	23
Figura 6—1: esempio di sede riservata, non segregata, con variazione di sezione per il BRT – parte a doppio senso, parte a senso unico – particolare del punto di variazione sezione (Rouen)	25
Figura 6—2: esempio di sede riservata, non segregata, con corsia mista per le due direzioni del BRT– particolare del punto di variazione della direzione (Rouen)	25
Figura 6—3: esempio di sede in parte riservata, in parte “variante” rispetto alla carreggiata stradale– particolare del punto di intersezione (Rouen)	26
Figura 6—4: esempio di sede riservata, non segregata – particolare della sezione e dei materiali utilizzati (Rouen).....	26
Figura 6—5: esempio di preferenziazione all’intersezione con approcci separati per veicoli e BRT (in “corretto tracciato”) (Rouen).....	26
Figura 6—6: esempio di sede segregata, con attraversamento della rotatoria gestita “a precedenza”, fermata in rotatoria e attraversamento pedonale a livello sfalsato (Catania).....	27
Figura 6—7: esempio di sede riservata con intersezione con la rete stradale ordinaria – particolare del punto di intersezione (Amsterdam)	27
Figura 6—8: : esempio di sede segregata con intersezione con la rete stradale ordinaria– particolare del punto di intersezione (Amsterdam - credit to: Karl Fjellstrom, Far East Mobility)	27

Indice delle tabelle

Tabella 5.1: distanze di accesso alle stazioni/fermate del TPL.....	10
Tabella 5.2: caratteristiche del BRT di Helsinki	19
Tabella 5.3: caratteristiche del BRT di Essen.....	20
Tabella 5.4: caratteristiche del BRT di Rouen	21

Revisione delle best practices del sistema Bus Rapid Transit

1 Premessa

Il sistema del Bus Rapid Transit (BRT) costituisce una applicazione del sistema dei trasporti con una lunga tradizione per lo più geograficamente correlata alle grandi aree metropolitane dei Paesi emergenti, testimoni di evoluzioni urbane tanto massive quanto rapide nel tempo e caratterizzate da vincoli economici e finanziari rilevanti.

In questo senso il BRT ha spesso costituito una soluzione per soddisfare i fabbisogni di mobilità con prestazioni elevate, sia in termini di capacità sia di velocità, mantenendo un basso livello di infrastrutturazione. Conseguentemente, il BRT ha garantito costi di realizzazione e manutenzione contenuti, e rapidità di implementazione.

L'esperienza di questi Paesi è spesso caratterizzata da una via di marcia completamente segregata rispetto alla viabilità ordinaria, un servizio ad elevatissima frequenza esercito con materiale autosnodato a 2 e 3 casse, per lo più alimentato a combustibile fossile.

D'altro lato, ciò ha comportato un utilizzo del sistema "su gomma" spesso all'estremo delle sue capacità prestazionali, di fatto funzionando al di fuori del cosiddetto "intervallo di convenienza" economico del sistema, sostanzialmente non considerando le inefficienze intrinseche del sistema a soddisfare determinati livelli di domanda.

Solo recentemente il sistema BRT è stato introdotto per le aree urbane in Europa, costituendo un'evoluzione della classica busvia in sede riservata, con l'obiettivo di soddisfare i fabbisogni di mobilità intermedi tra il sistema bus su gomma classico e i sistemi a guida vincolata (tramvie in particolare) in un contesto di media densità. Il BRT costituisce quindi un sistema con prestazioni elevate in termini di velocità, accessibilità, comfort, impatti sull'ambiente che abbia costi di realizzazione contenuti e tempi di realizzazione brevi. Tali prestazioni sono garantite da un'opportuna segregazione dal traffico veicolare, spesso considerando soluzioni puntuali – e non segregando l'intero tracciato – da un sistema tecnologico di monitoraggio del bus e preferenziamento – anche selettivo – alle intersezioni semaforizzate, da una infrastruttura che garantisce comfort al passeggero in attesa e facilità di imbarco e sbarco nelle fasi di salita e discesa, da un mezzo a bassa emissione.

Il BRT, prefigurato dal PUMS della Città metropolitana di Bologna e oggetto delle analisi, si colloca in questo contesto e costituisce probabilmente la prima esperienza in Italia di utilizzo in un contesto non solo urbano, ma finalizzato a soddisfare i fabbisogni di mobilità pendolare e di adduzione all'area urbana, integrandosi chiaramente nella rete dei servizi metropolitani e regionali garantiti dalla ferrovia e dalle linee su gomma extraurbane grazie alla realizzazione dei cosiddetti "centri di mobilità".

2 Obiettivi dell'analisi

In questo contesto, le attività di cui al presente documento si pongono l'obiettivo di analizzare contesti, esperienze, buone pratiche e "lezioni apprese" di BRT già sviluppati nel Mondo e poi in particolare in Europa per poter meglio indirizzare le scelte progettuali considerando:

- I vincoli e i criteri individuati dal MIT per l'eleggibilità del progetto all'istanza di finanziamento per il trasporto rapido di massa (TRM) con specifico riferimento ai valori minimi di velocità commerciale e capacità offerti dal sistema;
- Il contesto di riferimento in termini di densità insediativa e più ingenerale di "forma urbana" cui il sistema è chiamato a inserirsi e a rispondere ai relativi fabbisogni di domanda, peraltro ponendosi l'obiettivo di incidere in modo rilevante sulla ripartizione modale e la diminuzione della quota di mobilità privata;
- Le soluzioni progettuali specifiche, sia di tipo geometrico funzionali, sia di tecnologiche e di regolazione già intraprese in altre esperienze, appunto, evidenziando elementi di replicabilità delle stesse laddove si ritenessero utili a migliorare le prestazioni, ridurre gli impatti, incrementare la sicurezza per pedoni, biciclette, veicoli a motore.

3 Approccio metodologico

L'approccio individuato per rispondere agli obiettivi prefissati tenendo conto del contesto di riferimento in termini urbanistici, tecnologici e di sviluppo della rete, è articolato secondo seguenti punti:

- Individuazione di una definizione condivisa del concetto di BRT, sulla base di quanto disponibile in letteratura con riferimento sia alla ricerca applicata sia alle esperienze di progetto già sviluppate nei diversi Paesi;
- Definizione e quantificazione di indicatori specifici delle caratteristiche e delle prestazioni del servizio, considerando una base dati disponibile per le diverse esperienze nel mondo;
- Identificazione e quantificazione della correlazione tra indicatori rilevanti, che possano fornire spunti progettuali per il caso oggetto di studio per la Città metropolitana di Bologna;

- Focus specifico su esperienze che, per caratteristiche del contesto possono essere considerate analoghe a quello della Città metropolitana e che per tipologia e prestazioni del servizio possano essere considerate quali riferimenti per la progettazione;
- Dettaglio di elementi di progetto che presentano elementi di “replicabilità” rispetto al progetto della Città metropolitana.

Il metodo è peraltro propedeutico e integrato alle attività relative alla scelta delle alternative in materia di materiale rotabile che, anche in questo caso, pongono sfide importanti per rispondere a criteri di efficienza, di sostenibilità, di coerenza con il contesto tecnologico di riferimento, e infine, di futura contendibilità del mercato.

4 Il Bus Rapid Transit: definizione, evoluzione, esempi

4.1 La definizione del servizio

A livello internazionale, i criteri che definiscano in toto un sistema Bus Rapid Transit (BRT) continuano ad essere oggetto di ampia discussione. *BRTdata*, uno dei più ampi database a livello globale di *EMBARQ/WRI Cities* e di *BRT Centre of Excellence* (tra le altre), definisce il BRT come un bus su gomma caratterizzato da:

- velocità commerciali elevate rispetto al servizio di Trasporto Pubblico Locale (TPL);
- frequenza elevate rispetto al tradizionale cadenzamento delle linee bus;
- marcata identità del servizio, garantita da una immagine coordinata tra materiale rotabile, nodi di accesso e infrastruttura, informazione all’utenza e bigliettazione.

Raveau et al. (2016) sostengono che “[...] il sistema Bus Rapid Transit, al fine di attuare il suo potenziale di fornire un servizio di metropolitana in superficie, dovrebbe ridurre i tempi di percorrenza, essere confortevole per gli utenti, ridurre i tempi di attesa e garantirne l’affidabilità, poiché questi attributi, tra gli altri, possono influenzare il livello di servizio percepito dagli utenti”.

Tale servizio BRT può essere ottenuto aumentando la velocità commerciale, la frequenza, la capacità e regolarizzando gli *headways* (Muoz 2015).

Il “Bus Rapid Transit Planning guide” specifica che nel mondo, anche se chiamato con nomi diversi, il sistema Bus Rapid Transit deve possedere le seguenti caratteristiche:

- Alta capacità;
- Alta qualità;
- Corsie dedicate e prioritizzazione alle intersezioni.

Levinson et al. (2003, 1), in una delle definizioni più citate in letteratura, descrivono il BRT come una **“forma flessibile e su gomma di trasporto rapido che combina stazioni, veicoli, servizi, vie di corsa e tecnologie dell’informazione in un sistema integrato con una forte identità”**. Wright e Hook (2007, 12) tracciano uno spettro di trasporto pubblico a più livelli, definendo un “BRT completo” come un sistema di autobus che abbia le seguenti caratteristiche: **“qualità di servizio della metropolitana; rete integrata di percorsi e corridoi; stazioni chiuse e di alta qualità; verifica della qualifica di bordo; servizio frequente e rapido; veicoli moderni e puliti; riconoscibilità ed immagine coordinata; servizio clienti superiore”**.

4.2 Cenni sulla evoluzione del BRT ed esempi nel mondo

È da sottolineare che solo poche città, nel Mondo, hanno un BRT che racchiuda tutte queste caratteristiche.

Dagli anni ’70 ad oggi il sistema Bus Rapid Transit (BRT) si sta diffondendo in tutto il contesto mondiale, grazie alla sua **estrema flessibilità e capacità di adattarsi a molteplici contesti** (urbani ed extraurbani), adottando caratteristiche funzionali e progettuali differenti.

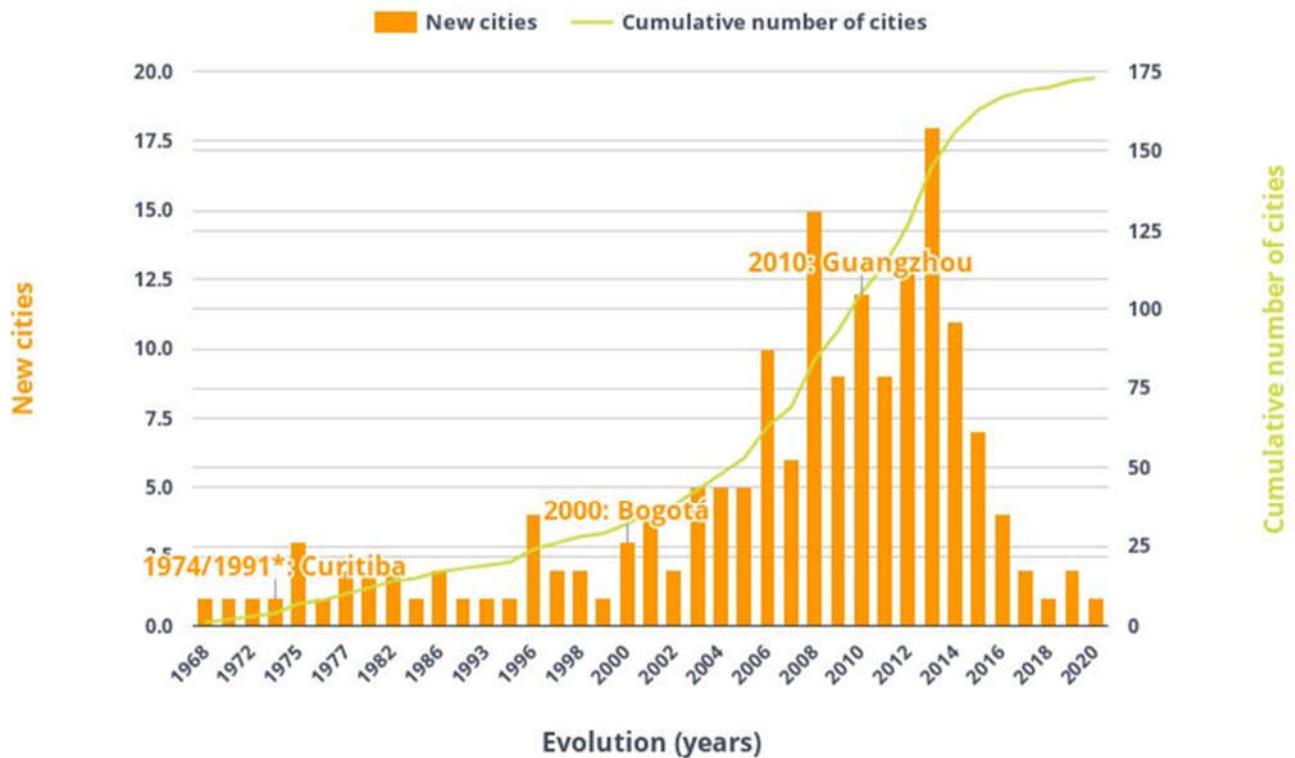
Le prime applicazioni sono emerse in America Latina per rimediare alla forte urbanizzazione e crescita demografica, riuscendo a fornire un sistema di **trasporto di massa veloce**, sostenendo costi infrastrutturali sensibilmente inferiori a quelli dei sistemi su ferro (LRT, Tram, Metropolitana). I primi sistemi sono stati istituiti negli anni ’70 e ’80 in seguito al successo della *Rede Integrada de Transporte* di Curitiba, in Brasile, fondata nel 1974.

Nell’Europa occidentale, negli ultimi decenni, si stanno attuando misure che mirano a ridurre l’uso delle automobili. Tale risultato può essere ottenuto mediante l’utilizzo di un pacchetto coordinato di politiche di trasporto e del suolo, che contemporaneamente migliorino le condizioni per i trasporti pubblici e gli spostamenti attivi, rendendo l’automobile più lenta, meno conveniente e più costosa.

I sistemi Bus Rapid Transit (BRT) possono essere intesi come un’innovazione in grado di trasformare le città e il modo in cui le persone si muovono, costituendo un passo importante verso le reti di trasporto pubblico integrate e fungendo da catalizzatore per lo sviluppo urbano.

Pertanto il sistema BRT non dovrebbe essere considerato come un mero sostituto delle infrastrutture ferroviarie, ma come un sistema in grado di svilupparsi anche in realtà in cui già esiste un sistema di trasporto pubblico su gomma ben organizzato.

Dal grafico in figura si evidenzia la diffusione del sistema Bus Rapid Transit nel Mondo nel corso degli anni. E' evidente come negli ultimi 20 anni la crescita del numero di iniziative di BRT è rapidamente evoluta, ma, come vedemo, senza interessare in modo importante le città europee: sud America e Cina rimangono gli ambiti preferenziali di applicazione, probabilmente spinti dai finanziamenti delle Banche di sviluppo.



L'implementazione dei sistemi BRT, in coerenza con le caratteristiche e gli obiettivi che si prefiggono, di fatto considera macro-categorie di intervento come di seguito:

- **Realizzare corsie segregate per evitare promiscuità tra servizio BRT e traffico veicolare:** in questo modo è possibile aumentare la velocità media, in quanto il servizio non è influenzato dalla congestione veicolare (Carrigan et al. 2013; Cervero 2013; Lindau et al. 2013);
- **Fornire la priorità in prossimità delle intersezioni, in modo da garantire sempre il verde:** ciò aiuterebbe a mantenere la regolarità lungo il percorso riducendo i ritardi agli incroci e di conseguenza aumentando la velocità media degli autobus (Delgado et al. 2012; Herrera et al. 2016; Janos e Furth 2002);
- **Implementare servizi espressi:** questi servizi consentono agli autobus BRT di saltare alcune stazioni lungo la linea al fine di aumentare la velocità e risparmiare tempo di viaggio. Sono particolarmente efficaci nelle tratte con una domanda elevata e sbilanciata, in cui i passeggeri solitamente fanno lunghi viaggi. Tali servizi necessiterebbero di corsie di passaggio nelle stazioni in modo che gli autobus possano sorpassarsi (Larrañ et al. 2010);
- Fornire misure come il **pagamento delle tariffe di pre-imbarco e avere autobus con più porte:** questo può ridurre il tempo di imbarco alle fermate (Cervero 2013; Lindau et al. 2013).

5 Confronto tra Sistemi di Trasporto

Da quanto emerso al paragrafo precedente, si giunge ad una definizione sostanzialmente univoca di BRT che, di fatto, si colloca come elemento portante della rete dei servizi su gomma, caratterizzato da prestazioni elevate in particolare in termini di **capacità offerta** e **velocità commerciale**.

In tal senso è stata quindi condotta una specifica analisi per comprendere gli **elementi infrastrutturali, urbanistici, tecnologici** che influenzano direttamente o indirettamente le già menzionate prestazioni, elaborando e correlando le informazioni messe a disposizione da uno dei più ricchi ed esaustivi database di esperienze BRT nel mondo (cfr. <https://brtdata.org/>¹).

In particolare, sono state individuate 173 città in cui è implementato il sistema BRT per un totale di 390 corridoi che si sviluppano per 5.196 km, che soddisfano una domanda giornaliera complessiva di circa 34 milioni di passeggeri.

Le figure di seguito mostrano il numero di esperienze in BRT dei singoli paesi classificati rispettivamente per lunghezza del tracciato e per domanda mediamente servita nelle 24 ore.

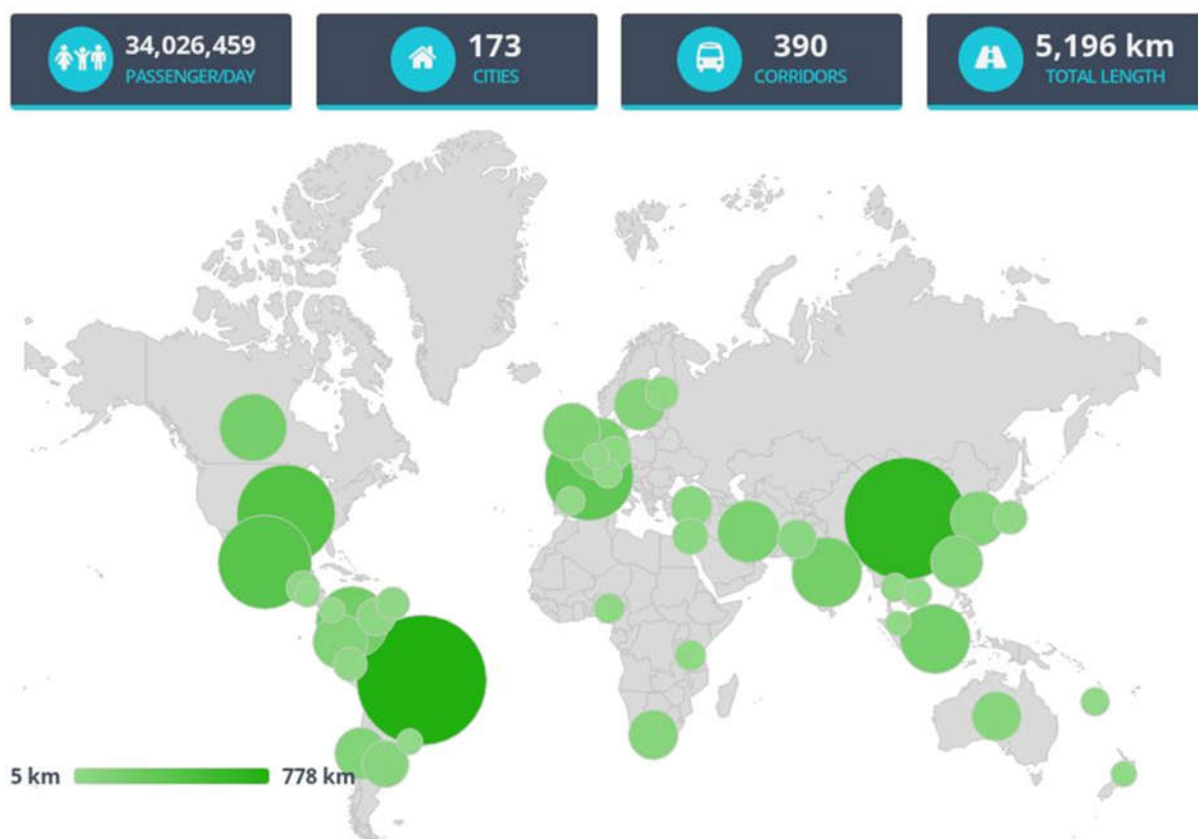


Figura 5—1: esperienze di BRT nel mondo in termini di lunghezza del tracciato (km)

¹ BRTData è un progetto di BRT + CoE, un centro di eccellenza per Bus Rapid Transit. La costruzione della piattaforma e la raccolta dei dati sono il risultato di una partnership tra i membri BRT + CoE e ITDP. Attualmente, BRTData è gestito e aggiornato dal WRI Brasil Ross Center for Sustainable Cities.

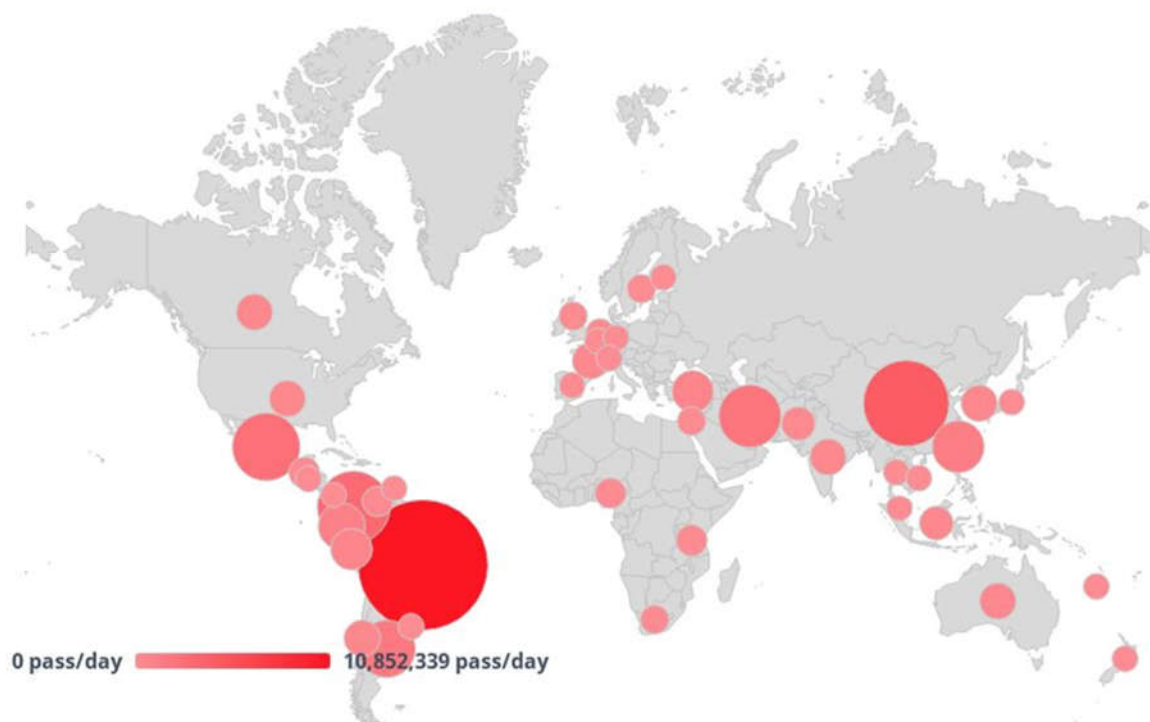


Figura 5—2: esperienze di BRT nel mondo in termini di domanda giornaliera (pass/day)

Sono stati quindi analizzati e correlati i seguenti indicatori caratteristici del sistema BRT, con il duplice obiettivo di classificare le diverse applicazioni e verificare opportune correlazioni:

- **Velocità commerciale** espressa in km/h;
- **Densità delle fermate**, calcolata come rapporto tra la lunghezza del tracciato e il numero di fermate, espressa in metri;
- **Domanda di picco**, ovvero il massimo numero di passeggeri trasportati per ora per direzione nel segmento più caricato espresso in pass/ora/direzione;
- **Domanda giornaliera**, intesa come il numero di passeggeri totali trasportati al giorno, espresso come pass/giorno;
- **Percentuale di tratta segregata**, ovvero il rapporto tra la lunghezza delle corsie segregate e la lunghezza totale del corridoio (% length of segregated lanes), espresso in termini percentuali appunto.

Chiaramente gli indicatori sono fortemente legati al contesto urbanistico e insediativo: area urbana consolidata, area periferica, città metropolitana, aree sub-urbane presentano caratteristiche di densità insediativa, tipologia di urbanizzazione differenti che incidono in modo rilevante sulla densità delle fermate, sulla loro catchment area e sulla popolazione intercettata.

Parimenti, il BRT (Metrobus) della Città metropolitana di Bologna si sviluppa per buona parte in campo extraurbano e solo parzialmente si inserisce nel tessuto urbano e nella città consolidata. In tal senso, ai fini di individuare realtà confrontabili con l'ambito di progetto, è stata successivamente effettuata una selezione delle città in cui le linee del BRT si sviluppano per una lunghezza uguale o superiore a 10 km, sotto l'assunto che oltre tale distanza una parte del percorso si sviluppi in ambito suburbano o extraurbano.

5.1 La capacità del sistema BRT

Come è noto, la capacità di un sistema di trasporto, espresso in numero di posti offerti per intervallo di tempo, è condizionato da una serie di fattori differenti a seconda della tipologia di trasporto pubblico:

- la dimensione del veicolo (numero di posti offerti per mezzo di trasporto);
- il distanziamento temporale tra due passaggi (frequenza);
- caratteristiche del modello di esercizio in termini di corse limitate e/o espresse;
- infrastrutture per l'incarrozzamento dei passeggeri.

In tal senso, la flessibilità di un sistema BRT riesce a coprire un ampio intervallo di valori di capacità, di fatto "abbracciando" quella delle modalità di trasporto tradizionalmente intesi.

Infatti, laddove si può assumere un intervallo di capacità fino a 6.000 pass/h/direzione per un servizio di autobus tra i 6.000 e i 12.000 pass/h/direzione per un servizio Light rail e maggiore di 25.000 pass/h/direzione per una metropolitana, si individua per il sistema BRT un range che vai da 3.000 a 50.000 pass/h/direzione (si veda ad esempio il caso del BRT di Bogotá).

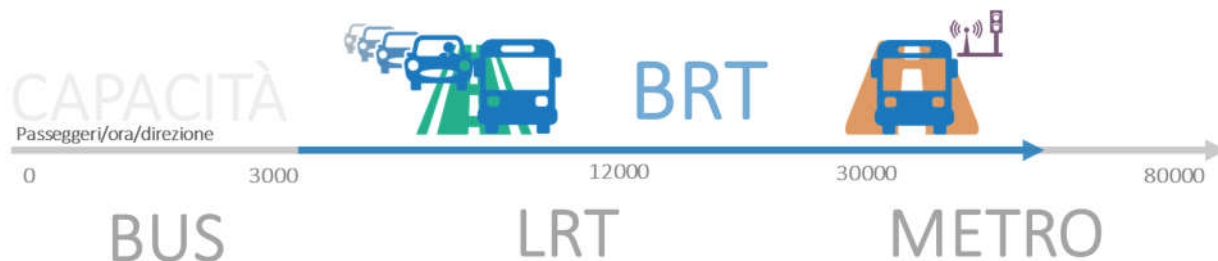


Figura 5—3 Confronto delle Capacità dei diversi sistemi di trasporto

È da sottolineare che determinare la tecnologia appropriata dal punto di vista della capacità richieda effettivamente di prestare attenzione a due diversi fattori:

- Capacità massima;
- Effettivo range economico relativo alla capacità operativa.

Il primo fattore serve a valutare se la tecnologia scelta sia sufficientemente capace per supportare il segmento di massimo carico; il secondo fattore, invece, verte a stabilire se le variazioni tra il picco e la morbida siano tali da bilanciare il dualismo che sussiste tra i costi e la tecnologia applicata.

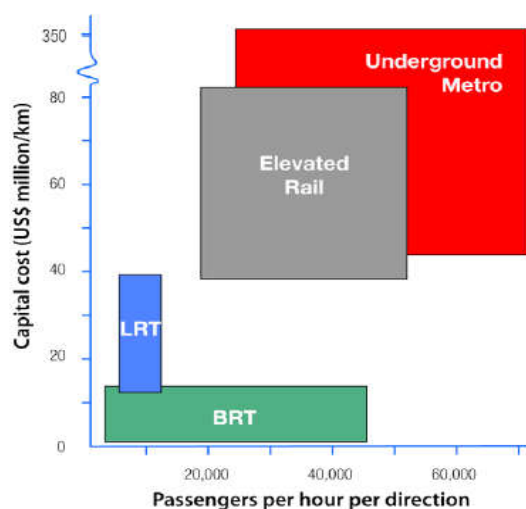


Figura 5—4 Capacità e costi capitali per i diversi sistemi di trasporto di massa – BRT Planning guide (2007)

Come riportato in Figura 5—4 vi è una relazione tra i costi e la capacità del sistema di trasporto; in particolare, le diverse aree dei rettangoli sono ugualmente rivelatrici per quanto riguarda il rischio relativo e la flessibilità complessiva per ciascun sistema di trasporto. Un sistema che minimizza i costi e massimizza lo spettro delle condizioni operative di profitto offre la soluzione più economica e flessibile.

Nei casi di studio successivamente analizzati si constaterà l'ampio intervallo di domanda servita da parte dei sistemi BRT in essere.

5.2 La velocità commerciale dei sistemi BRT

La velocità commerciale, come anticipato, costituisce l'altro fattore caratterizzante dei sistemi di trasporto di massa.

Il livello di performance che un mezzo di trasporto può raggiungere è strettamente correlato alle sue caratteristiche meccaniche, quali la propulsione, il peso, l'aerodinamica, ma, altresì, è vincolato dal contesto in cui si sviluppa la linea servita. Infatti le caratteristiche morfologiche e le condizioni di traffico sono fattori determinanti, in quanto possono vincolare la velocità in maniera significativa.

Anche in questo caso, il sistema BRT si configura ad elevata flessibilità, coprendo, come mostrato in Figura 5—5, un intervallo di velocità piuttosto ampio a seconda delle caratteristiche dell'infrastruttura su cui viaggia: nel caso di sede promiscua può variare tra i 18 e i 28 km/h, se invece circola su una linea riservata e tecnologicamente sviluppata (mediante servizio di informazione all'utenza e preferenziazione alle intersezioni) è in grado di raggiungere velocità commerciali molto più elevate (40 km/h).

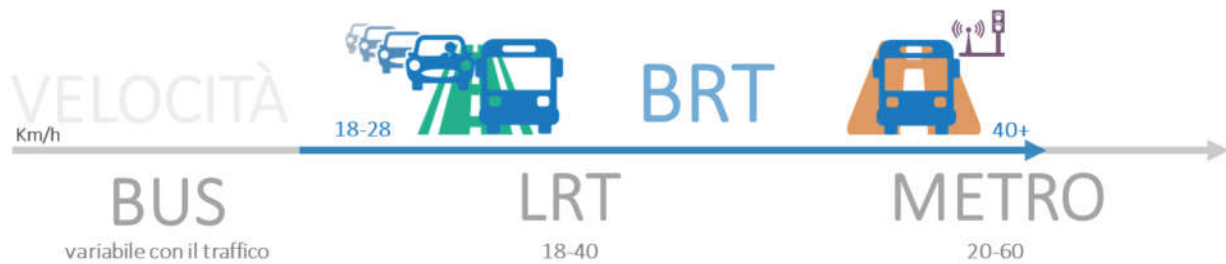


Figura 5—5 Velocità commerciali nei diversi sistemi di trasporto

5.3 Il Sistema Bus Rapid Transit nel Mondo

Alla luce delle considerazioni sin qui riportate, sono state condotte analisi specifiche per le esperienze di BRT già sviluppate nel mondo, per individuare i fattori di correlazione tra i principali indicatori di funzionalità del servizio e trarre delle conclusioni utili alle soluzioni progettuali del progetto in questione.

La Figura 5—6 evidenzia le città considerate per le analisi, corredate di una sintesi dei dati analizzati, ordinati secondo la lunghezza media delle linee del sistema BRT.

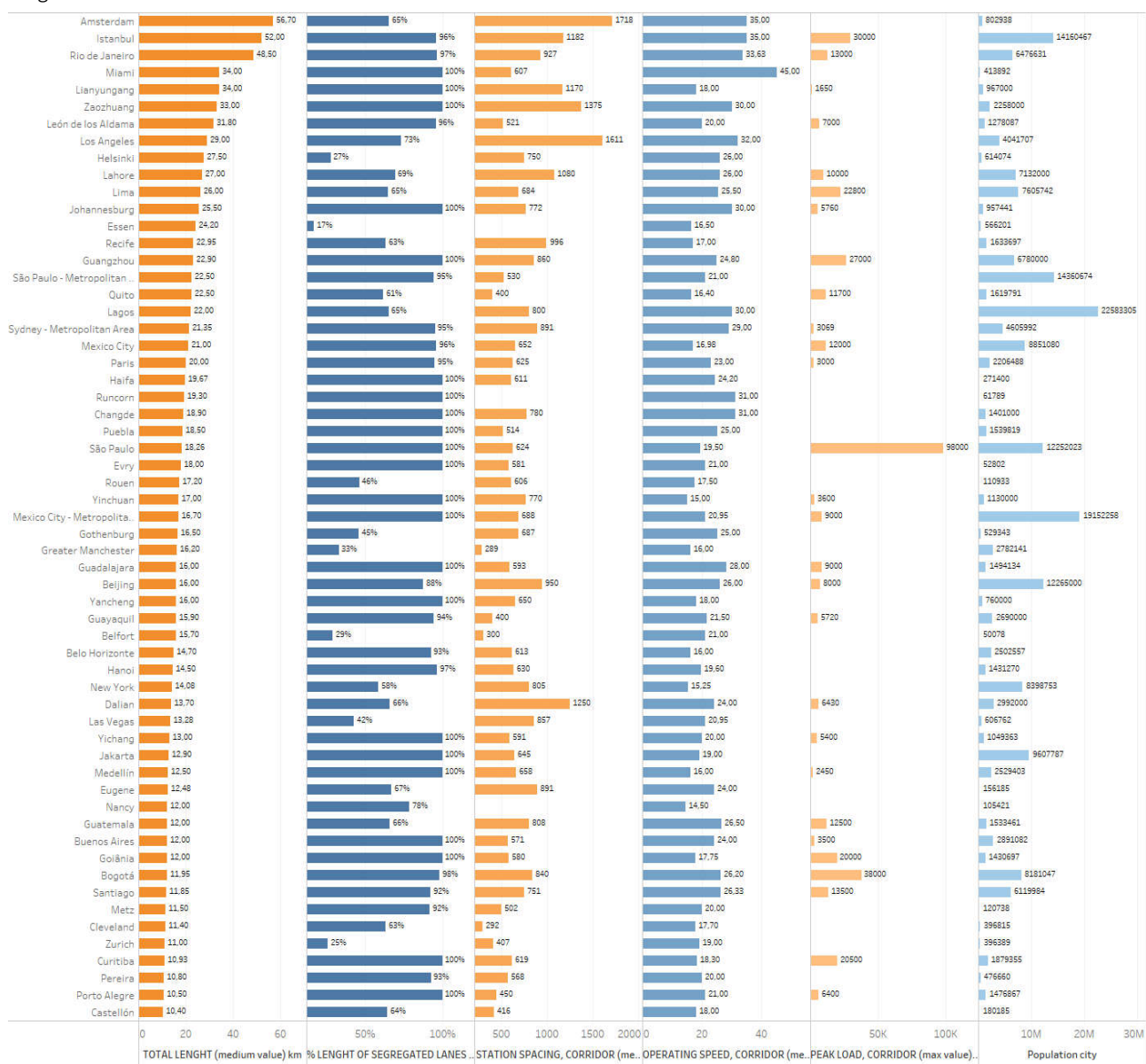


Figura 5—6: Confronto indicatori di sistema

Dalle analisi condotte è emerso come siano in particolare rilevanti le relazioni di seguito:

- percentuale di sede segregata e velocità commerciale della linea;

- densità delle fermate e velocità commerciale della linea;
- velocità commerciale della linea e domanda di picco servita (assimilabile alla capacità);
- velocità commerciale della linea e tipologia di regolazione semaforica.

5.3.1 La percentuale di segregazione della sede

La Figura 5—7 mostra, per i diversi casi di BRT nel mondo, la relazione tra la lunghezza della linea e la percentuale di sede in segregazione rispetto al traffico veicolare.

Si evince come la scelta di predisporre delle corsie dedicate al BRT non dipenda direttamente dalla lunghezza del percorso e quindi dal contesto in cui si colloca. La scelta di realizzare il percorso in una corsia totalmente dedicata è probabilmente più correlata al costo che la città è disposta a sostenere, ovvero alle caratteristiche della rete stradale, alla volontà politica di sfavorire il trasporto privato, etc.

Non è un caso che **le città che presentano il più basso livello di percentuale di sede segregata siano quelle europee** dove, verosimilmente, le caratteristiche della rete stradale, specie nei centri storici e nella città consolidata non permettono la realizzazione sedi dedicate a meno di compromettere pesantemente il deflusso veicolare.

La successiva Figura 5—8 evidenzia la correlazione tra la percentuale di segregazione e la velocità commerciale raggiunta dal servizio. Chiaramente esiste una correlazione tra le due variabili, laddove all'aumentare della percentuale di sede segregata aumenta la velocità. D'altro lato tale correlazione è piuttosto blanda: i casi europei presentano velocità basse, ma esistono casi dove pur avendo una sede quasi o del tutto segregata la velocità non subisce grandi evoluzioni. Due sono le principali considerazioni:

- Da un lato si può ragionevolmente ritenere che la scelta di tratti parziali segregati sia in qualche modo ponderata rispetto alle criticità puntuali della rete dovute alla congestione del traffico privato; in contesti dove la segregazione è complicata da attuare, si interviene in modo selettivo, perseguendo la logica del minor costo generalizzato a fronte del maggior beneficio sociale;
- Dall'altro è rilevante, come si vedrà nelle successive elaborazioni, il ruolo del distanziamento delle fermate che incide pesantemente sul diagramma di marcia e che trova solo un parziale sollievo dalla evoluzione delle prestazioni del materiale rotabile in termini di accelerazione e decelerazione.

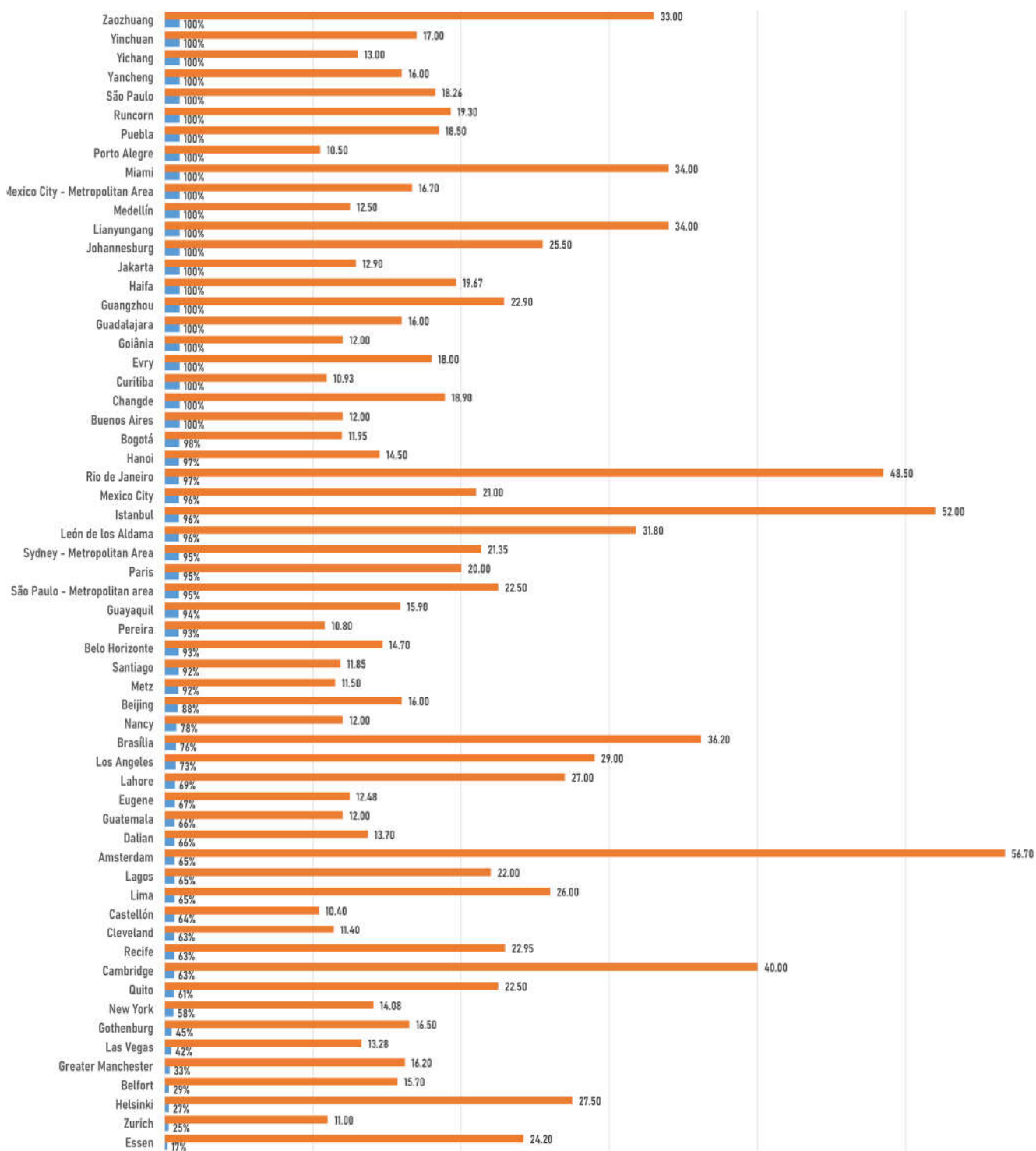


Figura 5—7: Percentuale di segregazione (in blu) vs. lunghezza totale delle linee (in arancio)

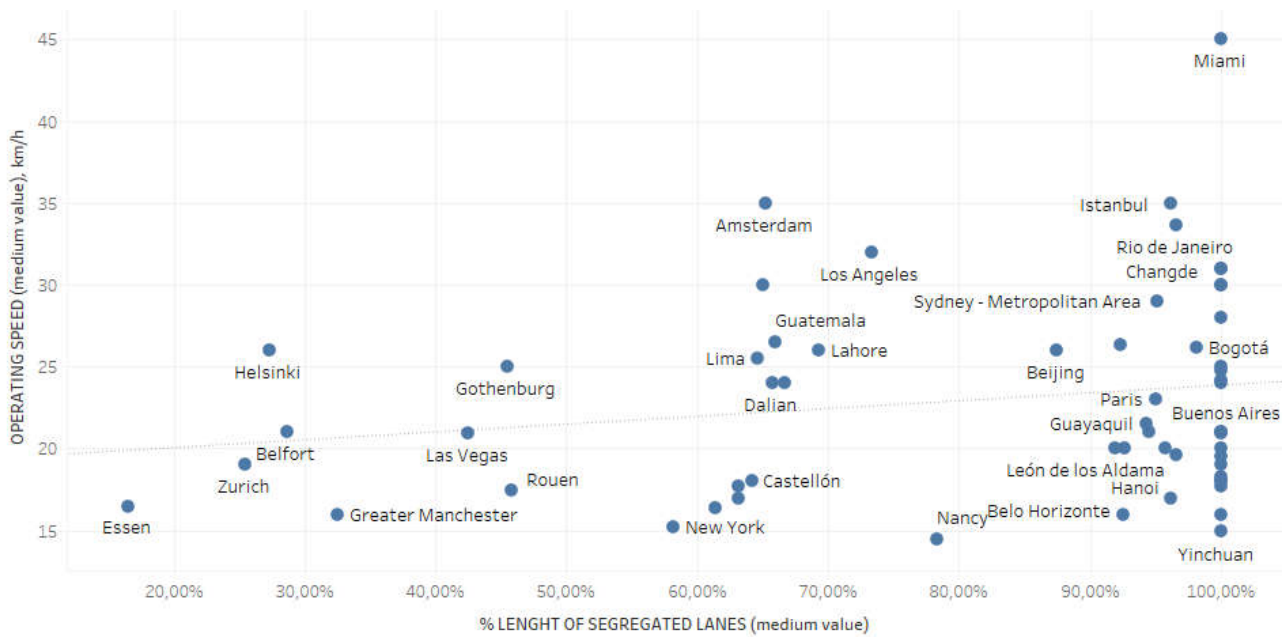


Figura 5—8: Correlazione tra la velocità commerciale e la percentuale di segregazione

5.3.2 La densità delle fermate

La densità delle fermate lungo il tracciato di un BRT costituisce l'indicatore principale per comprendere quanto il sistema sia "accessibile", se posto in relazione alla "catchment area" della singola fermata, a sua volta dipendente dalla distanza massima che l'utente è disposto a percorrere a piedi, ovvero con un sistema di adduzione (feeder). Tipicamente le distanze di accesso ai servizi di trasporto pubblico possono essere classificate come in tabella

Modalità di accesso	Distanza per molti utenti (km)	Distanza per pochi utenti (km)
Piedi	0.6-1.0	1.0-1.6
Bici	1.6-3.2	3.2-4.8
Motocicli	3.2-6.4	6.4-13.0
Taxi	4.8-6.4	6.4-9.7
Auto privata	6.4-9.7	9.7-16.0

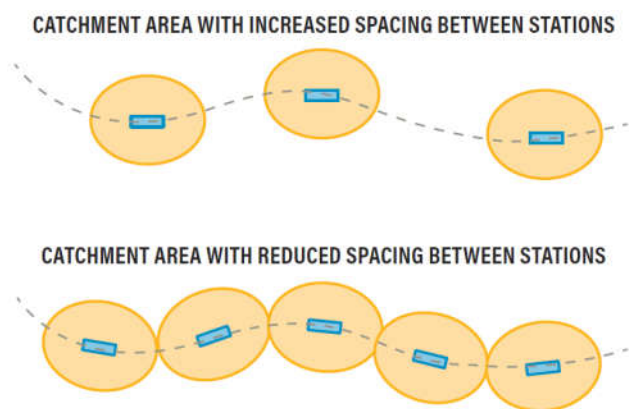
Tabella 5.1: distanze di accesso alle stazioni/fermate del TPL

Si osservi che la disponibilità degli utenti ad accedere alle fermate è condizionata anche dalla qualità del servizio, dalla disponibilità di alternative, dalle caratteristiche delle vie di accesso, dalla distanza tra le stazioni.

Solitamente, per un servizio di autobus o di tram, la distanza tra le fermate in ambito urbano varia tra i 200 e i 500 metri, per un sistema di metropolitana leggera tra mt 350 e mt 800, mentre nel caso di metropolitana classica arriva a valori compresi tra i 500- 2000 metri.

Nelle aree metropolitane, al fine di ridurre il tempo di viaggio aumentando la velocità commerciale ed incentivando l'utilizzo del trasporto pubblico, si è sviluppata una tendenza ad ampliare il distanziamento medio tra le fermate.

È importante notare che la copertura spaziale delle fermate dipende fortemente da fattori quali la configurazione urbana del corridoio e la densità della popolazione. In generale, la distanza tra le stazioni può variare lungo la linea differenziandola tra le aree centrali e le aree meno densamente popolate, al fine di massimizzare l'accesso.



Source: Vuchic 1981.

Figura 5—9: Catchment Areas con differenti distanze tra le fermate

In tal senso, **secondo gli Standard di progettazione del BRT, la distanza ideale tra le stazioni, in un'area uniformemente edificata, è di circa 450 metri (ITDP 2014a)**. L'intervallo di **distanza media tra le fermate considerato pienamente idoneo per le applicazioni BRT è compreso tra 300 e 800 metri**. La distanza spaziale media tra le fermate è compresa tra 600 e 700 metri per la maggior parte dei sistemi di priorità degli autobus nel mondo (Lindau et al. 2016).

Tuttavia, è importante sottolineare che la densità delle fermate dipenda fortemente da fattori quali la configurazione territoriale della linea (urbana/suburbana/extrurbana) ed il **gradiente di densità di popolazione per poter bilanciare velocità e accessibilità**. Infatti, non è insolito il collegamento tra le aree suburbane a quelle centrali mediante sistemi BRT.

La figura successiva mostra quindi la relazione che intercorre tra la velocità commerciale e la densità delle fermate,

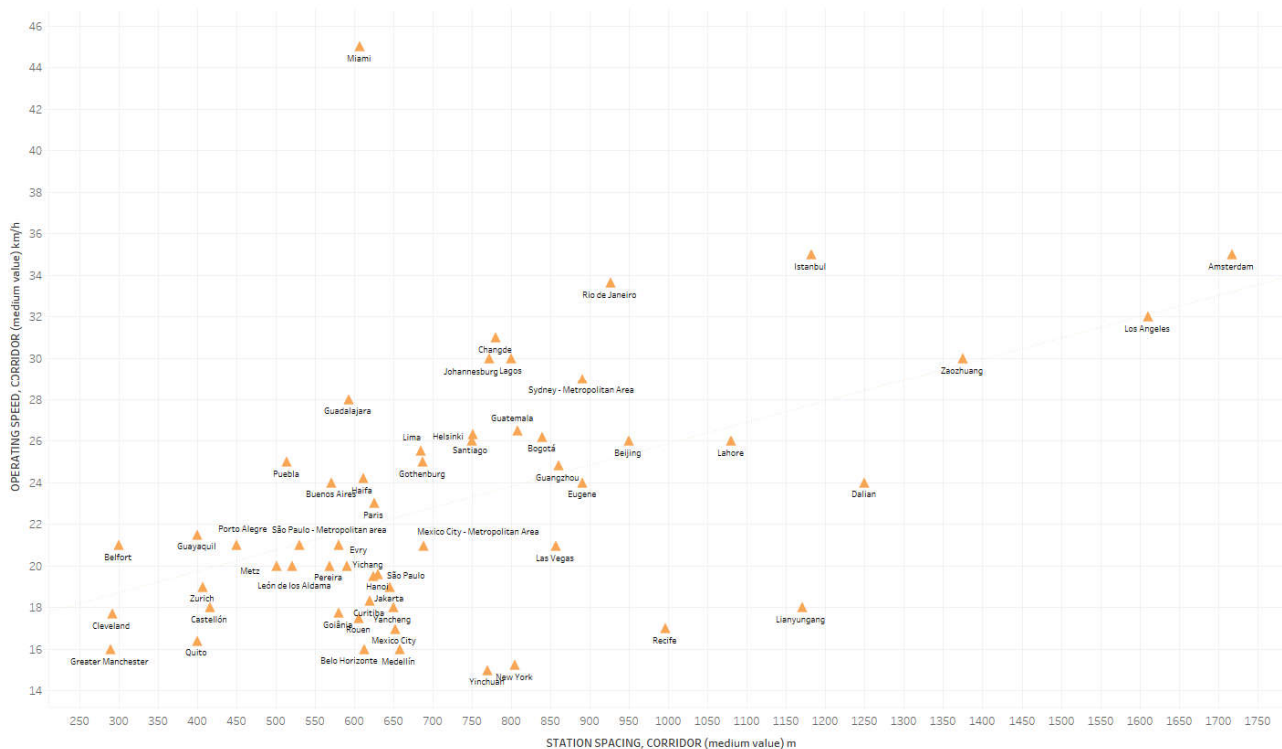


Figura 5—10: Correlazione tra la densità delle fermate e la velocità commerciale

E' chiaro come **accessibilità, prestazioni del sistema (leggasi velocità commerciale) e distanza tra le fermate** costituiscono un sistema di forte correlazione che deve trovare nella progettazione il corretto equilibrio volto alla massimizzazione dei benefici.

Il diagramma infatti mette in evidenza come all'aumentare del distanziamento si registri un incremento importante della velocità commerciale: diventa chiaramente fondamentale comprendere quali siano, o possano essere, le soluzioni di mobilità per raggiungere le fermate in modo sicuro, rapido, economico.

L'attrezzaggio delle fermate e la dotazione di servizi di mobilità feder rappresentano quindi un elemento che amplia l'accessibilità del sistema, ma al contempo garantisce un miglioramento importante delle sue prestazioni.

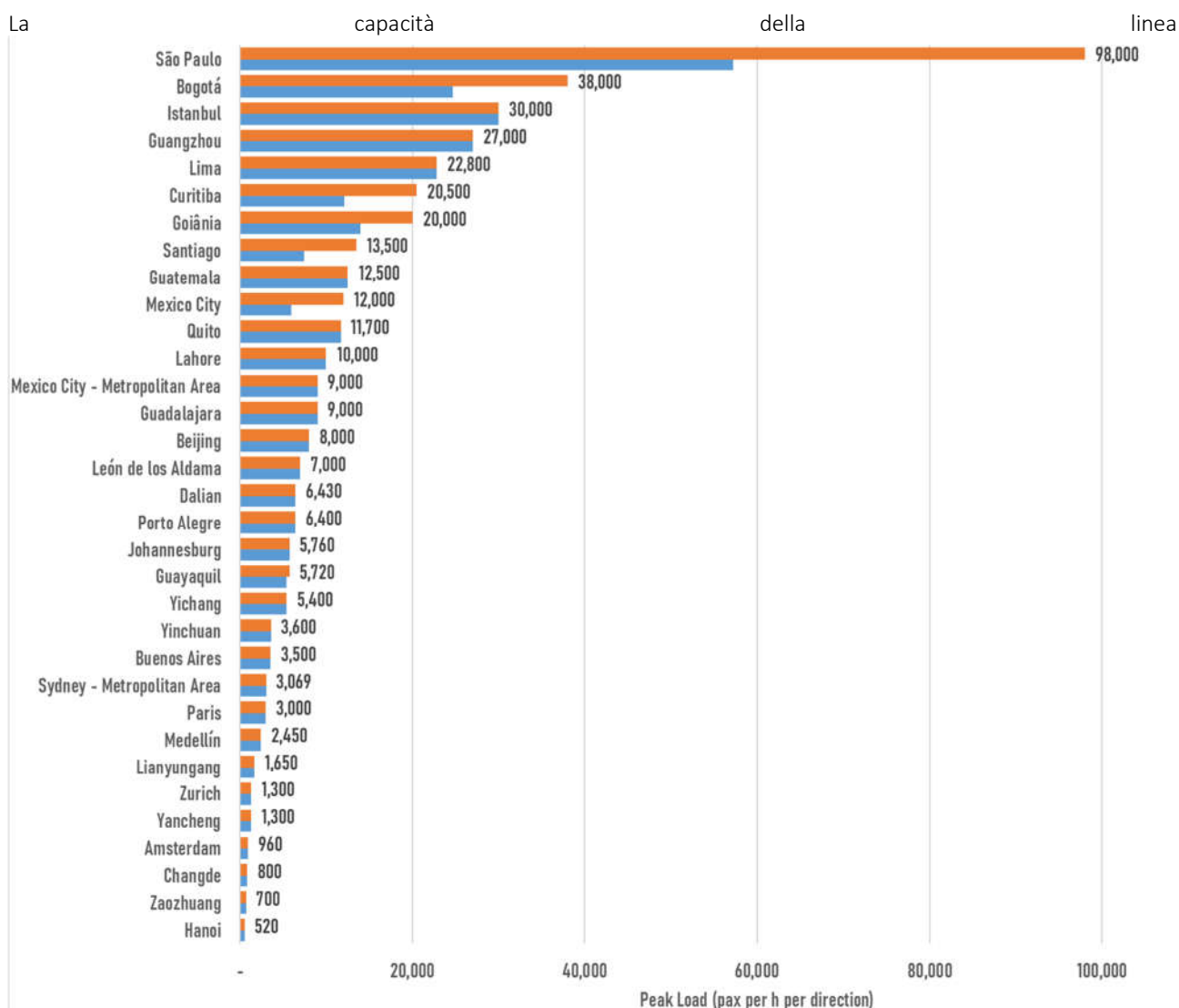


Figura 5—11: Domanda di picco, correlazione tra il valor massimo sopportabile dalla linea (in arancio) e il valor medio di tutti i corridoi della città (in blu)

La figura di fatto mette in luce la grande flessibilità del sistema BRT come già evidenziato nei paragrafi precedenti. D'altro lato, è altrettanto evidente come, al di là di alcune esperienze specifiche, la capacità varia tra i 500 passeggeri/h/direzione e i 15.000: i pochi casi europei non arrivano a servire più di 3.000 passeggeri, come nel caso di Parigi. Ciò si spiega con la rilevante tradizione europea dei sistemi di trasporto intermedi, con specifico riferimento a LRT (light rail) e tram.

Dalla figura di seguito emerge una **relazione tra il numero di passeggeri serviti e la velocità commerciale**. In particolare, emergono alcuni casi specifici di elevata capacità ed elevata velocità commerciale come la città di Istanbul. Di fatto la relazione si spiega non solo tenendo conto degli elementi di correlazione trattati in precedenza ma verificando la capacità dell'infrastruttura di fermata, correlata al materiale rotabile. Anche in questo caso è necessario rilevare la **forte dipendenza tra tempo di incarrozzamento, velocità commerciale e capacità della linea, che concorrono alla stabilità del modello di esercizio e alla possibilità di ravvicinare le frequenze, a giovamento di capacità**.

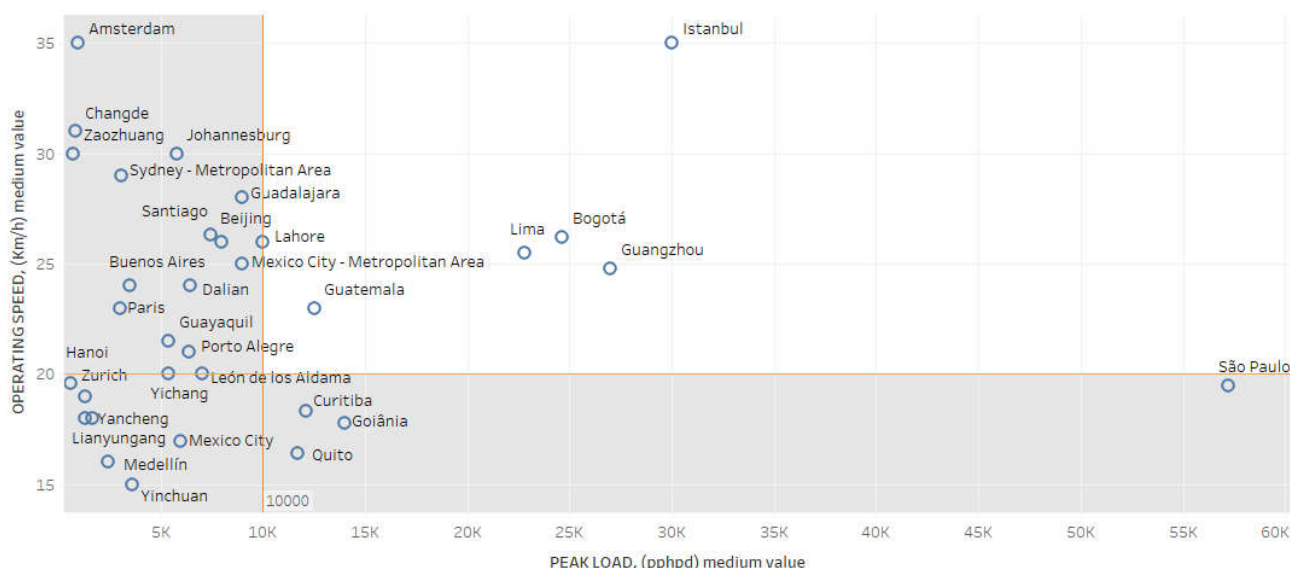


Figura 5—12: Correlazione tra la velocità commerciale e la domanda di picco

5.4 Casi di studio confrontabili con Bologna

Perseguendo l'obiettivo di individuare casi di studio e soluzioni che possano essere migrate nel contesto bolognese, sono state condotte analisi specifiche su un sottoinsieme di casi, relativi in prima istanza alle esperienze di servizi che presentano una quota di percorso sviluppato in promiscuo. In particolare, sono stati considerati i casi in cui la percentuale di segregazione sia minore o uguale al 70% (Figura 5—13).

Nella successiva Figura 5—14 Figura 5—13 si inquadrano le città analizzate e viene rappresentata in scala la **velocità commerciale** che caratterizza i sistemi BRT.

Per questi casi, la Figura 5—15 evidenzia la correlazione tra velocità commerciale e densità delle fermate. Le esperienze sono tutte per lo più comprese nell'intervallo 15-30 km/h e la correlazione pare piuttosto marcata.

Nel successivo grafico di Figura 5—16 è messa in evidenza la correlazione tra velocità commerciale e lunghezza della linea, in particolare, evidenziando l'intervallo in cui ricadono le tratte del caso di Bologna (S.Vitale e S.Donato).

I valori sono chiaramente molto variabili, poiché la sede in promiscuo accentua la dipendenza dal contesto e delle caratteristiche di sistema. Tuttavia il valore di velocità commerciale ottimale potrebbe essere intorno ai 26 km/h. Più in generale si evidenzia come per le applicazioni esistenti il valore di fondo scala sia di 15 km/h.

D'altro lato, la suddetta promiscuità (anche parziale) del sistema porta alla necessità di analizzare un altro elemento di influenza delle prestazioni del BRT, ovvero la **tipologia di regolazione alle intersezioni**, in prossimità delle quali si prevede che l'autobus abbia priorità sul traffico veicolare. Dall'analisi delle applicazioni esistenti è emerso come i sistemi che non hanno implementato il sistema di preferenziazione semaforica (ITS) hanno velocità commerciali più basse, come rappresentato in Figura 5—17.

Sono emblematici i casi, ad esempio, di Helsinki che a fronte di un tratto segregato pari al 27% del tracciato, registra anche grazie al sistema di preferenziazione una velocità di 26 km/h, Zurigo con il 25% di segregazione ha una velocità di poco inferiore ai 20 km/h. Viceversa, Lagos e Guatemala, ad esempio, presentano velocità elevate, basso livello di infrastrutturazione ai nodi ma oltre il 50% del tracciato in sede segregata.

Alla luce di tutte le considerazioni e le elaborazioni sviluppate, si ritiene utile approfondire per caratteristiche analoghe in termini di percentuale di segregazione, tipologia urbanistica e densità insediativa, i casi di Helsinki (Finlandia), Essen (Germania), Rouen (Francia).

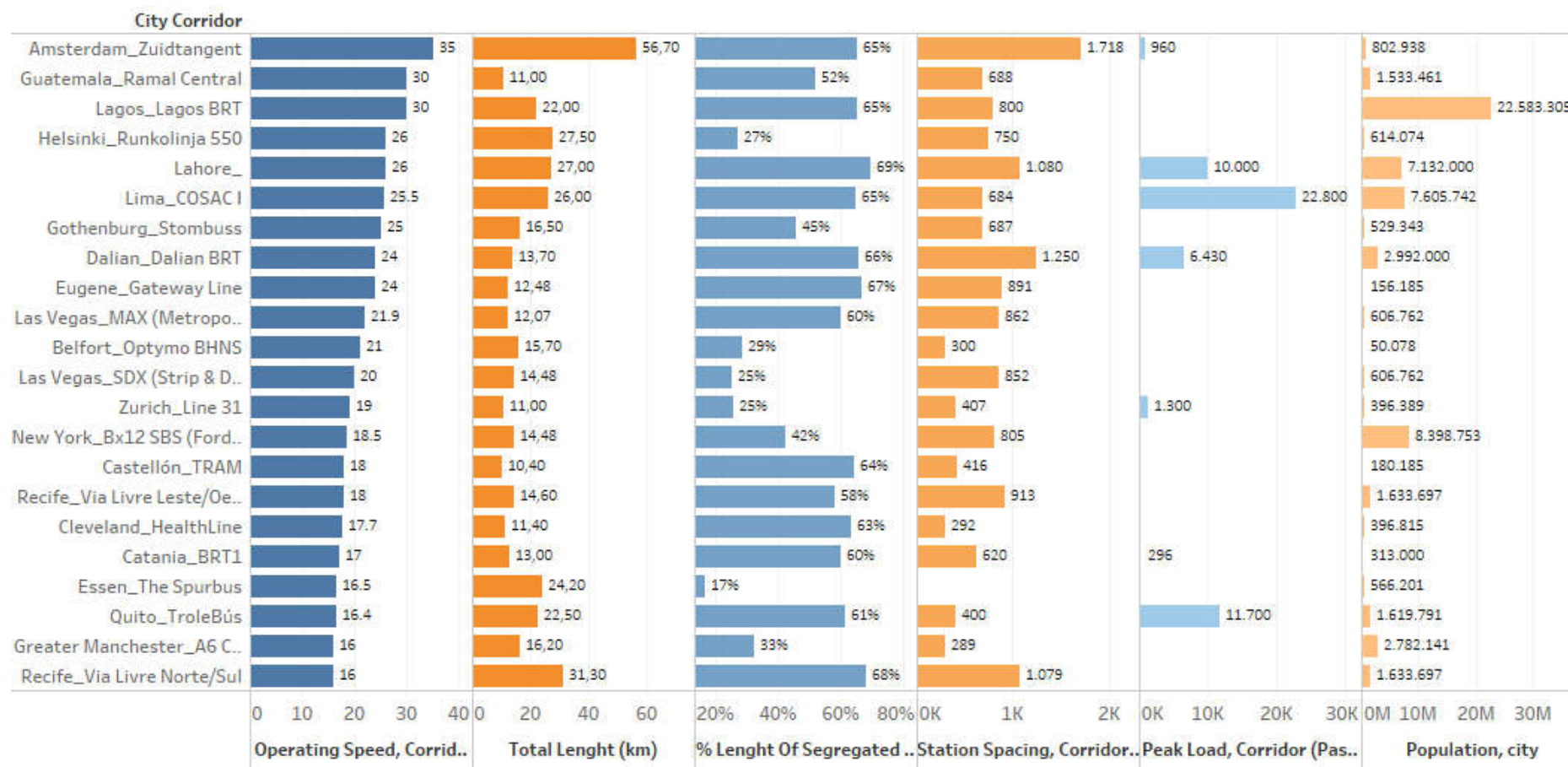


Figura 5—13: Sintesi dei risultati



Figura 5—14: Inquadramento delle velocità commerciali per le relative città

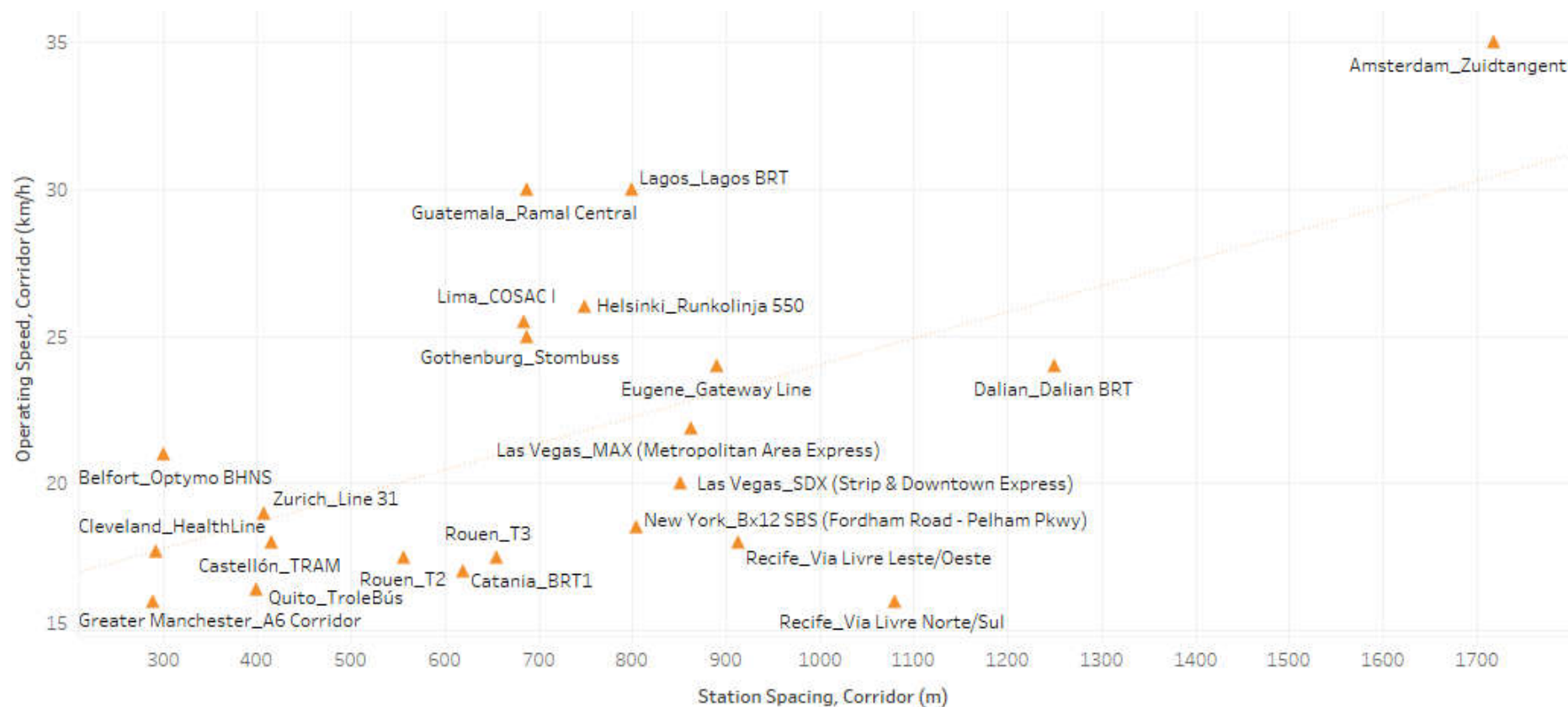


Figura 5—15: Correlazione tra velocità commerciale e densità tra le fermate

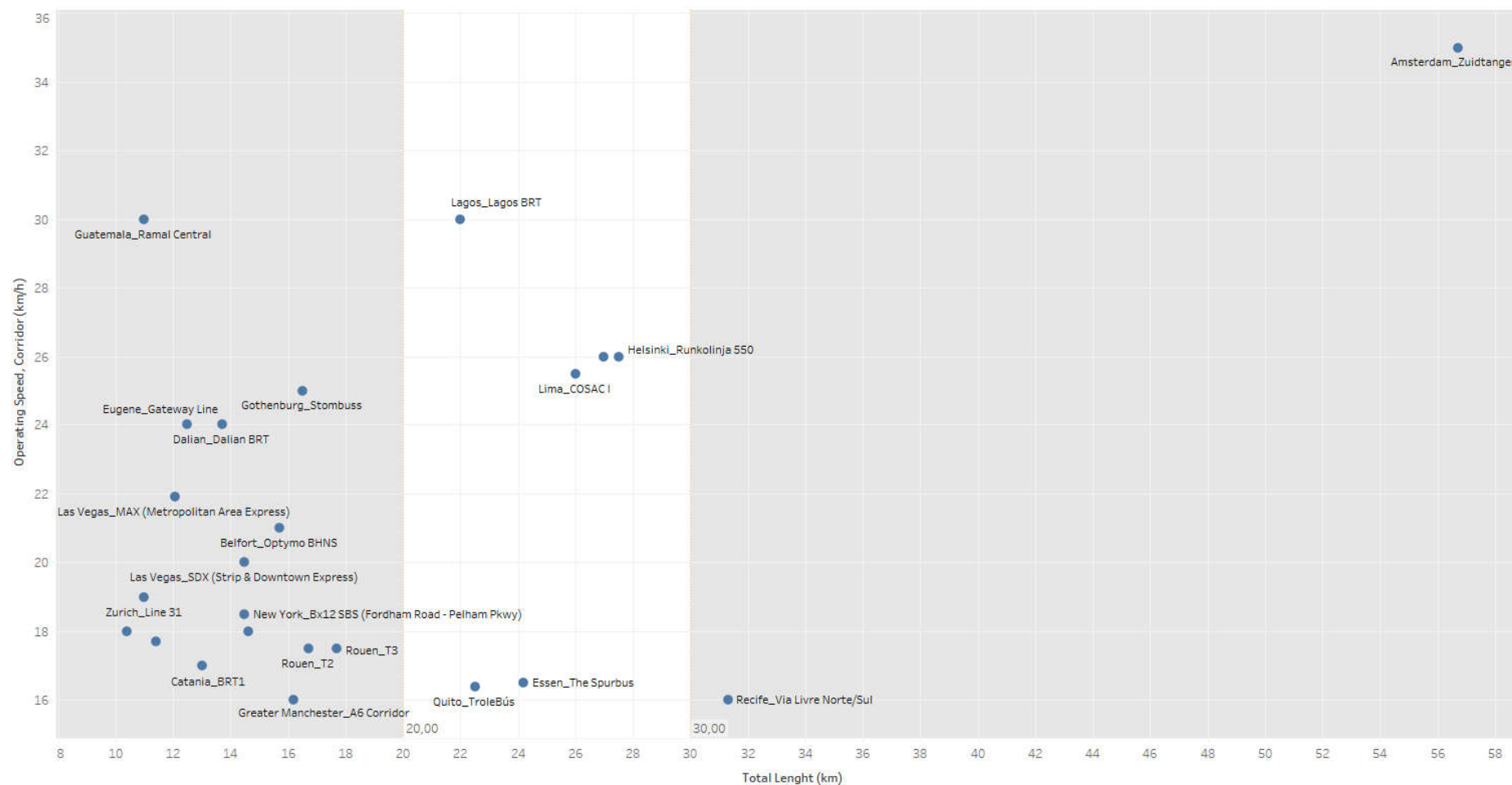


Figura 5—16: Correlazione tra la velocità commerciale e la lunghezza totale della linea BRT

ITS applications

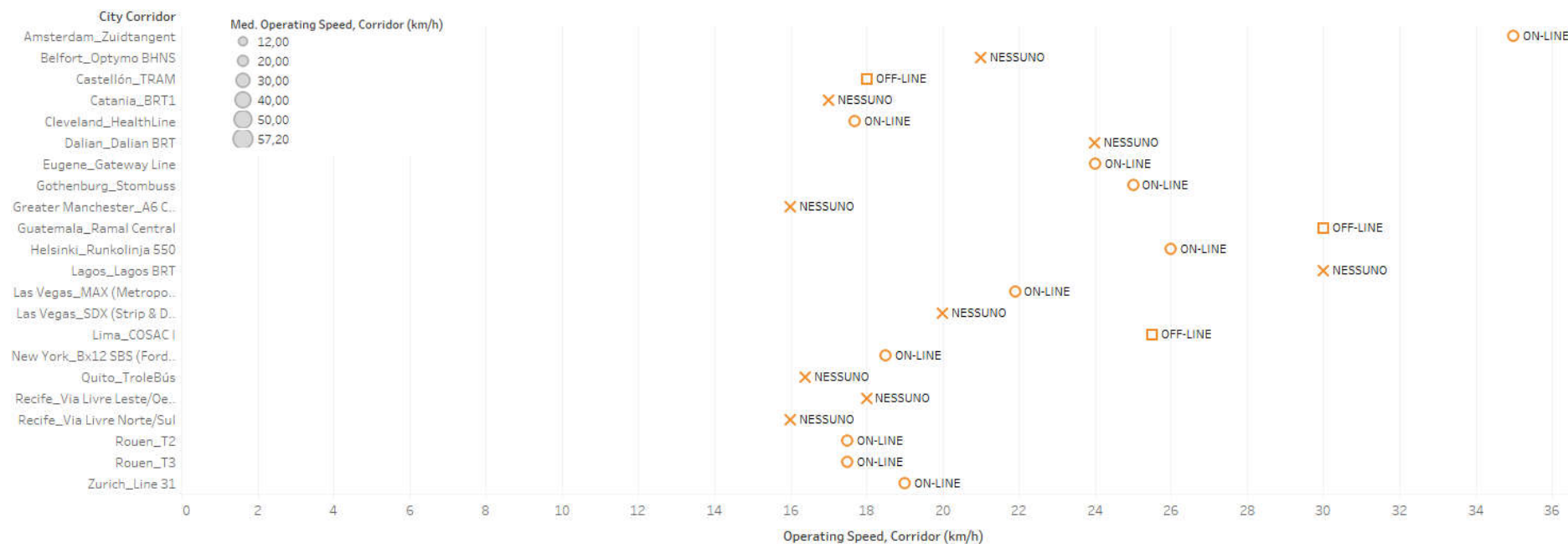


Figura 5—17: Analisi della tipologia di regolazione semaforica (tecnologia ITS)

5.4.1 Il BRT di Helsinki

Il BRT della città di Helsinki si configura come un servizio bus tangenziale rispetto all’area urbana, con caratteristiche quindi fondamentalmente periurbane e metropolitane.

Le grandezze principali del servizio sono riassunte nella tabella di seguito. In figura è rappresentato il tracciato.

Grandezza	Valore
Lunghezza totale	27,5 km
Percentuale di segregazione	17%
Velocità commerciale	16,6 km/h
Tipologia di regolazione	priorità alle intersezioni di tipo “online”, garantendo sempre verde al passaggio dell’autobus
posizione delle porte degli autobus	destra
Informazione in tempo reale	Sì
Tipologia di carburante	diesel

Tabella 5.2: caratteristiche del BRT di Helsinki



Figura 5—18 Inquadramento della linea BRT di Helsinki

La configurazione delle fermate è in linea all’asse stradale e non sono sopraelevate.

La linea di Helsinki riscontra i valori prestazionali appena illustrati poiché le intersezioni semaforiche lungo la linea sono state gestite posizionando semafori programmati da quattro diverse posizioni, con lo scopo di fermare il traffico mentre si avvicina l'autobus. Le lanterne semaforiche sono simili nell'aspetto ai segnali luminosi del passaggio a livello, in cui la commutazione della luce è segnalata mediante un giallo lampeggiante ed il segnale di stop è fornito da due luci rosse non lampeggianti.



Figura 5—19 Fermata BRT ad Helsinki

5.4.2 Il BRT di Essen

Il BRT della città di Essen (**The Spurbus**), si configura come un servizio bus lungo un asse di penetrazione urbana, che sviluppa una parte rilevante del percorso in un contesto extraurbano. La tecnologia utilizzata è del tipo “a guida vincolata” che risale, come prima implementazione, alla fine degli anni ‘90. In tal senso Essen è stata la prima città nel mondo ad attivare un sistema di trasporto pubblico su gomma a guida vincolata (di tipo O-Bahn).

Le grandezze principali del servizio sono riassunte nella tabella di seguito.

Grandezza	Valore
Lunghezza totale	24 km
Percentuale di segregazione	27%
Velocità commerciale	26 km/h
Tipologia di regolazione	nessuna
posizione delle porte degli autobus	destra
Informazione in tempo reale	nessuna
Tipologia di carburante	diesel

Tabella 5.3: caratteristiche del BRT di Essen

La linea BRT si sviluppa per una lunghezza di **24 km** e a beneficio di **17.000** passeggeri ogni giorno. Nonostante la sede vincolata non è prevista alcuna tipologia di regolazione semaforica alle intersezioni, né un sistema informativo all’utenza in real time, tali fattori portano ad una velocità media commerciale del sistema è di **16,5 km/h**, mediamente inferiore alle applicazioni nel mondo. Le fermate sono predisposte in linea al tracciato e non sono sopraelevate.



Figura 5—20 The Spurbus – Essen, tipologia di fermata, sede non vincolata

5.4.3 Il BRT di Rouen

La città di Rouen ha sviluppato un sistema **composto da tre linee di BRT** caratterizzate da una tratta in ambito urbano ed una in ambito extraurbano. Esso rappresenta gli standard delle città Europee, caratterizzate da spazi ristretti e limitati rispetto alle città del Sud America o quelle Asiatiche.

Grandezza	Valore
Lunghezza totale	32 km
Percentuale di segregazione	46%
Velocità commerciale	17,5 km/h
Tipologia di regolazione	priorità alle intersezioni di tipo “online”, garantendo sempre verde al passaggio dell’autobus
posizione delle porte degli autobus	destra
Informazione in tempo reale	si
Tipologia di carburante	biodiesel

Tabella 5.4: caratteristiche del BRT di Rouen

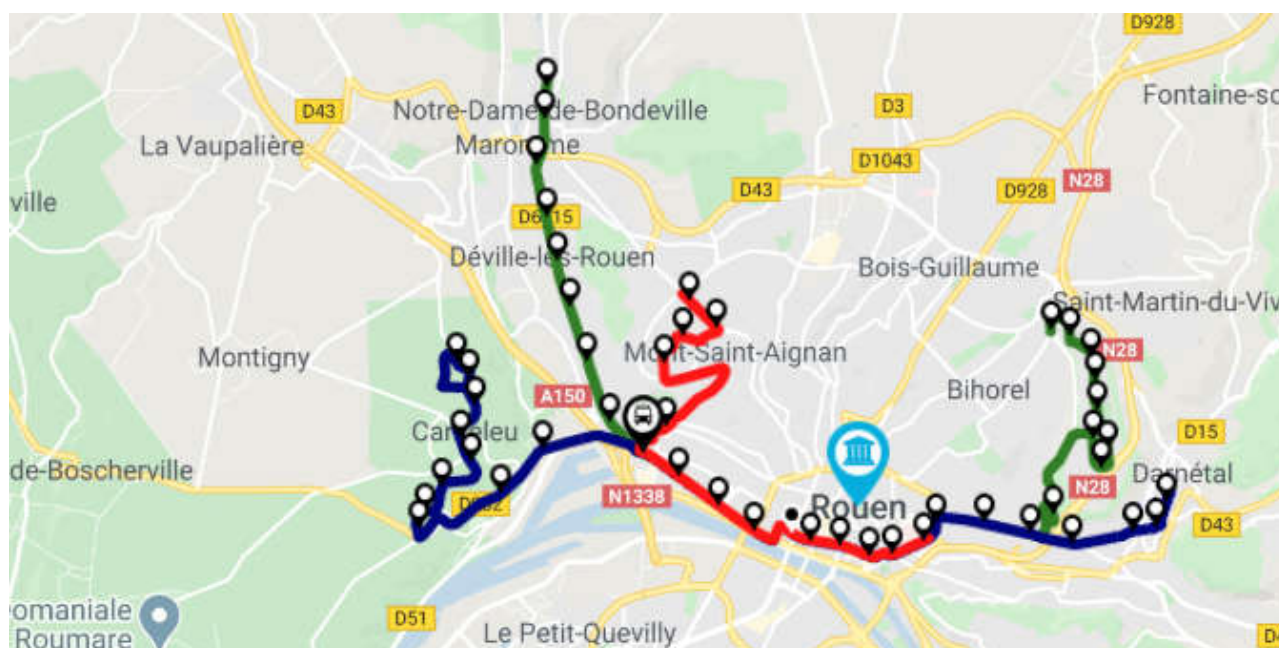


Figura 5—21 Inquadramento delle linee BRT di Rouen

La città ha fondato il sistema nel 2001 ed ora conta 3 corridoi prioritari per gli autobus per un totale di 32 chilometri, e che servono una domanda giornaliera di 42.000 passeggeri ogni giorno. La velocità media commerciale del sistema è di 17,5 km/h.

Il sistema BRT si sviluppa per il **46%** del suo percorso su **corsie totalmente segregate**, utilizzando un sistema di guida ottico.

In prossimità delle intersezioni semaforizzate è prevista la massima priorità al passaggio del bus, mediante l'utilizzo di un sistema dinamico (“online”), in modo tale che trovi sempre il verde. Anche nelle rotatorie più trafficate è previsto l'utilizzo di un semaforo all'interno dell'anello in modo da bloccare i flussi di traffico in opposizione a quello del bus, si veda la figura sottostante per i dettagli (Figura 5—22 Sistema di regolazione in rotatoria, BRT di Rouen Figura 5—22).



Figura 5—22 Sistema di regolazione in rotatoria, BRT di Rouen

Si osservi che questo sistema nonostante riporti molte delle caratteristiche principali dei sistemi BRT mondiali, mediamente non garantisce prestazioni elevate, si veda ad esempio il valore di velocità commerciale. Questo potrebbe essere dovuto al fatto che gli spazi nelle aree urbane, come spiegato in precedenza, sono limitati e portano ad un'inevitabile riduzione della velocità.



Figura 5—23 Fermata TEOR - Rouen

5.5 Applicazioni del sistema Bus Rapid Transit in Italia

Di seguito si illustrano le uniche due applicazioni del sistema Bus Rapid Transit implementate in territorio italiano, queste sono il MetroMare di Rimini e il BRT di Catania.

5.5.1 MetroMare di Rimini

Il MetroMare, detto anche Trasporto Rapido Costiero (TRC) è un sistema di trasporto collettivo che collega le due città della costa della riviera Romagnola Rimini e Riccione, affiancando il tracciato ferroviario tra le omonime stazioni. La prima tratta è stata costruita tra il 2012 e il 2018, ed è prevista la sua estensione sino alla Fiera di Rimini. In tabella di seguito sono sintetizzate le principali informazioni sul territorio e sul sistema. In particolare si evince come il collegamento sia interamente in **sede propria e segregata** (tramite dispositivi di ritenuta) e si sviluppa per una lunghezza di 9,8 km, in parte in doppia corsia e in parte singola, ove l'incrocio dei veicoli è previsto in corrispondenza delle fermate. Il sistema ha una **capacità** di 1.500 passeggeri all'ora per direzione di marcia, grazie ad una **frequenza** di 10 minuti (5 mezzi in linea) con potenziamento fino a 7,5 minuti (8 mezzi in linea) nelle ore di punta.

Grandezza	Valore
Popolazione	Rimini: 148.908
Contesto	Urbano/Suburbano
Sede	Riservata e segregata
Lunghezza Percorso	9.8 km
Numero Fermate	17, compresi i capolinea

Priorità alle intersezioni	sì
Frequenza	10 minuti nelle ore di morbida 7,5 minuti nella fase di picco
Velocità commerciale	26 km/h
Passeggeri	1500 pax/h per direzione di marcia
Costo	€ 92,053 milioni



Figura 5—24: fermata “tipo”

Il **materiale rotabile su gomma** è di tipo **filoviario** a trazione **bimodale interamente elettrica**.

Per arrestarsi in banchina è predisposto un sistema di prenotazione dell’accesso, da cui il PCC (posto centrale di controllo, situato presso la stazione di Rimini), verificate le condizioni di sicurezza, concede il permesso dando il segnale di via libera. Tutti i mezzi sono dotati di trasponder che interagiscono con le spire dinamiche e quelle di massa disposte lungo il percorso. In corrispondenza della zona di sosta è delineata una linea di stop ed è installato un apposito dispositivo di segnalamento, in modo che la sosta dei mezzi sia effettuata sempre nella stessa posizione, garantendo la massima facilità di accesso da parte di tutti gli utenti.

In prossimità di ogni fermata è predisposto un **sistema di informazione all’utenza** che fornisce indicazioni in tempo reale sulla posizione e sull’arrivo dei mezzi. La combinazione di un’infrastruttura sviluppata interamente in sede segregata, di un sistema di ausilio all’esercizio, associato ad un sistema di localizzazione e di segnalamento consente di ottenere tempi di percorrenza certi.

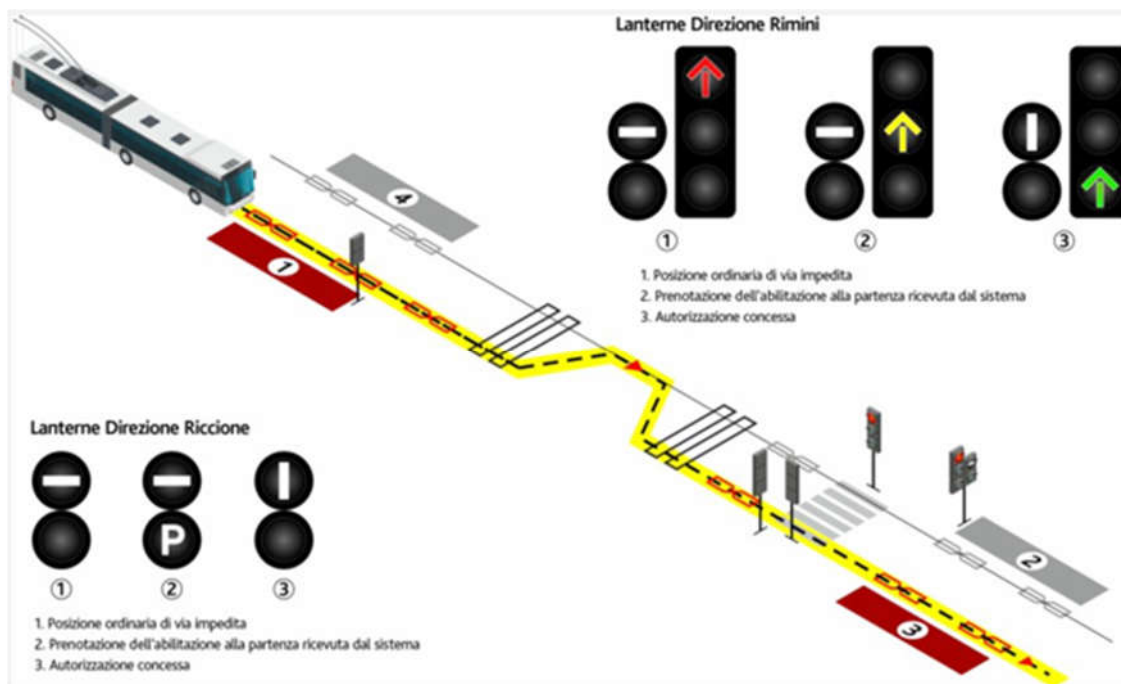


Figura 5—25 Schema del funzionamento del sistema di protezione delle tratte banalizzate

5.5.2 Bus Rapid Transit di Catania

Nell’aprile 2013 è stata inaugurata a Catania la prima linea di BRT collegante la zona periferica dei 2 Obelischi a piazza Stesicoro, nel centro della città.

La linea si sviluppa per circa 13 km, utilizzando sistemi di circolazione a senso unico nel centro della città, corsie preferenziali dedicate per parte del percorso e sistemi di priorità semaforica alle intersezioni.

Grandezza	Valore
Popolazione	310.000
Contesto	Urbano/Suburbano
Sede	Riservata e promiscua
Lunghezza Percorso	13 km
Numero Fermate	21, compresi i capolinea
Priorità alle intersezioni	Sì, alcune
Frequenza	20 minuti, 7 minuti nell'ora di punta
Velocità commerciale	17 km/h
Passeggeri	5000 passeggeri/giorno
Costo	€ 7.295.654



Il sistema di trasporto risulta essere:

- **Veloce:** in poco più di 20 minuti infatti è possibile raggiungere il centro della città, la velocità commerciale media è di 17 km/h circa
- **Economico:** è predisposta una tariffa agevolata per il percorso di andata, ritorno e sosta al parcheggio dei 2 Obelischi
- **Integrato:** l'interscambio modale è possibile grazie al parcheggio dei 2 obelischi (con mezzo privato) e con la linea metropolitana così da poter raggiungere velocemente altre destinazioni





Al capolinea è presente un pannello a messaggio variabile per informare l'utenza e una cassa automatica per l'erogazione dei biglietti. Le fermate sono tutte dotate di un **PMV per l'informazione in tempo reale** e la gran parte di esse di pensilina.

I mezzi dovrebbero essere dotati di porta-bici così da poter consentire la continuità del percorso attraverso l'integrazione modale trasporto pubblico - bicicletta.

Il servizio, risultato inizialmente efficiente ed apprezzato, con un trasporto quotidiano di 5000 passeggeri, tuttavia ha riscontrato l'insorgere di problematiche dovute alla manutenzione insufficiente: spegnimento delle priorità semaforiche alle intersezioni, cordolature di separazione delle corsie dedicate scardinate e rimosse e vandalismo e usura alle fermate. Nel 2019 sono stati stanziati finanziamenti per riportare l'infrastruttura alla piena funzionalità e al suo potenziamento.

La città di Catania, come previsto dal PGU, ha in programma la realizzazione di nuove linee BRT che possano collegare parcheggi di interscambio e forti polarità periferiche al centro cittadino.

6 Sintesi delle raccomandazioni di replicabilità delle soluzioni

6.1 La tipologia di sede

È emerso chiaramente come la tipologia della sede sia uno dei fattori rilevanti per garantire elevate prestazioni del sistema. D'altro lato, la contestualizzazione dell'ambito - urbano, metropolitano, extraurbano - introduce la possibilità di selezionare soluzioni di segregazione anche puntuali che possano ridurre gli impatti dovuti alla congestione veicolare.

In tal senso, si propone un abaco di soluzioni sperimentate nei sistemi già sviluppati, che possono essere replicati laddove opportuno e fattibile.

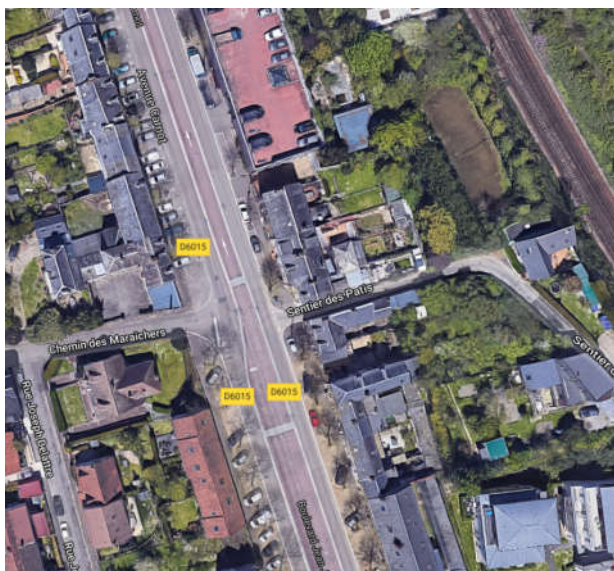


Figura 6—1: esempio di sede riservata, non segregata, con variazione di sezione per il BRT – parte a doppio senso, parte a senso unico – particolare del punto di variazione sezione (Rouen)



Figura 6—2: esempio di sede riservata, non segregata, con corsia mista per le due direzioni del BRT – particolare del punto di variazione della direzione (Rouen)



Figura 6—3: esempio di sede in parte riservata, in parte “variante” rispetto alla carreggiata stradale— particolare del punto di intersezione (Rouen)



Figura 6—4: esempio di sede riservata, non segregata – particolare della sezione e dei materiali utilizzati (Rouen)

6.2 La regolazione delle intersezioni

La gestione delle intersezioni costituisce l’altro elemento determinante per le prestazioni del sistema e per la sicurezza stradale:

- intersezioni semaforizzate: isolate con attuazione, centralizzate con politiche di regolazione attuate, coordinate, con preferenziazione “on line” o “off line” (piani coordinati con variazione per fasce temporali)
- intersezioni a rotatoria: con innesto in corona “a precedenza”, semaforizzato ovvero con attraversamento diretto sempre “a precedenza” o con regolazione semaforica;
- ingresso in carreggiata da baia di sosta o deposito.

In tal senso, si propone un abaco di soluzioni sperimentate nei sistemi già sviluppati, che possono essere replicati laddove opportuno e fattibile.

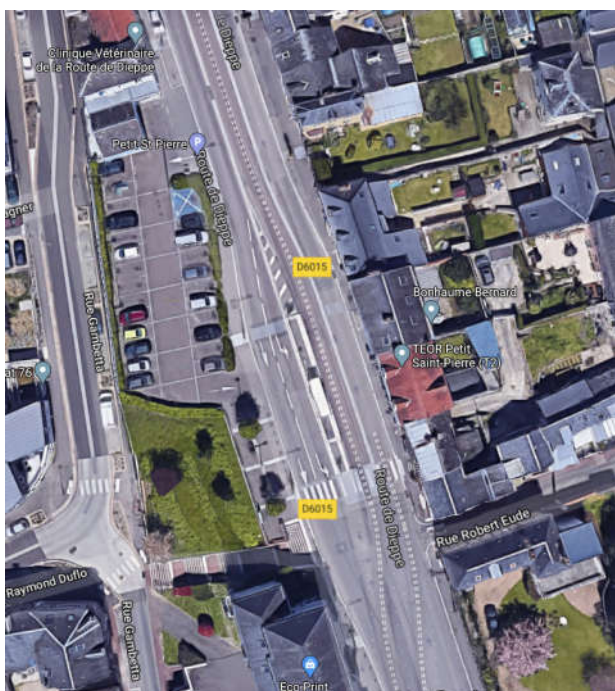


Figura 6—5: esempio di preferenziazione all’intersezione con approcci separati per veicoli e BRT (in “corretto tracciato”) (Rouen)



Figura 6—6: esempio di sede segregata, con attraversamento della rotonda gestita “a precedenza”, fermata in rotonda e attraversamento pedonale a livello sfalsato (Catania)

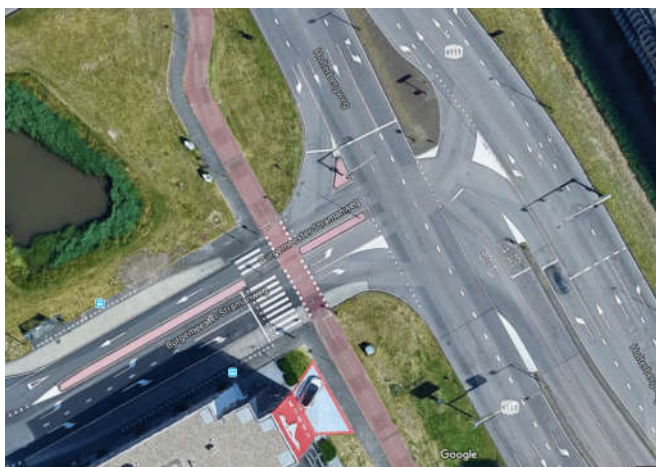


Figura 6—7: esempio di sede riservata con intersezione con la rete stradale ordinaria – particolare del punto di intersezione (Amsterdam)



Figura 6—8: : esempio di sede segregata con intersezione con la rete stradale ordinaria– particolare del punto di intersezione (Amsterdam - credit to: Karl Fjellstrom, Far East Mobility)

7 Conclusioni

Le analisi condotte hanno portato a osservare alcuni elementi rilevanti che influenzano le prestazioni del sistema: il distanziamento tra le fermate, la tipologia di regolazione semaforica, la percentuale di segregazione costituiscono i principali “driver” per la velocità commerciale della linea. D’altro lato, essi hanno un impatto sulla sua *catchment area* e sulla capacità offerta del servizio.

Chiaramente le soluzioni di progetto mirano a individuare situazioni di equilibrio che perseguono gli obiettivi di efficacia ed efficienza del servizio: impatto sulla ripartizione modale, sostenibilità economica. Questi due concetti cardine che guidano la progettazione infrastrutturale e tecnologica del BRT, in prima istanza.

È necessario quindi porre l’accento su due elementi che paiono rilevanti:

- le esperienze di BRT nelle megalopoli dell’America del Sud e dell’Asia (Cina in prima istanza) hanno l’obiettivo di sostituire sistemi di trasporto di massa limitando gli investimenti e massimizzando la capacità offerta, anche a danno dell’efficienza economica del servizio in fase di gestione e degli impatti ambientali. Le elevate capacità offerte sono garantite da frequenze elevatissime (intertempi minori di 1 minuto) e da mezzi a 2 e 3 casse per lo più alimentati con carburante fossile. Le linee si collocano quindi in ambito urbano spesso ad elevatissima densità;
- in Europa i BRT, ancorché di giovane tradizione, mirano a risolvere collegamenti metropolitani o extraurbani di adduzione alle città in tessuti caratterizzati da piccoli centri a brevi distanze. È il caso di Amsterdam, di Rouen, di Essen. In tali contesti il BRT di fatto fornisce un servizio ad elevate prestazioni, tale da poter incidere sulla ripartizione modale (altrimenti fortemente orientata al mezzo privato) insieme a politiche di restrizione applicate nella città, e con una *catchment area* maggiore di quella ferroviaria, in virtù di una maggiore capillarità.

Nel caso delle città europee, stante le caratteristiche del servizio, spesso in ambito extraurbano, le prestazioni sono spesso garantite da busvie non segregate, talvolta solo riservate. Ma spesso si ritrovano sedi in promiscuo con il traffico privato e con soluzioni puntuali di preferenziazione alle intersezioni o sedi riservate centrali con senso unico alternato per il bus.

La configurazione delle busvie cambia in avvicinamento ai centri urbani, dove si possono trovare in sede completamente separata dalla viabilità ordinaria e in molti casi con colorazioni della pavimentazione che ne rimarkano la specificità. Non si trovano riferimenti alla struttura del pacchetto della pavimentazione che, d’altro lato, si suppone possa essere differente per resistere a sollecitazioni dei bus, chiaramente più pesanti e con maggiori impatti specie nelle aree di frenata e accelerazione.

Le elevate prestazioni del sistema si riscontrano anche nella configurazione delle fermate, spesso caratterizzate da spazi più confortevoli rispetto alle linee bus ordinarie, e dei servizi di mobilità di adduzione. Su questo particolare aspetto fa chiaramente scuola il caso di Amsterdam dove il BRT si inserisce nell’ampia rete ciclabile regionale e nazionale.

D'altro lato non si riscontrano particolari elementi relativi al materiale rotabile, probabilmente dovuto al fatto che le evoluzioni in ambito di alimentazione (ibrida, metano, elettrica, etc.) sono più recenti dell'avvio dei servizi BRT oggi in essere. Da questo punto di vista si rimanda allo specifico documento che affronta il tema della disponibilità delle soluzioni di mercato in relazione a mezzo, allestimenti e, appunto, alimentazione.

8 Bibliografia

- *BRT Centre of Excellence et al. 2017;*
- *BRTdata.org;*
- *Bus Rapid Transit Planning Guide, June 2007;*
- *BUS RAPID TRANSIT IN CHINA: A COMPARISON OF DESIGN FEATURES WITH INTERNATIONAL SYSTEMS (JUAN MIGUEL VELÁSQUEZ, THET HEIN TUN, DARIO HIDALGO, CAMILA RAMOS, PABLO GUARDA, ZHONG GUO, AND XUMEI CHEN), October 2017;*
- *SOCIAL, ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC IMPACTS OF BRT SYSTEMS, Bus Rapid Transit Case Studies from Around the World, EMBARQ (A program of the World Resources Institute)*
- *Classificazione e prestazioni dei sistemi di trasporto collettivo, Corso di Trasporti Urbani e Metropolitani, Docente:Ing. Pierluigi Coppola (Università degli Studi di Roma "Tor Vergata");*
- <https://busrapidtransitalia.webnode.it/brt-nel-mondo/>