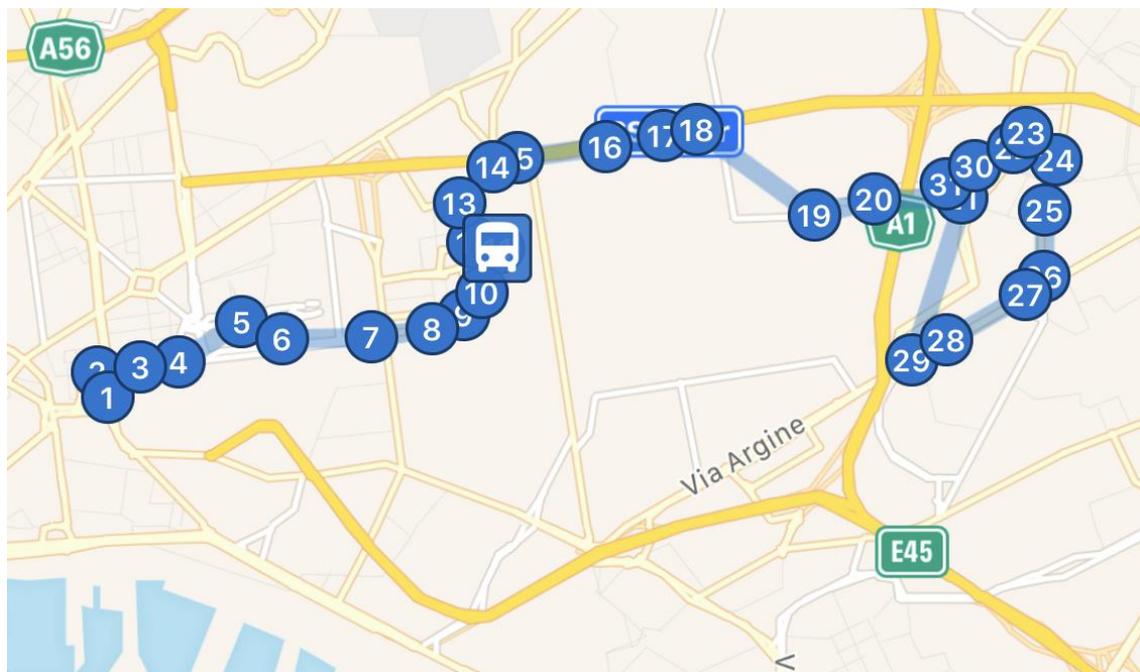


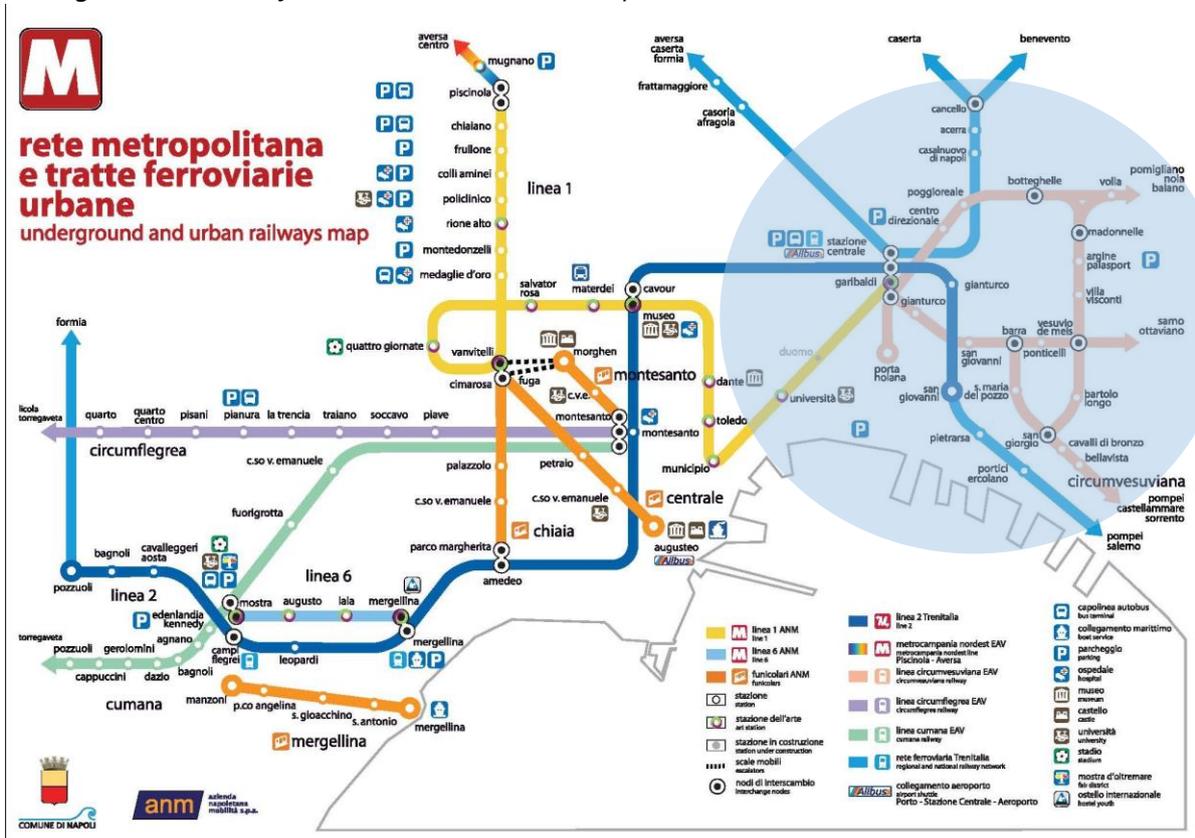
Figura 12: Linea C91 Garibaldi-Ponticelli interessante l'area Est di Napoli



Fonte: elaborazioni Invitalia su immagine App Gira Napoli

A completamento dell'offerta attuale di trasporto collettivo dell'area, si riporta di seguito anche la rete ferroviaria del Comune di Napoli, con evidenziata l'area di riferimento, dalla quale è possibile evincere l'influenza dei servizi ferroviari per l'area di progetto.

Figura 13: La rete ferroviaria del Comune di Napoli



Fonte: Comune di Napoli

### 3.3. Stima della domanda di mobilità pendolare e complessiva

Per quanto concerne la domanda di mobilità che interessa Napoli Est, le stime di seguito effettuate hanno essenzialmente preso in considerazione le relazioni, in termini di spostamenti sistematici generati ed attratti, tra le zone ricadenti nell'area ed il resto del comune di Napoli.

In assenza di specifiche indagini e matrici Origine/Destinazione (O/D) sulla mobilità complessiva, un primo quadro di domanda è stato, pertanto, ricostruito a partire dai dati Istat 2011 sul pendolarismo<sup>5</sup>.

L'area risulta giornalmente interessata da 109.904 spostamenti complessivi pendolari, di cui 52.047 emessi e 57.857 attratti. La domanda di mobilità casa-scuola e casa-lavoro totale, conteggiando anche il viaggio di ritorno, ammonta, dunque, a 219.808 spostamenti.

<sup>5</sup> Censimento Istat 2011, Napoli - Pendolarismo per sezioni di censimento - <http://datiopen.istat.it/datasetPND.php#>

Per quanto attiene la mobilità sistematica in generazione, dei 142.660 residenti, circa il 36,5% sono pendolari. Nello specifico sul totale di 52.047 spostamenti emessi, il 52 % (26.702) è generata per motivi di studio ed il restante 48 % (25.345) per motivi di lavoro.

Gli spostamenti in emissione che interessano il comune di Napoli, al lordo di quelli interni all'area, risultano pari a 43.157, ossia l'83 % dei complessivi, di cui 23.602 per motivi di studio e 19.555 per lavoro. Dei suddetti spostamenti complessivi per solo 29.824 (Tabella 17: Spostamenti sistematici complessivi emessi dall'area con destinazione le circoscrizioni di Napoli (compresi quelli interzonali nell'area)) è stato possibile individuare la destinazione, mentre i restanti 13.333 (6.477 casa-scuola e 6.856 casa-lavoro) risultano censiti come emessi verso aree a cui non è stato possibile associare un indirizzo.

Gli spostamenti aventi quale destinazione il resto dei comuni della provincia di Napoli risultano pari a 7.722, ossia al 14 % dei complessivi.

Con riferimento alla mobilità interna all'area, si stimano 19.657 (Tabella 18) spostamenti, di cui 6.231 relativi alle relazioni tra le 5 zone (Tabella 19), ed i restanti 13.426 intrazonali. Gli spostamenti aventi quale destinazione il resto dei comuni della provincia di Napoli risultano pari a 7.722, ossia al 14 % dei complessivi. Ponticelli emette all'incirca il 32 % degli spostamenti complessivi, mentre la zona industriale solo il 7 %. Le destinazioni con maggiore intensità di spostamenti risultano le zone di Vicaria (1.197 spostamenti), Porto (1.090 spostamenti), San Lorenzo (966) e San Ferdinando (792 Spostamenti). Una misura approssimata della mobilità complessiva in generazione, sistematica e per altri motivi, è possibile sulla base dei dati di emissione media procapite della popolazione mobile a livello nazionale. Nel dettaglio, dal rapporto sulla mobilità in Italia dell'Isfort<sup>6</sup> emerge che la mobilità sistematica si stima pari al 37% di quella complessiva.

A questi spostamenti va sommata la quota di spostamenti erratici, ossia effettuata per gestione familiare e tempo libero; percentuale che in Italia negli anni 70' si attestava intorno al 30% ed è poi aumentata progressivamente negli ultimi decenni, costituendo una quota variabile all'interno di una forbice compresa tra il 55% e il 65% degli spostamenti complessivi.

Calcolando per l'area una quota pari al 63% di spostamenti non sistematici, la mobilità complessiva in generazione dall'area si può stimare in poco meno di 281.500 spostamenti giorno.

Con riferimento alla mobilità attratta, gli spostamenti complessivi aventi come destinazione l'area, come già evidenziato, risultano pari a 57.857, di cui 40.456 (circa il 70 %) attengono a motivi di lavoro, ed i restanti 17.401 per studio.

Gli spostamenti con origine i comuni della provincia di Napoli risultano pari a 20.640, ossia al 35,6 % dei complessivi, di cui 2.658 inerenti la mobilità casa-scuola e 17.982 quella casa-lavoro.

La mobilità attratta dalle altre circoscrizioni di Napoli risulta pari a 13.110 spostamenti (Tabella 20), pari al 22,7 % dei totali, di cui rispettivamente 1.852 spostamenti per mobilità scolastica e 11.258 per lavoro.

Il 35 % degli spostamenti diretti nell'area provengono da San Carlo all'Arena, San Lorenzo, Arenella e Fuorigrotta. Oltre il 69 % della mobilità attratta ha quale Ponticelli (40, 6%) e la Zona Industriale (28,6 %).

<sup>6</sup> Isfort, 14° Rapporto sulla Mobilità in Italia, Rapporto finale, aprile 2017.

Tabella 17: Spostamenti sistematici complessivi emessi dall'area con destinazione le circoscrizioni di Napoli (compresi quelli interzonalni nell'area)

		San Ferdinando	Chiaia	San Giuseppe	Montecalvario	Avvocata	Stella	San Carlo all'Arena	Vicaria	San Lorenzo	Mercato
	O/D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Poggioreale</b>	16	200	134	148	45	45	21	306	689	437	49
<b>Zona Industriale</b>	17										
<b>Ponticelli</b>	28	42	63	64	10	12	11	37	101	80	67
<b>Barra</b>	29	328	157	205	64	51	42	149	210	231	55
<b>San Giovanni a Teduccio</b>	30	194	159	93	44	33	25	72	104	125	66
	30	131	111	96	31	24	26	59	93	93	49
<b>Totale</b>		895	624	606	194	165	125	623	1.197	966	286

		Pendino	Porto	Vomero	Arenella	Posillipo	Poggioreale	Zona Industriale	Bagnoli	Fuorigrotta	Soccavo
	O/D	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
<b>Poggioreale</b>	16	159	238	99	131	19	2.065	245	22	143	57
<b>Zona Industriale</b>	17										
<b>Ponticelli</b>	28	102	100	21	25	6	160	455	8	30	13
<b>Barra</b>	29	194	380	85	184	26	342	327	40	214	86
<b>San Giovanni a Teduccio</b>	30	145	238	45	79	26	209	221	23	147	58
	30	90	134	31	55	15	101	190	10	97	26
<b>Totale</b>		690	1.090	281	474	92	2.877	1.438	103	631	240

		Pianura	Chiaiano	Piscinola	Miano	Secondigliano	Scampia	San Pietro a Patierno	Ponticelli	Barra	San Giovanni a Teduccio	Totale
	O/D	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
<b>Poggioreale</b>	16	10	89	2	7	32	23	68	91	82	58	5.714
<b>Zona Industriale</b>	17											
<b>Ponticelli</b>	28	3	8	3	3	2	3	6	38	56	45	1.574
<b>Barra</b>	29	37	121	8	14	93	26	49	5.198	1.292	325	10.533
<b>San Giovanni a Teduccio</b>	30	17	93	8	8	14	11	26	724	3.623	602	7.232
	30											
	30	13	41	3	14	8	10	9	175	951	2.085	4.771
<b>Totale</b>		80	352	24	46	149	73	158	6.226	6.004	3.115	<b>29.824</b>

Fonte: Elaborazioni su database nazionale "Campania Napoli Pendolarismo Istat 2011"

*Tabella 18: Spostamenti sistematici complessivi emessi interni all'area*

		Poggioreale	Zona Industriale	Ponticelli	Barra	San Giovanni a Teduccio	
	O/D	16	17	28	29	30	<b>Totale</b>
<b>Poggioreale</b>	16	2.065	244	91	82	58	2.540
<b>Zona Industriale</b>	17	160	455	38	56	45	754
<b>Ponticelli</b>	28	342	327	5.198	1.292	325	7.484
<b>Barra</b>	29	209	220	724	3.623	602	5.378
<b>San Giovanni a Teduccio</b>	30	101	189	175	951	2.085	3.501
	<b>Totale</b>	2.877	1.435	6.226	6.004	3.115	<b>19.657</b>

Fonte: Elaborazioni su database nazionale "Campania Napoli Pendolarismo Istat 2011"

*Tabella 19: Spostamenti sistematici complessivi tra le 5 zone dell'area*

		Poggioreale	Zona Industriale	Ponticelli	Barra	San Giovanni a Teduccio	
	O/D	16	17	28	29	30	Totale
<b>Poggioreale</b>	16	0	244	91	82	58	475
<b>Zona Industriale</b>	17	160	0	38	56	45	299
<b>Ponticelli</b>	28	342	327	0	1.292	325	2.286
<b>Barra</b>	29	209	220	724	0	602	1.755
<b>San Giovanni a Teduccio</b>	30	101	189	175	951	0	1.416
	<b>Totale</b>	812	980	1.028	2.381	1.030	<b>6.231</b>

Fonte: Elaborazioni su database nazionale "Campania Napoli Pendolarismo Istat 2011"

Tabella 20: Spostamenti sistematici attratti dalle altre zone di Napoli

		Poggioreale	Zona Industriale	Ponticelli	Barra	San Giovanni a Teduccio	
	O/D	16	17	28	29	30	Totale
San Ferdinando	1	83	63	25	38	30	239
Chiaia	2	165	118	43	80	60	466
San Giuseppe	3	40	26	4	16	8	94
Montecalvario	4	103	111	30	32	22	298
Avvocata	5	178	138	45	70	42	473
Stella	6	152	120	39	56	42	409
San Carlo all'Arena	7	678	343	104	146	77	1.348
Vicaria	8	450	140	32	44	33	699
San Lorenzo	9	504	255	82	112	65	1.018
Mercato	10	59	225	24	36	39	383
Pendino	11	106	100	18	25	25	274
Porto	12	30	23	10	15	4	82
Vomero	13	276	167	68	109	51	671
Arenella	14	439	324	103	181	97	1.144
Posillipo	15	97	80	37	55	34	303
Poggioreale	16	0	0	0	0	0	0
Zona Industriale	17	0	0	0	0	0	0
Bagnoli	18	86	101	44	33	21	285
Fuorigrotta	19	370	378	100	145	84	1.077
Soccavo	20	199	191	52	92	53	587
Pianura	21	249	232	152	88	64	785
Chiaiano	22	124	113	32	40	21	330
Piscinola	23	116	83	36	45	15	295
Miano	24	96	92	40	43	17	288
Secondigliano	25	248	142	73	81	46	590
Scampia	26	154	126	62	73	32	447
San Pietro a Patierno	27	326	60	74	42	23	525
Ponticelli	28	0	0	0	0	0	0
Barra	29	0	0	0	0	0	0
San Giovanni a Teduccio	30	0	0	0	0	0	0
<b>Totale</b>		<b>5.328</b>	<b>3.751</b>	<b>1.329</b>	<b>1.697</b>	<b>1.005</b>	<b>13.110</b>

Fonte: Elaborazioni su database nazionale "Campania Napoli Pendolarismo Istat 2011"

### 3.4 La domanda di trasporto collettivo nell'area di progetto

A conclusione dell'analisi preliminare dell'offerta e della domanda di mobilità attuale nell'area di progetto si riporta nella tabella seguente una sintesi dei dati di monitoraggio disponibili su rete ANM. In particolare, l'analisi della domanda giornaliera sulle principali linee su gomma ricadenti nell'area Est di Napoli ha permesso di valutare il "bacino di domanda potenzialmente deviabile" sulle linee di progetto oggetto di verifica nel presente studio. Si ritiene infatti che la domanda attuale rappresenti l'estremo inferiore (prudenziale) della domanda futura potenzialmente catturabile dalle linee di progetto. Questo anche in ragione del fatto che, probabilmente, il gestore del servizio, una volta entrata in operatività una delle soluzioni progettuali analizzate, praticherà delle modifiche dell'offerta attuale nell'area Est di Napoli, tagliando e/o modificando i percorsi delle linee attuali con grandi sovrapposizioni di percorso con la soluzione progettuale scelta. Tale modo di procedere porterà ad una naturale migrazione della domanda di mobilità attuale verso il nuovo (e di maggior qualità) servizio di TPL erogato.

L'analisi dell'indicatore di efficienza stimato (utenti/km erogati giorno) ha infine permesso di valutare anche il livello di qualità attualmente offerto per alcune delle linee indicate. Come si può osservare nella tabella che segue, l'offerta attuale è molto eterogenea, comprendendo linee ad alta domanda ed alta efficienza (es. linee 116, 192, 195 e C99), a media domanda e media efficienza (es. linea 191) ed a bassa domanda e/o efficienza.

*Tabella 21: Domanda di mobilità attuale sulle principali linee ANM dell'area Est di Napoli*

Linea	Tipologia	utenti /giorno	Efficienza linea [utenti/Km]
116	SUBURBANA	2.280	3,6
173	SUBURBANA	430	1,4
191	URBANA	1.389	1,9
192	URBANA	2.925	4,9
193	URBANA	163	0,8
195	URBANA	1.883	2,7
C99	URBANA	1.106	2,7
C91	URBANA	178	3,1

Fonte: elaborazione Invitalia su dati ANM

#### 4. Descrizione tecnico-funzionale dei sistemi di trasporto ipotizzati

Le informazioni tecnico-funzionali di seguito riportati rappresentano elementi utili ad evidenziare le caratteristiche essenziali dei due sistemi in analisi al fine di supportare le successive analisi e pre-valutazioni.

Pertanto, l'obiettivo non è tanto legato ad un raffronto tecnico-economico tra il Bus Rapid Transit (BRT) ed il Tram, ma quanto a formulare un quadro informativo che connoti i due sistemi e consenta, nell'ambito di un set informativo più ampio, di orientare, sulla base delle peculiarità infrastrutturali, insediative e di domanda del territorio interessato, una prima scelta sul sistema da implementare.

##### 4.1. Il (BRT) (Bus Rapid Transit) /(BHLS) (Bus with a High Level of Service)

Le linee guida per l'implementazione dei BRT fornite dalla Federal Transit Administration (FTA), definiscono il sistema BRT è come *“un mezzo di trasporto collettivo flessibile e dalle alte prestazioni che combina una varietà di elementi fisici, operativi e di sistema all'interno di un sistema costantemente integrato con una immagine di qualità ed una identità unica”*<sup>7</sup>.

Il termini BRT, pertanto, descrive una grande varietà di sistemi di trasporto pubblici che utilizzano l'autobus o l'autobus a guida automatica per fornire un servizio non solo più rapido ma, in genere, di più elevata qualità rispetto al tradizionale trasporto su gomma. Tali obiettivi possono essere raggiunti intervenendo su infrastrutture, veicoli e tabelle orarie già esistenti. Nella sostanza, l'implementazione di tali sistemi ha l'obiettivo di avvicinare la qualità del servizio su gomma a quelli su guida vincolata (su rotaia o Light Rapid Transit) con costi del sistema più prossimi, e quindi minore, a quelli basati sui bus tradizionali.

E' opportuno evidenziare come il BRT si sia affermato soprattutto in Nord e Sud America, in aree urbane ad alta concentrazione di popolazione (sopra i 700,000 abitanti) e la presenza di un sistema collettivo rapido su ferro, con connotazioni leggermente differenti<sup>8</sup>. In Nord America le realizzazioni contemplano un sistema di trasporto connotato da caratteri distintivi netti: un'infrastruttura stradale dedicata e protetta, autobus confortevoli e veloci, fermate anche attrezzate come vere e proprie stazioni, attività di bigliettazione fuori dal veicolo, uso di tecnologie ITS (l'Automatic Vehicle Location con il controllo in tempo reale della regolarità dell'esercizio, l'informazione ai passeggeri, i sistemi di priorità semaforica, ecc...) ed il programma di esercizio flessibile, ma frequente e costante (il servizio dovrebbe operare al minimo 16 ore ogni giorno, con distanziamenti temporali di 15 minuti o minori nelle ore di morbida e al più di 10 minuti nell'ora di punta) e integrazioni con le linee su ferro. In Nord America l'attenzione è stata posta alla rapidità del viaggio piuttosto che alla frequenza.

Il sistema in sud America, pur risultando simile a quello del nord, assume la connotazione di una vera e propria *“metropolitana povera”*: le linee si sviluppano su infrastrutture dedicate e protette sui principali corridoi delle metropoli, con intersezioni rare e con priorità semaforica assicurata, stazioni con strutture meno impegnative ma con funzionamento simile a quello delle metropolitane e frequenze elevatissime, anche dell'ordine di 60 corse/ora, con veicoli di grandi dimensioni.

<sup>7</sup> Levinson, H., et al. Bus Rapid Transit, Volume 1: Case Studies in Bus Rapid Transit, 2003

<sup>8</sup> Gattuso G. , Cassone G. C., Restuccia A, Bus with High Level of Service (BHLS), FrancoAngeli Editore, Milano 2104

In Europa, fin da anni 90', si sviluppa il *"Bus with a High Level of Service"* (BHLS), quale evoluzione del sistema tradizionale di bus, con l'intento sia di incrementare l'utenza dei bus e la qualità del servizio, sia di adattare il servizio offerto al contesto urbano ed economico Europeo.

Negli Stati Uniti, il trasporto pubblico risponde essenzialmente alle esigenze dei pendolari provenienti da aree fuori dalla città e, in generale, da punti distanti e differenti tra di loro, diretti al centro città. Nel caso dei modelli urbani europei, si presentano come città relativamente dense con strade strette dove la maggior parte delle attività e le residenze coesistono. Quest'ultima peculiarità ha influenzato l'organizzazione del trasporto pubblico, il quale trae vantaggio dai flussi concentrati. La domanda di trasporto pubblico si presenta consistente non solo nell'ora di punta, in cui si concentrano gli spostamenti dei pendolari, ma copre tutto l'arco della giornata, la sera ed i fine settimana in cui vengono utilizzati i sistemi di trasporto pubblico<sup>9</sup>.

Il BRT/BHLS tenta di creare un collegamento tra i vantaggi di un sistema economico basato sui bus e le prestazioni di sistemi più pesanti, e si ispira alla metodologia ed il design dei BRT americani; il BHLS, come il BRT, resta generico e può essere inserito in un qualsiasi tipo di infrastruttura.

Tali sistemi, tendono a riposizionare il ruolo dell'autobus, basandosi su una combinazione di fattori, con un approccio sistemico, quali ambiente operativo curato, veicoli di qualità, infrastruttura dedicata e attrezzata<sup>10</sup>, migliori servizi all'utente, promozione del marketing e nuova immagine.

In sintesi il BRT/BHLS può definirsi<sup>11</sup> come un sistema che integra il Bus, ma entro nuove condizioni prevedenti l'incremento delle prestazioni grazie ad una tripla ottimizzazione di:

- caratteristiche tecniche e commerciali dell'offerta;
- integrazione della suddetta offerta nell'intero sistema del trasporto pubblico;
- integrazione della rete nell'area urbana.

Le diverse possibili configurazioni per il BRT/BHLS, definito anche come "sistema flessibile", si declina anche in differenti caratteristiche prestazionali e, quindi, di capacità di offerta

In generale le configurazioni possibili sono caratterizzate dall'estensione di linea in cui i veicoli possono circolare su corsie riservate<sup>12</sup> e dal "grado di apertura" delle corsie nei confronti delle linee di autobus convenzionali e di altri sistemi di trasporto<sup>13</sup> (Gattuso D, et al, 2014).

In tal senso, si possono distinguere 3 tipologie di sistemi BRT (Figura 14):

<sup>9</sup> Heddebaut O, Finn B., Rabuel S., Rambaud F., The European Bus with a High Level of service (BHLS): Concept and Practice, Built Environment, Lloyd Wrigth editor "Bus Rapid Transit: A public renaissance, Vol36 Number 3, 2010 article pp 307-316, ripreso in Nelli C., Sviluppo di un modello di microsimulazione per l'analisi delle prestazioni di sistemi BRT, Tesi di Dottorato, XXIV Ciclo, Università di Roma Tre, 2012.

<sup>10</sup> Non necessariamente su tutto l'itinerario. A tal proposito si evidenzia che un BHLS ha almeno (secondo i francesi e non solo) il 60% del percorso in sede riservata e protetta e almeno la metà degli attraversamenti con asservimento semaforico (fonte: Cityrailways, Bolzano: niente tram, arriva il metrobus , 10 aprile 2012.

<sup>11</sup> Finn B, Heddebaut O, Kerkhof A, Rambaud F, Sbert-Lozano O, Soulas C (eds) (2011) , Buse with Highlevel of Service – Fundamental characteristic and recommendations for decision –making and research, Final Report, COST action TU0603, 2011.

<sup>12</sup> Sulla base del Codice della Strada ed il D.M. 05/11/2011 "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade" le corsie delle busvie devono avere una larghezza di 3,5 m oltre a 0,5 m. di banchina laterale , per un totale di 8,00 m. di larghezza della piattaforma .

<sup>13</sup> Si veda nota 8

- “*leggero*”, che differiscono da una normale linea di autobus per il maggior distanziamento delle fermate e la priorità alle intersezioni;
- “*standard*”, che accentuano la priorità e la protezione di linea per ridurre i tempi ed assicurare regolarità di servizio;
- “*completo*”, con caratteristiche e prestazioni paragonabili a quelle delle metropolitane, con una completa separazione delle linee dal contesto.

Figura 14: Caratteristiche principali dei diversi sistemi BRT

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

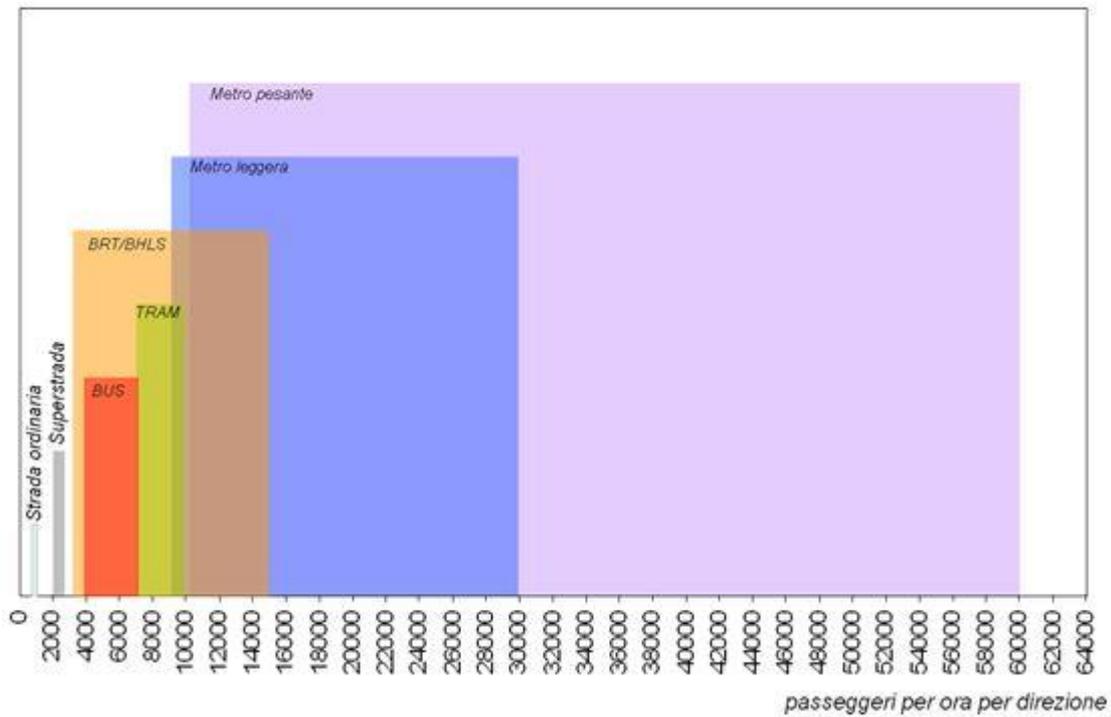
Fonte: S. Giusti, “Sistemi di trasporto di tipo bus rapid transit: stato dell’arte ed applicazioni”. Tesi di Lauria, A.A. 2011/2012, Facoltà d’Ingegneria, Università di Bologna “Alma Mater Studiorum”

Nella Figura 15 è riportato il raffronto in termini di capacità oraria rispetto gli altri sistemi di trasporto, mentre la Figura 16 riporta le classi di capacità delle 3 diverse tipologie di BRT precedentemente descritte.

Le applicazioni implementate in Europa, con diversi gradi di flessibilità, hanno mostrato che i sistemi BRT/BHLS determinano incrementi di utenza per il servizio di trasporto pubblico, che in alcuni casi può arrivare anche a raddoppiarsi. Nelle Tabella 22 e Tabella 23 si riportano le caratteristiche di 10 sistemi BHLS europei. Il complessivo incremento di domanda è frequentemente ottenuto nell’arco di più anni; all’incirca 3 o 4 anni sembra siano necessari ai fini di uno spostamento modale di utenti, con percentuali, legate al contesto di riferimento ed alla configurazione del sistema, che varia da un minimo del 5 % (Stoccolma) ad un massimo del 30 %<sup>14</sup> (Twente).

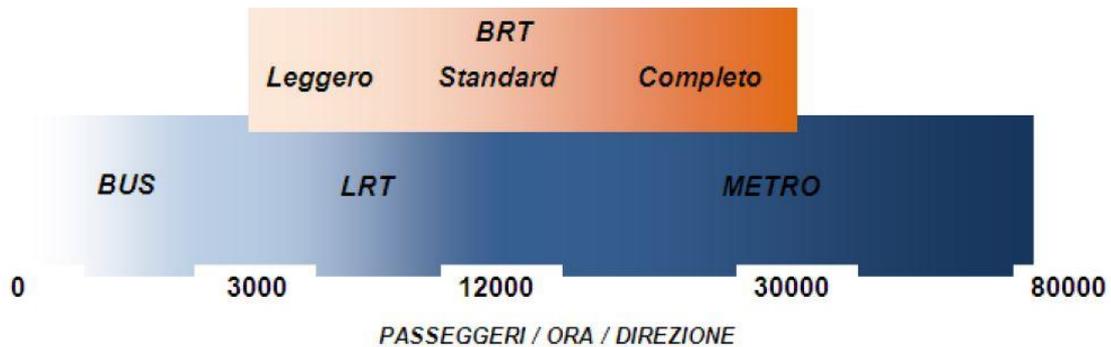
<sup>14</sup> Si veda nota 11

Figura 15: Confronto tra le capacità dei principali sistemi di trasporto



Fonte: Nelli C., Sviluppo di un modello di microsimulazione per l'analisi delle prestazioni di sistemi BRT, Tesi di Dottorato, XXIV Ciclo, Università di Roma Tre, 2012

Figura 16: Sistemi di trasporto di tipo BRT – stato dell'arte e applicazioni (passenger/ora)



Fonte: S. Giusti, "Sistemi di trasporto di tipo bus rapid transit: stato dell'arte ed applicazioni". Tesi di Laurea, A.A. 2011/2012 Facoltà d'Ingegneria, Università di Bologna "Alma Mater Studiorum"

Tabella 22: Caratteristiche di alcuni sistemi BHLS presenti in Europa

Città	Identità del Sistema	Lunghezza del Sistema (km)/(Corsie Dedicata)	Natura della Viabilità	Passeggeri per Giorno	Headway dell'ora di punta (Minuti)	Flotta dedicata
Amsterdam	Zuid-Tangent	41(33)	Viabilità esclusiva, corsie bus (periferica circolare)	40.000	6	Si
Dublino <sup>1</sup>	Quality Bus Corridor	12 (8.4)	Corsie bus	34.000	<1,5 <sup>2</sup>	No
Goteborg <sup>3</sup>	TrunkBus	16.5 (7.5)	Corsie bus	24.000	3.3	Si
Amburgo <sup>4</sup>	MetroBus	14.8 (4.0)	Corsie bus	60.000	3.5	Si
Helsinki	Jokeri Line	28 (6)	Corsie bus (itinerario circolare)	25.000	5	Si
Madrid	Bus VAO	16.1 (16.1)	Corsie protette con senso di marcia variabile (inserita in strada per flussi a lunga percorrenza)	33.000 <sup>5</sup>	<1 <sup>6</sup>	No
Nantes	BusWay	7 (6)	Corsie bus	24.600	3.3	Si
Parigi	TVM	20 (19)	Viabilità esclusiva, corsie bus (periferica circolare)	65.800	3.5	Si
Prato	LAM	45 (15)	Corsie bus	n/a	7	Si
Stoccolma	Blu Line	40 (12)	Corsie bus	36.575 <sup>7</sup>	5	Si

<sup>1</sup> I dati relativi a Dublino si riferiscono alla Road Quality Bus Corridor, ci sono altri QBC

<sup>2</sup> I sistemi di Dublino e Madrid svolgono l'esercizio su più itinerari sui loro sistemi BHLS

<sup>3</sup> I Dati relativi a Goteborg si riferiscono alla Linea 16, ci sono altre linee TrunkBus

<sup>4</sup> I dati relativi a Amburgo si riferiscono alla MetroBus Line 5, co sono altre linee MetroBus

<sup>5</sup> vedi nota 2

<sup>6</sup> Il sistema Bus-VAO svolge servizio con senso di marcia variabile. I dati riportati si riferiscono al flusso dell'ora di punta entrante (07:00-10:00), per più itinerari bus e combinazioni di occupazioni degli HOV

<sup>7</sup> I passeggeri per giorno di Prato e Stoccolma sono mediati su più itinerari e corridoi

Fonte: Heddebaut O, et. Al., The European Bus with a High Level of service (BHLS): Concept and Practice, Built Environment, Lloyd Wrigth editor "Bus Rapid Transit: A public renaissance, Vol36 Number 3, 2010 article pp 307-316 tradotto in Nelli C., Sviluppo di un modello di microsimulazione per l'analisi delle prestazioni di sistemi BRT, Tesi di Dottorato, XXIV Ciclo, Università di Roma Tre, 2012

In generale per gran parte dei sistemi europei il distanziamento medio dei veicoli è variabile da 300 a 700 m. in ambito urbano, mentre le distanze si incrementano in quelle periferiche.

Per quanto attiene le velocità commerciali dei vari sistemi, sostanzialmente legate alla configurazione dei servizi e, quindi, alle infrastrutture dedicate, i valori oscillano da 15 Km/h (Stoccolma - linea 4) ai 35 Km/h per il Zuid-Tangent di Amsterdam.

**Tabella 23: Incremento della domanda e fattori correlati per alcuni sistemi BHLS presenti in Europa**

Città	Identità del Sistema	Variazione di domanda per il BHLS	Variazione della velocità operativa	Periodo di punta con riduzione dell'headway	Ammodernamento della rete nel Corridoio?	Unica Identità per il servizio BHLS?
Amsterdam	Zuid-Tangent	+47%	Significativo	Si	Significativo	Si
Dublino	Quality Bus Corridor	+125%	Maggiore	Si	Minore	No
Goteborg	TrunkBus	+73%	Moderato	Si	Significativo	Si
Amburgo	MetroBus	+20%	Minore	Si	Minore	Si
Helsinki	Jokeri Line	+100%	Significativo	7 ➡ 5	No	Si
Madrid	Bus VAO	+70-100%	+80-100%	Si	Minore	No
Nantes	BusWay	+55%	Moderato	Si	Significativo	Si
Parigi	TVM	+134%	Significativo	5 ➡ 3.5	Significativo	Si
Prato	LAM	+57%	+5%	15 ➡ 7	Maggiore	Si
Stoccolma	Blu Line	+27%	0	Si	No	Si

Fonte: Hedebaut O, et. Al., The European Bus with a High Level of service (BHLS): Concept and Practice, Built Environment, Lloyd Wrigth editor "Bus Rapid Transit: A public renaissance, Vol36 Number 3, 2010 article pp 307-316 tradotto in Nelli C., Sviluppo di un modello di microsimulazione per l'analisi delle prestazioni di sistemi BRT, Tesi di Dottorato, XXIV Ciclo, Università di Roma Tre, 2012

Per offrire un servizio di trasporto di qualità il BRT/BHLS deve includere, pertanto un ampio insieme di elementi, opportunamente combinati, quali<sup>15</sup> :

- strade dedicate all'autobus;
- corsie prioritarie, talvolta anche protette;
- tratte viarie riservate in corrispondenza di intersezioni per evitare fenomeni congestivi;
- attraversamenti diametrali in corrispondenza di rotonde;
- priorità semaforica (attivazione dinamica del verde all'arrivo);
- ridisegno della viabilità minore a vantaggio dell'autobus;
- riconfigurazione della rete di trasporto pubblico;
- livelli di confort superiori;
- periodo di esercizio esteso, servizi notturni;
- operazioni avanzate di gestione e controllo (ITS);
- forme di guida vincolata (fisica, elettronica o ottica);
- sistema avanzato di tariffazione e biglietteria;
- sistema di informazione per i passeggeri in tempo reale;
- ricoveri autobus di alta qualità;
- impianti di Park and Ride (parcheggi di interscambio);
- autobus di elevata qualità;
- promozione dell'immagine (brand attrattivo);
- migliori servizi di assistenza al viaggiatore;
- qualificazione dei conducenti, anche nei rapporti con gli utenti;

<sup>15</sup> Si veda nota 8

- iniziative promozionali ed incentivi a utilizzare i servizi;
- miglioramento dell'ambiente urbano lungo il corridoio di linea.

Sulla base di quanto indicato precedentemente, gli aspetti rilevanti per l'efficace implementazione dei sistemi, attengono<sup>16</sup> (Figura 17):

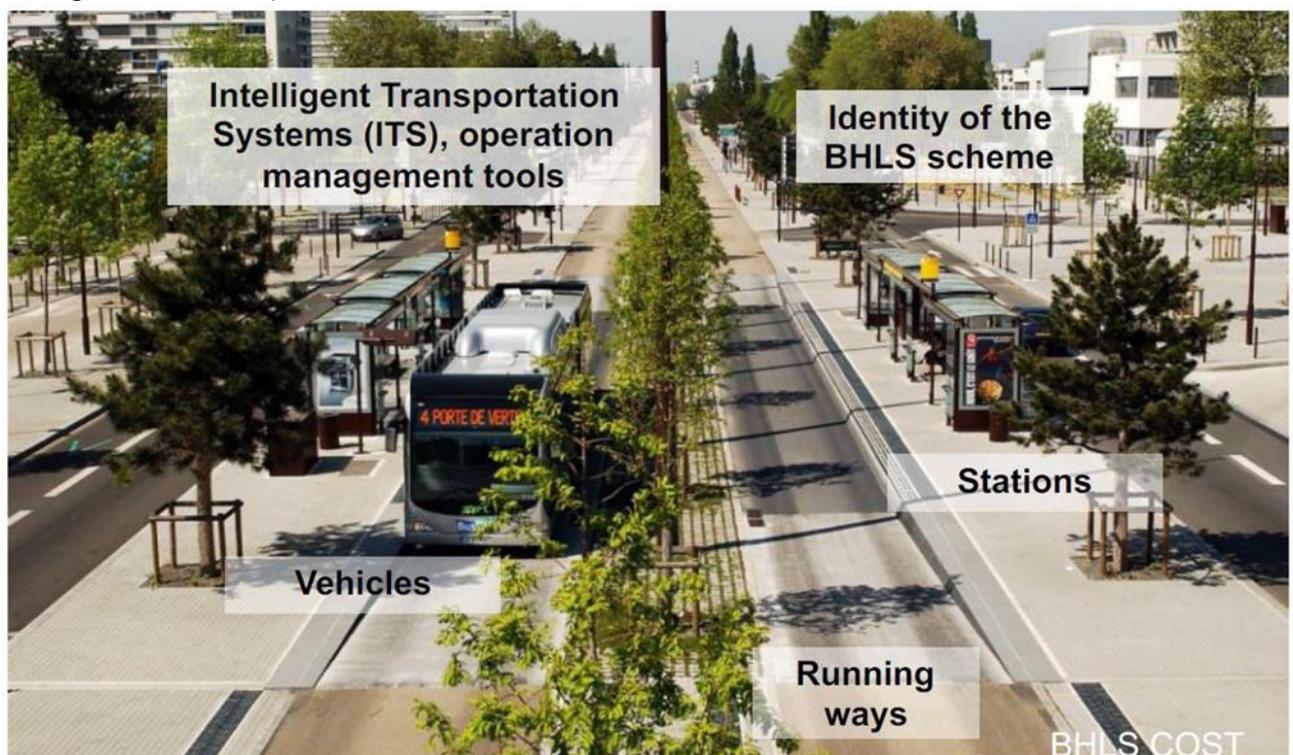
- **all'identificazione delle linee:** il BRT/ BHLS deve avere una identità forte in modo da essere immediatamente riconoscibile, sia dagli utenti abituali che da quelli occasionali, rispetto alle altre linee di TPL urbano ed in tal senso è opportuno:
  - utilizzare una flotta di veicoli specifica;
  - utilizzare delle infrastrutture dedicate per cui sia facilmente individuabile il percorso, adottando colori diversi per le pavimentazioni delle corsie riservate e prevedendo delle marcature per le corsie normali (Figura 18);
  - identificare, con colori e simboli analoghi a quelli definiti per la caratterizzazione della linea, le fermate ed i percorsi;
  - realizzare fermate ben attrezzate, se possibile, caratterizzate nella forma/design (Figura 19);
  - denominare e numerare diversamente le linee dalle altre presenti; la differenza riguarderà sia il veicolo che le fermate, le mappe, le tabelle informative e tutte le componenti visibili;
  - creare un logo da associare alle linee;
- **al controllo di sistema e componenti ITS:** la presenza di componenti ITS non è strettamente necessaria per il funzionamento delle linee ma è utile ad ottenere un alto livello di servizio. L'uso dei sistemi può permettere:
  - conoscere il posizionamento e le velocità commerciali, in tempo reale, di ogni veicolo (Automatic Vehicle Location);
  - attivare forme di priorità agli incroci in modo automatico (Figura 20, Figura 21, Figura 22);
  - consentire agli utenti di conoscere gli orari di arrivo delle varie corse, sia alle fermate sia a bordo;
  - conoscere lo stato tecnico-funzionale dei veicoli tramite tele-monitoraggio;
  - acquisire dati per la valutazione dell'efficienza del sistema.
- **ai mezzi da utilizzare:** il veicolo in un sistema BRT/ BHLS non è un semplice autobus, e la scelta tecnologica e dimensionale influisce sulle prestazioni del sistema in quanto è alla base della capacità di soddisfare la domanda oltre che orientare alcuni elementi progettuali dell'infrastruttura. Pertanto:
  - è necessario scegliere la dimensione giusta in relazione alla combinazione ottimale di diversi fattori quali la domanda da servire, la necessità di offrire un elevato confort e il budget disponibile;
  - va data rilevanza all'identificazione dei veicoli, attraverso caratteristiche di livrea e design (Figura 23);
  - l'altezza del pianale rappresenta un'ulteriore caratteristica rilevante dei mezzi; i veicoli a pianale totalmente ribassato, generalmente a livello di piattaforma di fermata, è una soluzione diffusa per sistemi ad alto livello di servizio poiché consente facilità e rapidità di accesso oltre che a un maggior livello di sicurezza: i veicoli possono essere dotati di meccanismi per l'abbassamento del pianale in corrispondenza delle fermate;

---

<sup>16</sup> Si veda nota 8

- va tenuto conto del fatto che il sistema propulsivo dei mezzi può determinare un impatto rilevante sulle prestazioni del sistema, sui costi operativi, sulla manutenzione, ma anche sull'ambiente.
- è possibile prevedere sistemi di guida che agiscono sul controllo della traiettoria ( guida libera, vincolata e semi-vincolata) e sistemi che agiscono invece sul controllo della marcia del veicolo (manuale, automatica e semi-automatica); la guida libera è predominante nei sistemi BHLS. Un veicolo di guida alternativo a quelli meccanici è quello a lettura ottica, costituito da un sistema inglobante una telecamera, un software di riconoscimento delle immagini, un modulo di guida, un motore elettrico. In questo caso la guida è rappresentata da due linee tratteggiate lungo il percorso. Questo sistema è particolarmente adatto per effettuare la manovra alla fermata , garantendo la minima distanza di accosto ed evitare collisioni con la banchina (tecnologia in uso nel sistema Teor di Rouen in Francia) (Figura 24).

Figura 17: Le componenti chiave dei sistemi Brt/BHLS



Fonte: La Busway di Nantes, D. Hidalgo "BRT and BHLS Evaluation Worldwide ", EMBARQ Signature Initiative- WRI Ross Center for Sustainable Cities

*Figura 18: TOER di Rouen (Francia)*



Fonte: Finn B., Et Al. Final Report, COST action TU0603, 2011 La guida dei veicoli è di tipo semi-automatico; viene utilizzato un gruppo ottico di riconoscimento della direzione di via, dettata da due linee tratteggiate poste centralmente alla corsia L'automatismo di guida viene tuttavia attivato esclusivamente in corrispondenza delle fermate per consentire un perfetto allineamento dei pianali dei veicoli alle banchine.

*Figura 19: Design delle stazioni del BHLS di Strasburgo*



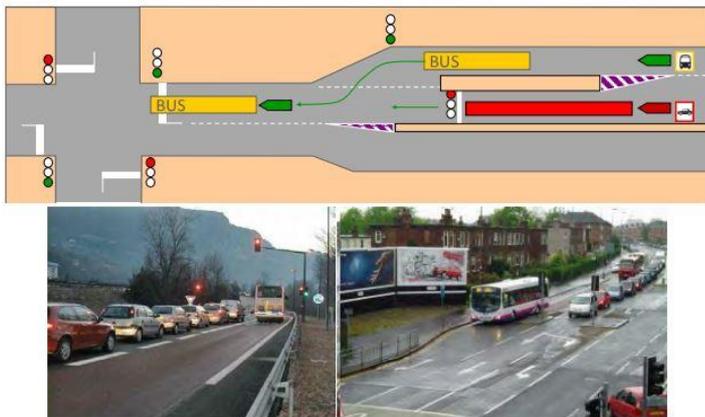
Fonte: Strasbourg.eu & Communaute urbaine- BHNS Ligne G Strasbourg , fevrier2017

Figura 20: Nantes, segnale di via impedita ai veicoli al passaggio del Bus



Fonte: Finn B., Et Al., Final Report, COST action TU0603, 2011

Figura 21: Esempi di soluzioni di priorità semaforica



Fonte: PUMMS Bologna, Documento preliminare all'avvio alla fase di partecipazione sulle scelte, 2018

*Figura 22: Esempi di canalizzazione in rotatoria*



Fonte: Finn B, Heddebaut O, Kerkhof A, Rambaud F, Sbert-Lozano O, Soulas C (eds) (2011) , Buse with Highlevel of Service – Fundamental characteristic and recommendations for decision –making and research, Final Report, COST action TU0603, 2011

*Figura 23: Bus in funzione sulle line LAM di Prato*



Fonte: [http://www.cap1945.it/News/L\\_esperienza\\_Lam\\_Da\\_Prato\\_A\\_Livorno/8/117/2](http://www.cap1945.it/News/L_esperienza_Lam_Da_Prato_A_Livorno/8/117/2)

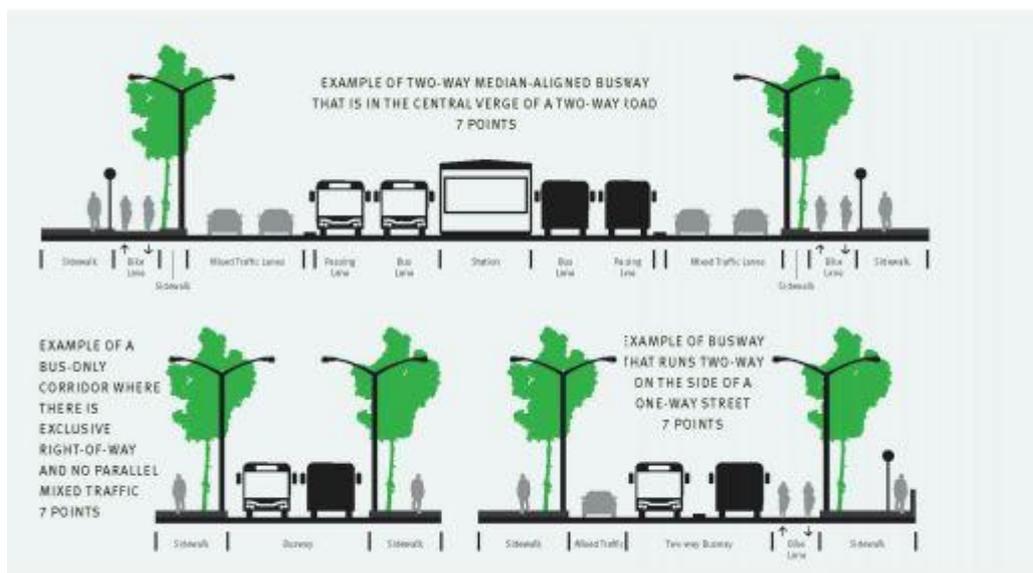
Figura 24: Esempio di bus con dispositivo per la guida ottica



Fonte: ATR, mobilità sostenibile per le città medio-piccole, Forlimpopoli 2008

In termini di inserimento nel contesto locale è importante che l'implementazione del sistema consenta, come già evidenziato, una riqualificazione delle infrastrutture stradali interessate, progettando in sistema in modo tale da minimizzare un possibile effetto "ostruzione" (Figura 25)

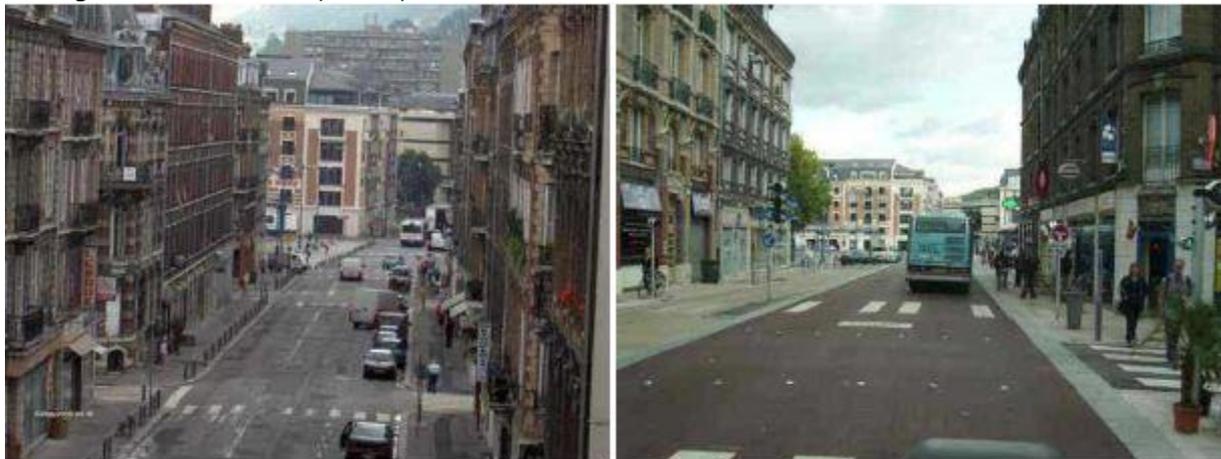
Figura 25: Esempi di sezioni stradali



Fonte: R. Cervero, "Bus Rapid Transit (BRT): An Efficient and Competitive Mode of Public Transport", University of California Berkeley, USA, December 2013

Il TEOR di Rouen è stato, ad esempio, l'occasione per una profonda riqualificazione urbana che ha visto la riduzione del traffico veicolare nel centro cittadino (Figura 26). Analoga previsione di riqualificazione urbana ha riguardato la realizzazione della Linea G del BHNS di Strasburgo (Figura 27).

*Figura 26: Prima e dopo l'implementazione del TEOR in una strada di Rouen*



Fonte: ATR, mobilità sostenibile per le città medio-piccole, Forlimpopoli 2008

*Figura 27: BHLS di Strasburgo, riqualificazione urbana de La rue Lavoisier*



Fonte: Strasbourg.eu & Communauté urbaine- BHNS Ligne G Strasbourg , fevrier2017

Approfondimenti sulle caratteristiche tecnico-prestazionali e sui costi d'implementazione sono possibili consultando la bibliografia citata nelle note. In particolare il Final Report del progetto COST action del 2011, riporta in appendice 22 casi di studio, tra cui anche le LAM (Linee ad alta mobilità) di Brescia e Prato.

In particolare, per quanto attiene la città di Prato, nel 2003 viene attivata la prima LAM<sup>17</sup> (Linea ad Alta Mobilità), caratterizzata da una livrea riconoscibile di colore Blu e collegava le due estremità

<sup>17</sup> [Http://www.cap1945.it/News/L\\_esperienza\\_Lam\\_Da\\_Prato\\_A\\_Livorno/8/117/2](http://www.cap1945.it/News/L_esperienza_Lam_Da_Prato_A_Livorno/8/117/2)

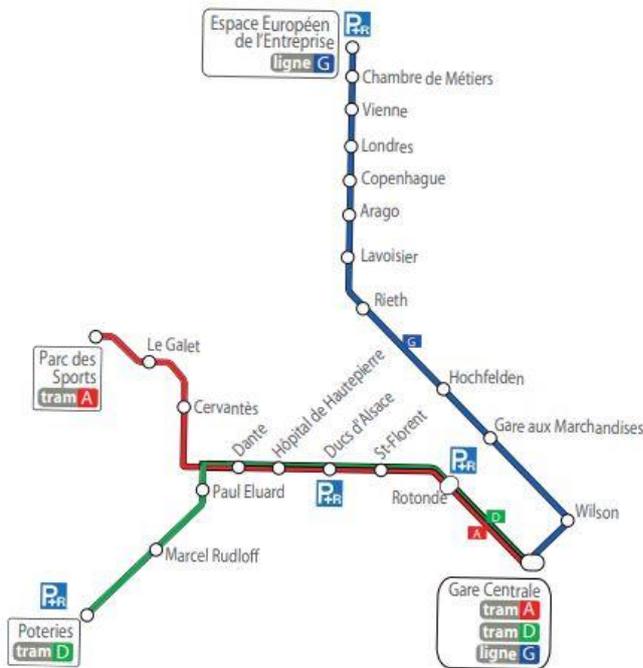
Ovest-Est della città passando per il centro storico e la Stazione Centrale. La frequenza di 7 minuti e i parcheggi scambiatori che favorivano gli scambi fra le LAM e gli altri bus cittadini, le auto, i pullman extraurbani e i treni regionali sono stati i fattori chiave di successo del progetto. Dopo sono state attivate altre 4 linee denominate la Verde, la Rossa, la Viola e l'Arancio fino al 2016, anno cui la linea Blu si è sdoppiata.

Dopo tre anni dalla nascita della prima LAM a Prato e durante il consolidamento della stessa, il progetto viene esportato a Pisa e Lucca e Livorno.

Di recente attivazione (2013) la linea G del BHLS di Strasburgo (Figura 28, Figura 29, Figura 30), che collega la station Gare Centrale (capolinea sud della linea, ed è anche il capolinea della linea tranviaria C di Strasburgo) con la station Espace Européen de l'Entreprise (capolinea settentrionale della linea), avente le seguenti caratteristiche<sup>18</sup>:

- Lunghezza della linea: 5,2 km, l'80% del quale in sede propria;
- Servizio: 15.500 persone (8000 abitanti, 6.000 lavoratori, 1.500 studenti);
- Ampiezza oraria: dalle 4:30 alle 0:30 dal lunedì alla domenica;
- Frequenza: ogni 6 minuti nelle ore di punta, 8 minuti nelle ore non di punta, 30 minuti di sera;
- Facilities: 12 stazioni, 1 parcheggio-Relais, 1 parcheggio-bici, 1 stazione automatica Vélhop, 1 stazione di car sharing;
- Priorità ai semafori nelle intersezioni
- Fermate del tipo tramvia
- Costo: 25,4 Meuro (4,3 Meuro/km);

Figura 28: Grafo della Linea G del BHLS di Strasburgo



Fonte: Le journal de la ligne G - <http://media.strasbourg.eu/alfresco/d/d/workspace/SpacesStore/bda47fa0-21a0-4439-8b48-8f5dd65812c6/Journal>

<sup>18</sup> CTS Compagnie des Transports Strasbourgeois - <https://www.cts-strasbourg.eu/fr/la-cts/projets-dextension/ligne-g-bus-a-haut-niveau-de-service/>

Figura 29: Linea G del BHLS di Strasburgo



Fonte: Aci, Onda Verde, Numero 7: settembre - ottobre 2016

Figura 30: Fermata della linea G di Strasburgo



Fonte: <http://tc-alsace.eu/2014/12/20-ans-de-tramway-a-strasbourg-et-apres/>

E' in progetto il prolungamento per ulteriori 2,8 Km della linea G del BHNS che consentirà, entro il 2020, di collegare la Chamber of Trades di Schiltigheim al Parc de l'Étoile di Strasburgo passando per Place de la Gare. Sono previste 7 nuove stazioni, piste ciclabili in tutto il percorso, più collegamenti con la rete tranviaria<sup>19</sup>.

#### 4.2. Le tipologie di sistema su gomma per il BRT/ BHLS

Sulla base di quanto evidenziato nel precedente paragrafo, appare utile fornire un sintetico quadro sulla capacità dei mezzi e, in particolare sulle possibili soluzioni propulsive (quindi di sistema), fattori che, come già evidenziato, incidono sui costi di acquisto e di esercizio, nonché sull'impatto ambientale e sull'immagine del sistema. In particolare la capacità dei mezzi e la frequenza, come già detto, sono i fattori che determinano la capacità dei sistemi BHLS.

<sup>19</sup> <https://www.strasbourg.eu/projet-de-prolongement-ligne-g-bhns>

Come desumibile dalla Tabella 24, le tipologie di veicolo variano dal bus ordinario di 12 m. fino al bus bi-articolato da 24.

*Tabella 24: Capacità per diversi standard di comfort*

Tipologia veicolo	Capacità (posti) Standard 4 pass/mq	Capacità (posti) Standard 6 pass/mq
Bus ordinario (12 m.)	80	120
Bus articolato (18 m.)	120	180
Bus bi-articolato (24 m.)	130	225

Fonte: Finn B. , Et Al., Final Report, COST action TU0603, 2011

Nella selezione tra i sistemi propulsive disponibili va certamente tenuto conto dell'attenzione rivolta dalle amministrazioni pubbliche, aziende e, più in generale, dai cittadini alle soluzioni più sostenibile sotto il profilo ambientale al fine di salvaguardare e/o migliorare la qualità della vita delle aree in cui operano i servizi operano.

In tal senso è, pertanto, opportuna una particolare attenzione all'impatto ambientale che essa comporta. L'orientamento di recenti atti normativi e legislativi è verso sistemi di trasporto sempre più eco-sostenibili, caratterizzati da basse emissioni atmosferiche e sonore e da una elevata efficienza energetica.

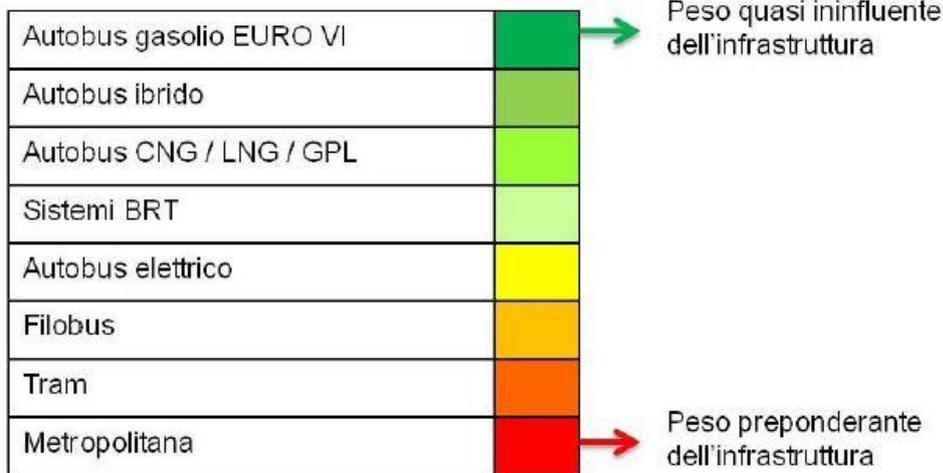
Nello specifico, l'art. 18 comma 10 del D. lgs del 16 dicembre 2016, n. 2571<sup>20</sup> obbliga all'acquisto, attraverso gare, di almeno il 25 per cento di veicoli a GNC, GNL e veicoli elettrici e veicoli a funzionamento ibrido bimodale e a funzionamento ibrido multimodale entrambi con ricarica esterna, nonché ibridi nel caso degli autobus.

E' tuttavia opportuno segnalare il fatto che gli aspetti normativi, ambientali ed energetici vanno poi coniugati con le esigenze trasportistiche e i vincoli al contorno.

<sup>20</sup> DECRETO LEGISLATIVO 16 dicembre 2016, n. 257, Disciplina di attuazione della direttiva 2014/94/UE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 22 ottobre 2014, sulla realizzazione di una infrastruttura per i combustibili alternativi. (17G00005) (GU Serie Generale n.10 del 13-01-2017 - Suppl. Ordinario n. 3) al comma 10 dell'art. 18 prevede che *“Le pubbliche amministrazioni, gli enti e le istituzioni da esse dipendenti o controllate, le regioni, gli enti locali e i gestori di servizi di pubblica utilità per le attività svolte nelle province ad alto inquinamento di particolato PM10 di cui all'allegato IV, al momento della sostituzione del rispettivo parco autovetture, autobus e mezzi di servizio di pubblica utilità, ivi compresi quelli per la raccolta dei rifiuti urbani, sono obbligati all'acquisto di almeno il 25 per cento di veicoli a GNC, GNL e veicoli elettrici e veicoli a funzionamento ibrido bimodale e a funzionamento ibrido multimodale entrambi con ricarica esterna, nonché ibridi nel caso degli autobus. Nel caso di rinnovo dei parchi utilizzati per il trasporto pubblico locale tale vincolo è riferito solo ai servizi urbani. La percentuale è calcolata sugli acquisti programmati su base triennale a partire dalla data di entrata in vigore del presente decreto. Le gare pubbliche che non ottemperano a tale previsione sono nulle. Sono fatte salve le gare già bandite alla data di entrata in vigore del presente decreto, nonché, nelle more della realizzazione delle relative infrastrutture di supporto, le gare bandite entro e non oltre il 30 giugno 2018, effettuate anche con modalità sperimentali centralizzate. In sede di aggiornamento del quadro strategico, di cui all'allegato III, la percentuale del 25 per cento potrà essere aumentata e potrà comprendere anche l'acquisto di veicoli a idrogeno”*.

Va, inoltre, evidenziato che per alcuni sistemi di trasporto, il peso dell'infrastruttura è quasi ininfluenza per altri costituisce, invece, il peso preponderante<sup>21</sup> (Figura 31).

Figura 31: Peso dell'infrastruttura in relazione al sistema



Fonte: Asstra, SISTEMA AUTOBUS ELETTRICO: LA POSIZIONE DI ASSTRA "Analisi ed indirizzi dell'Associazione delle Aziende del TPL in Italia", Convegno nazionale "il futuro dell'autobus elettrico", Bergamo 24-25 giugno 2017

Nella scelta di uno dei sistemi sopracitati, tutti con un livello di eco sostenibilità adeguato agli standard definiti dalla UE, devono essere considerate le condizioni al contorno per una valutazione complessiva della sostenibilità dei progetti:

- Capacità di trasporto
- Percorrenze giornaliere massime
- Flessibilità del sistema
- Possibilità di realizzare le infrastrutture necessarie (vincoli territoriali, potenze elettriche disponibili, ...)
- Investimenti e costi di esercizio

Con riferimento ai vincoli ambientali, di infrastruttura e di domanda di trasporto ed il sistema, la Tabella 25 riporta delle indicazioni sulla soluzione più idonea nella scelta della tipologia di un sistema su gomma da adottare per una linea di TPL.

<sup>21</sup> Asstra, SISTEMA AUTOBUS ELETTRICO: LA POSIZIONE DI ASSTRA "Analisi ed indirizzi dell'Associazione delle Aziende del TPL in Italia", Convegno nazionale "il futuro dell'autobus elettrico", Bergamo 24-25 giugno 2017

Tabella 25: Matrice sulla correlazione vincoli (ambientali, di infrastruttura e di domanda di trasporto) al sistema da adottare

Vincoli ambientali (emissioni)	Vincoli di infrastruttura viaria	Vincoli di domanda di trasporto da soddisfare	Sistemi possibili
A	A	B	<input type="checkbox"/> Elettrici <input type="checkbox"/> Ibridi <input type="checkbox"/> Metano                 } < 8 metri
A	B	B/C	<input type="checkbox"/> Ibridi <input type="checkbox"/> metano <input type="checkbox"/> Elettrici                 } < 9 □ 10 metri
B	C	A	<input type="checkbox"/> Metano <input type="checkbox"/> Ibridi                 } 10,7 m; 12 m; 18 m
A	B/C	A	<input type="checkbox"/> Filobus <input type="checkbox"/> Metano <input type="checkbox"/> Ibridi                 } 10,7 m; 12 m; 18 m
A	B/C	B/C	<input type="checkbox"/> Elettrici                 } 12m
A	C	A+	<input type="checkbox"/> Elettrico 18m in sede propria <input type="checkbox"/> Filobus 18m in sede propria <input type="checkbox"/> Metano 18 m in sede propria <input type="checkbox"/> Sistemi intermedi
B/C	B	A	<input type="checkbox"/> Metano <input type="checkbox"/> Ibridi <input type="checkbox"/> Gasolio                 } 10,7 m; 12 m; 18 m

Matrice sulla correlazione vincoli (ambientali, di infrastruttura e di domanda di trasporto) al sistema da adottare [Fonte: Gruppo di lavoro Autobus - ASSTRA]

**Legenda:**

<b>Vincoli ambientali (emissioni)</b>	A: <b>Alti</b> – zona del centro storico critica che richiede veicoli a trazione elettrica almeno per alcuni tratti
	B: <b>Media</b> – linee importanti che si inseriscono nel centro della città
	C: <b>Bassi</b> – le emissioni non sono un aspetto critico.
<b>Vincoli di infrastruttura viaria</b>	A: <b>Alti</b> – strade del centro storico che non consentono marcia a veicoli > 8 metri
	B: <b>Media</b> – strade del centro storico che non consentono marcia a veicoli > 9 □ 10 metri
	C: <b>Bassi</b> – non esistono vincoli di tracciato per veicoli anche maggiori dei 12 metri
<b>Vincoli di domanda di trasporto da soddisfare</b>	A: <b>Alti</b> – domanda 1500 – 2500 pass/h
	A+: <b>Molto Alti</b> – domanda > 2500 pass/h sino a 3200 pass/h
	B: <b>Media</b> – domanda 800 – 1500 pass/h
	C: <b>Bassi</b> – domanda <800 pass/h

Fonte: Asstra, SISTEMA AUTOBUS ELETTRICO: LA POSIZIONE DI ASSTRA “Analisi ed indirizzi dell’Associazione delle Aziende del TPL in Italia”, Convegno nazionale “il futuro dell’autobus elettrico”, Bergamo 24-25 giugno 2017

Il confronto tecnico, economico, prestazionale e funzionale tra diverse soluzioni tecnologiche è riportato nella Tabella 26

Tabella 26: Confronto tra diverse soluzioni di autobus

Parametro	Autobus Diesel	Autobus CNG	Autobus Ibrido	Autobus Full-Electric
<b>Costo di acquisto (Euro)</b>	230.000	260.000	c.a. 320.000	> 400.000
<b>Costi di manutenzione</b>	Medio/basso	Medio/alto	medio	basso
<b>Costo energia (gasolio, energia elettrica)</b>	medio	Medio/basso	Medio/basso	basso
<b>Complessità powertrain</b>	Medio/basso	Medio/basso	medio	basso
<b>Facilità di manutenzione</b>	basso	basso	Medio/basso	basso
<b>Rimessaggio (limite per parcheggio dedicato)</b>	nullo	Medio/basso	nullo	Critico (x ricarica)
<b>Affidabilità</b>	alta	Medio/alta	Medio alta	alta
<b>Durata (vita utile)</b>	Medio/alta	media	Medio/alta	alta
<b>Necessità di infrastruttura di ricarica</b>	no	si	no	si
<b>Consumi</b>	Medio/alta	medio	Medio/basso	Medio/basso
<b>Rumorosità</b>	Medio/alta	medio	Medio/basso	nullo
<b>Emissioni atmosferiche</b>	medio	medio	Medio/basso	nullo
<b>Autonomia</b>	No problem	Medio	No problem	critica
<b>Flessibilità di utilizzo</b>	massima	massima	massima	critica
<b>Capacità trasporto passeggeri</b>	alta	Medio/alta	Medio alta	bassa
<b>Investimento e manutenzione infrastruttura rifornimento</b>	nullo	medio	nullo	alto

Fonte: ANM Napoli - Elaborazione su dati della Commissione Tecnica Autobus di ASSTRA

Va evidenziato il fatto che negli anni il sistema elettrico ha acquisito una sempre maggiore presenza nel TPL urbano.

Il servizio urbano di Torino si è dotato di una flotta di 23 autobus elettrici con una capienza di 77 persone, di cui 21 seduti ed una carrozzina, con un'autonomia di 310 Km ed un consumo medio di 104 Kw/h ogni 100 Km<sup>22</sup>. In virtù di tale consumo è stato possibile non installare impianti di ricarica rapidi in linea. I mezzi sono molto silenziosi e, per questo motivo, sono dotati di avvisatori acustici per segnalare la presenza a pedoni e ciclisti.

<sup>22</sup> <http://www.lastampa.it/2017/09/18/cronaca/torino-ha-la-prima-flotta-di-bus-elettrici-sono-cinesi-57kascg1dKOAGc08t9BP6N/pagina.html>

Anche Bergamo si è dotata di 12 autobus elettrici da 12 metri, per un costo complessivo di 6,5 Meuro con autonomia di 180 Km per singola ricarica<sup>23</sup>.

A Parigi sono in corso di test 20 Bluebus lunghi 12 metri prodotti da Bolloré, che hanno 180-250 chilometri di autonomia (di fatto una giornata piena di lavoro) e possono portare un centinaio di passeggeri. A Stoccolma, invece, Volvo ha in corso di sperimentazione una linea ibrida plug-in che prevede la ricarica delle batterie al capolinea, grazie all'utilizzo di un pantografo retrattile (foto sopra). La casa polacca di Solaris, tra i costruttori di autobus urbani emergenti a livello europeo, propone addirittura quattro modelli elettrici con batterie agli ioni di litio da 8.7, 12, 18 e 18.75 metri di lunghezza. Il più capiente può portare oltre 150 passeggeri, ha un motore da 240 kWh e più di 200 chilometri di autonomia, che si può estendere installando una stazione di ricarica rapida (con pantografo, simile a Volvo) al capolinea, così da recuperare il 30 per cento della carica delle batterie ogni 10 minuti di sosta<sup>24</sup>.

Pertanto, per l'impiego di autobus **elettrici** si dovranno il contesto di mobilità, il profilo di mission, nonché le caratteristiche di progetto, quali ad esempio:

- Autonomia minima senza ricarica;
- Esclusione dell'utilizzo di impianto di ricarica in linea;
- Scelta della tipologia di ricarica in linea;
- Caratteristiche specifiche per gli apparati di ricarica;
- Potenza massima disponibile per gli impianti di ricarica (deposito o linea);
- Caratteristiche del profilo di missione.

Nel caso di utilizzo dell'eventuale sistema di ricarica in linea, dovranno essere tenute in considerazione, ai fini della gestione del programma di esercizio:

- Le operazioni da svolgersi a cura del personale di guida (sistemi di ricarica conduttiva con presa da posizionare manualmente, ecc.);
- I tempi necessari per la ricarica;
- La ridondanza del sistema: in caso di anomalia dell'impianto di ricarica in linea si dovrà prevedere gestione alternativa della linea, nel caso in cui non sia presente impianto di ricarica di back-up.

Il sistema elettrico richiede, come evidenziato, investimenti in infrastrutture per la ricarica, nello specifico i costi di investimento per la stazione di ricarica sono i seguenti (Enea):

- Costo fisso presa e connettore: 300 €
- Costo fisso pantografo: 5.000 €
- Costo fisso caricabatterie: 5.000 €
- Costo variabile caricabatterie: 150 €/kW
- Costo fisso impianto e installazione al:
  - deposito: 10.000 €
  - capolinea <150kW: 20.000 €
  - capolinea >150kW: 50.000 €
  - fermate: 60.000 €

<sup>23</sup> [https://www.agi.it/blog-italia/scienza/perch\\_spendere\\_300mila\\_euro\\_per\\_un\\_bus\\_elettrico\\_un\\_affare\\_per\\_i\\_comuni-1559912/news/2017-03-07/](https://www.agi.it/blog-italia/scienza/perch_spendere_300mila_euro_per_un_bus_elettrico_un_affare_per_i_comuni-1559912/news/2017-03-07/)

<sup>24</sup> <http://www.touringmagazine.it/i-vostri-viaggi/3891/muoversi-tram-o-bus-elettrico>

I costi di esercizio si limitano alla manutenzione annuale del motore elettrico, che è più bassa di quella del motore a combustione perché la progressione in accelerazione del motore elettrico è continua, grande coppia motrice e la frenata rigenerativa, e non richiede cambi di marcia come per le continue accelerazioni e frenate tipiche di un autobus urbano. Inoltre, è concreto il risparmio sul costo del carburante: un autobus a gasolio, infatti, in media percorre 3 km con un litro di gasolio e percorre fra i 30mila e i 60mila km all'anno, consumando fra i 10mila e 20mila litri di carburante<sup>25</sup>. Quest'ultimo aspetto inerente il consumo di carburante, impatta notevolmente sull'impatto ambientale. Inoltre, in termini di costi ambientali, studi indipendenti, nel confrontare i motori a combustione con la trazione elettrica, evidenziano risparmi sui costi di circa € 0,4 / km autobus<sup>26</sup>.

In sintesi per le diverse modalità di trazione si evidenzia che<sup>27</sup>:

- Il sistema "autobus" gasolio EURO VI garantisce ottima flessibilità d'uso, elevate percorrenze giornaliere a fronte di investimenti infrastrutturali minimi ma, sul medio periodo, nelle aree urbane il suo utilizzo sarà sempre più limitato;
- il sistema ibrido riduce di molto le emissioni e per le caratteristiche di esercizio è più simile al sistema autobus a gasolio;
- il sistema autobus elettrico per sopperire alla limitata autonomia richiede pacchi di accumulo con riduzione della capacità di trasporto o sistemi di ricarica (perdita di flessibilità). Perdita di flessibilità che può essere mitigata con un buon progetto della rete: tratti alimentati e tratti non alimentati o senza punti di ricarica; è evidente che per i sistemi deve essere definita una rete infrastrutturale progettata per il lungo periodo; le emissioni inquinanti, specie le polveri sottili e il rumore prodotti dai motori termici, si azzerano.

A fronte di soluzioni tecnologiche mature e consolidate che caratterizzano autobus diesel o a metano, l'autobus elettrico appare, in particolare, presentare elevate potenzialità di sviluppo nel breve e medio periodo, segnatamente per quanto riguarda le prestazioni delle batterie e della tecnologia complessiva.

#### 4.3 Il sistema Tranviario

La norma UNI 8379 del 2000 "Sistemi di trasporto a guida vincolata (ferrovia, metropolitana, metropolitana leggera, tramvia veloce e tramvia) - Termini e definizioni", tratta in sistema tranviario con due differenti denominazioni definite nel seguente modo<sup>28</sup>:

- "tramvia": sistema di trasporto di persone negli agglomerati urbani costituito da veicoli automotori o rimorchiati dai medesimi, a guida vincolata, in genere su strade ordinarie e quindi soggetto al Codice della Strada, con circolazione a vista;
- "tramvia veloce (metrotramvia): sistema di trasporto che mantiene le caratteristiche della tramvia, con possibili realizzazioni anche in tratte suburbane, ma che consente velocità commerciali e portate superiori grazie ad adeguati provvedimenti (per esempio delimitazioni laterali della sede, riduzione del numero di attraversamenti, semaforizzazioni degli

<sup>25</sup>, [https://www.agi.it/blog-Italia/scienza/perch\\_spendere\\_300mila\\_euro\\_per\\_un\\_bus\\_elettrico\\_un\\_affare\\_per\\_i\\_comuni-1559912/news/2017-03-07/](https://www.agi.it/blog-Italia/scienza/perch_spendere_300mila_euro_per_un_bus_elettrico_un_affare_per_i_comuni-1559912/news/2017-03-07/)

Italia/scienza/perch\_spendere\_300mila\_euro\_per\_un\_bus\_elettrico\_un\_affare\_per\_i\_comuni-1559912/news/2017-03-07/

<sup>26</sup> Fonte: <https://www.volvobuses.com/en-en/our-offering/electromobility.html>

<sup>27</sup> Asstra, SISTEMA AUTOBUS ELETTRICO: LA POSIZIONE DI ASSTRA "Analisi ed indirizzi dell'Associazione delle Aziende del TPL in Italia", Convegno nazionale "il futuro dell'autobus elettrico", Bergamo 24-25 giugno 2017

<sup>28</sup> E. Molinaro, in "Il sistema Tram: stato dell'arte e prospettive" primo convegno nazionale, MIT Roma 17-18 giugno 2004

attraversamenti con priorità per il sistema, etc.), atti a ridurre le interferenze del sistema con il restante traffico veicolare e pedonale;

Quest'ultima tipologia, ossia la metrotramvia, si presenta nella sostanza come un sistema tranviario di qualità superiore in grado di soddisfare, per caratteristiche prestazionali, quella domanda di mobilità che risulta eccessiva per un sistema tranviario tradizionale e che non giustifica la realizzazione di un sistema di livello superiore. Nella sostanza, la metrotramvia combina i vantaggi di una grande capienza per passeggeri con un'elevata frequenza di fermate

La capacità del sistema è legata a svariate variabili, tra non ultima la velocità commerciale e, quindi, la possibilità di viaggiare in sede riservata<sup>29</sup>. E' evidente che quanto maggiore è la promiscuità con il trasporto privato tanto più il sistema si avvicina ad un servizio di bus tradizionale, con la sostanziale differenza rispetto a quest'ultimo per quanto riguarda la rigidità del percorso. Una sede promiscua non permette frequenze più basse di 4 minuti, poiché al disotto di tale valore si genera, frequentemente, un fenomeno di "accodamento".

A livello indicativo una metrotramvia, con velocità commerciale di 30 Km/h, veicoli da 32 m. e frequenze di 2 minuti, può avere indicativamente una capacità di 6.000 pass/h per direzione.

Pertanto, la le linee tranviarie possono assumere il ruolo di rete fondamentale nelle città medie o piccole, e di rete complementare delle metropolitane nelle grandi città. La capillarità del servizio è ottenuta mediante adduzione/distribuzione con il servizio su gomma.

Alla rete di TPL su gomma, quindi, può attribuirsi il compito di adduzione dell'utenza verso le linee di forza del trasporto pubblico urbano ad alta capacità (metropolitane ferroviarie e linee tranviarie), la cui offerta è in grado di soddisfare elevati flussi di domanda di spostamenti con adeguate portate orarie. Si evidenzia, inoltre, che a Roma la linea tranviaria "8" ha sostituito su Viale Trastevere oltre 20 linee di autobus, assicurando un servizio frequente e regolare. La stessa cosa dovrebbe accadere a Genova in Via XX Settembre, dove le due linee di tram sostituiranno 18 linee di autobus<sup>30</sup>. E' evidente come tale nuova riorganizzazione del TPL consenta una consistente riduzione dei costi del personale.

I sistemi tranviari moderni da implementare (e recentemente realizzati) hanno per lo più sede riservata (necessaria ai fine della regolarità), efficaci priorità semaforiche, controllo centralizzato della circolazione ( che consente il monitoraggio in tempo reale della regolarità della circolazione, delle condizioni dei veicoli, dello stato degli impianti; inoltre, rende possibile l'elaborazione ed attuazione di interventi correttivi della circolazione), prevedono interventi di riqualificazione dell'intera sezione (Figura 32, Figura 33, Figura 34).

Inoltre, i moderni veicoli tranviari (dal costo medio di circa 1,5 Meuro) sono sostanzialmente differenti dai rotabili degli anni passati, infatti si contraddistinguono per:

- L'elevata capienza;
- la costruzione modulare;
- il pavimento ribassato;

<sup>29</sup> La larghezza tipica attuale dei tram è 2,40 m; la sezione netta impegnata per un binario doppio è in rettilineo, con veicoli a finestrini non apribili, di 5,20 m. In aggiunta va tenuto conto degli spostamenti trasversali dinamici e dell'eventuale presenza ai lati di ostacoli fissi, che richiedono, secondo normativa, una distanza di 0,50 m per quelli discontinui e 0,80 m per quelli continui (Fonte: G. Mantovani " Lo stato dell'arte dei sistemi tranviari" , Convegno su "opportunità e modalità realizzative del collegamento tranviario Termini-Vaticano-Aurelio", Roma 2017

<sup>30</sup> Fonte: [http://www.mondotram.it/un\\_tram\\_per\\_genova/12.htm](http://www.mondotram.it/un_tram_per_genova/12.htm)

- l'azionamento di trazione elettronici, motori trifase (Regolazione ottima della marcia, risparmio energetico, ottimizzazione di ingombri e manutenzione);
- la possibilità di alimentazione senza linea aerea di contatto (Figura 35);
- l'interno ben arredato, accogliente, luminoso;
- la marcia confortevole e silenziosa;
- il Sistema centrale di controllo e diagnostica;
- le varie funzioni complementari (Trasmissione fonia e dati; funzioni di bordo per localizzazione, monitoraggio, priorità semaforica, formazione itinerari; dispositivo vigilante; controlli di sicurezza; climatizzazione cabina e comparto passeggeri; diffusione di informazioni dinamiche visuali e sonore ai passeggeri; tvcc).

Le Capienze indicative (relative a 4 pass./m<sup>2</sup>) per tram articolati sono le seguenti<sup>31</sup> :

- Tram articolato da 21 m: 140
- Tram articolato da 32 m: 200
- Tram articolato da 56 m: 370

Nelle Figura 36 e Figura 37 sono riportate, a titolo d'esempio, due schede con le caratteristiche prestazionali e dimensionali di un moderno tram.

*Figura 32: Veicolo tramviario circolante sulle linee di Strasburgo*



Fonte: <https://it.wikipedia.org/wiki/Tram#/media/File:Tramwaystrasbourg.jpg>

<sup>31</sup> G. Mantovani " Lo stato dell'arte dei sistemi tranviari" , Convegno su "opportunità e modalità realizzative del collegamento tranviario Termini-Vaticano-Aurelio", Roma 2017

*Figura 33: Tratto di sezione della tranvia Scandicci-Firenze*



Fonte: <http://www.coopfirenze.it/informatori/notizie/un-tram-chiamato-desiderio-6355>

*Figura 34: Tratto tranvia di Genova (Corso Europa)*



Fonte: MondoTram: Un tram per Genova - [http://www.mondotram.it/un\\_tram\\_per\\_genova/10.htm](http://www.mondotram.it/un_tram_per_genova/10.htm)

*Figura 35: Il Tram di Bordeaux "Citadis" con alimentazione dal suolo. Lunghezza 43,9 m. Capacità 345 pax (a 6 pax/m<sup>2</sup>). Costruttore Alstom*



Fonte: R. Emili , Il tram: qualità positive - <http://wem.altervista.org/iltramdiemili/qpositive.html>

Figura 36: Caratteristiche tecniche di un tram moderno (Alstom Citadis X05)

Specification criteria	Values specific to each nominal length		
	20 nominal meter versions	30 nominal meter versions	40 nominal meter versions
	CITADIS 205	CITADIS 305	CITADIS 405
Vehicle length depending on width of doors required	24 m	32 m to 37 m	43 m to 45 m
Vehicle width	2.4 m	2.4 m and 2.65 m	
Track gauge	1435 mm		
Number of bogies per tram	2	3	4
Number of car modules per tram	3	5	7
Provision for subsequent tram extension	Up to 5 modules (37 m)	up to 7 modules / 4 bogies	not extendable
Low floor percentage	100 %		
Access height (entrance)	intermediate doors: 326 mm, front doors: 342 mm (above top rail)		
Central aisle width over bogies	750 mm		
Number and type of doors per side (Sliding plug doors)	4 double doors	4 to 6 double doors or 2 to 4 double doors + 2 single doors	5 to 8 double doors or 3 to 6 double doors + 2 single doors
Seating configuration	modular arrangements (see diagram)		
Passenger capacity seated	41	42 to 66	57 to 82
(@ 4 pax / m <sup>2</sup> ) standing	101	152 to 184	215 to 237
TOTAL	142	202 to 238	271 to 341
comfort ratio <sup>(1)</sup>	29%	up to 28%	up to 25%
exchange ratio <sup>(2)</sup>	26%	up to 27%	up to 25%
wheelchair areas	1	1 or 2	1 or 2
Passenger information equipment	different packages available		
HVAC (Heating, Ventilation, Air Conditioning)	independent controls for passenger & driver zones / scaled to relevant climatic conditions		
Motorization ratio	100%	67% (100% is an option)	75%
Maximum speed in service	70 km/h	80 km/h	
Maximum acceleration	1.3 m/s <sup>2</sup>		
Service deceleration	1.2 m/s <sup>2</sup>		
Compression load	400 kN		
Crash absorption resistance	meets EN15227 standards		
Minimum horizontal curve radius	20 m (in depot)		
Operation	bidirectional or unidirectional operation in single or double unit		
Traction motors	2 air-cooled permanent magnet motors per motorized bogie		
Power supply voltage	750 Vdc (600 Vdc as an option)		

(1) number of seats for passengers / total passenger capacity per tram

(2) sum of widths of doors / total length of passenger zone per tram



Fonte: Alstom transport - <http://www.alstom.com/products-services/product-catalogue/systemes-ferroviaires/trains/produits/tramway-citadis/>

Figura 37: Caratteristiche tecniche di un tram moderno –possibili configurazioni (Alstom Citadis X05)

Vehicle configurations	Vehicle lengths for bi-directional versions	Max capacity @ 4 passengers/m <sup>2</sup> for 2 400 mm width versions	Max capacity @ 4 passengers/m <sup>2</sup> for 2 650 mm width versions
	23,9 m	142	■
	32,2 m	200	221
	33,4 m	211	233
	35,6 m	220	■
	36,8 m	231	■
	43,4 m	279	301
	43,4 m	284	307
	44,6 m	290	313
	44,6 m	295	319

Fonte: Alstom transport - <http://www.alstom.com/products-services/product-catalogue/systemes-ferroviaires/trains/produits/tramway-citadis/>

E' evidente che la scelta del sistema da implementare è sostanzialmente legata a differenti fattori tra cui il contesto territoriale e di domanda da soddisfare, la rete dei servizi di TPL presenti e le caratteristiche prestazionali e di costo delle varie soluzioni.

Le metrotranvie, hanno caratteristiche intermedie tra i sistemi su gomma e le metropolitane, anche in termini di costi di realizzazione (Figura 38)<sup>32</sup>. Infatti, il costo parametrico dell'infrastruttura per il tram si colloca in una posizione intermedia tra autobus (o filobus) e metropolitane, ma tale costo va riferito alla capacità della linea e l'incidenza si riduce per le capacità maggiori, proprie delle metro tramvie<sup>33</sup>. Il costo del veicolo rapportato al numero di posti offerti, è invece il più alto nel caso del tram, ma la vita di un veicolo su ferro è notevolmente più lunga rispetto a quelli su gomma, mediamente 30-35 anni per un tram e 10-12 anni per un bus.

Nella valutazione globale dei costi bisogna, ovviamente, tenere conto di quelli di esercizio, che possono offrire un vantaggio al tram. Infatti, in tali costi incidono significativamente quelli di condotta e il costo per posto offerto, che è evidentemente più basso in un tram con un conducente e 200 posti od oltre che in autobus con un conducente e non più di 110 posti.

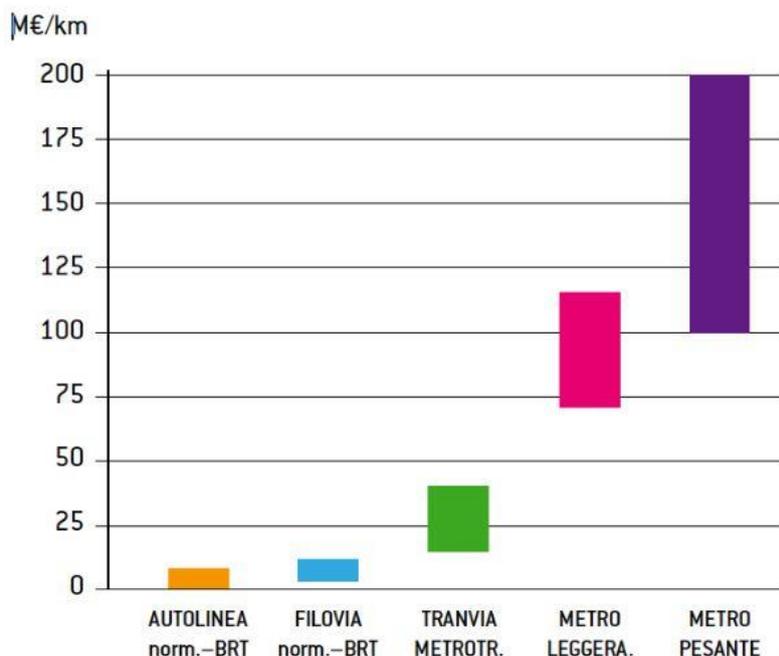
Inoltre, in medio il contributo pubblico per bus è di 2,2 euro/Km, mentre per il tram si arriva a circa 5 euro/km.

<sup>32</sup> Muoversi in Città, Un Tram Che In Italia Si Chiama Desiderio. Di Giovanni Mantovani Per Qualenergia - <http://www.muoversincitta.it/un-tram-italia-si-chiama-desiderio/>

<sup>33</sup> Per busvie e filobus si tiene conto dell'incidenza di eventuali attrezzature per sistemi BHLS/BRT ed eventuali costi di riqualificazione urbana. Quest'ultimi sono considerati anche per tramvie e metrotramvie. Per le metropolitane si fa riferimento a tracciati in galleria.

E' comunque evidente che il tutto andrebbe correttamente rapportato alla domanda presente nel contesto urbano oggetto d'intervento, o meglio, rapportando l'offerta alla domanda di trasporto. La capacità di trasporto di una linea di metrotranvia può arrivare a 30.000-100.000 passeggeri al giorno e, in tale range, è possibile effettuare dei raffronti con sistemi concorrenziali, tenendo presente i valori di passeggeri/giorno riportati nella Tabella 27 ed inerenti alcuni sistemi BHLS presenti in Europa.

Figura 38: Costi di realizzazione per diversi sistemi di trasporto



Fonte: Muoversi in città, Un Tram Che In Italia Si Chiama Desiderio. Di Giovanni Mantovani Per Qualenergia - <http://www.muoversincitta.it/un-tram-italia-si-chiama-desiderio/>

Tabella 27: Costo parametrico Euro/posto per diversi sistemi

	Autobus Diesel	Autobus CNG	Autobus Ibrido	Autobus Full Electric	Tram
Costo medio (Euro)	230.000	260.000	320.000	> 400.000	> 1.500.000
Euro/posto	2.614	2.955	3.636	4.545	10.565

\* Autobus da 88 posti  
 \* Tram da 142 posti  
 \* per l'autobus elettrico si è assunto un costo medio di 400.000 Euro (i bus acquistati a Torino sono costati circa 370.000 Euro a mezzo)  
 \* per il tram si è assunto un costo di 1.500.000 Euro

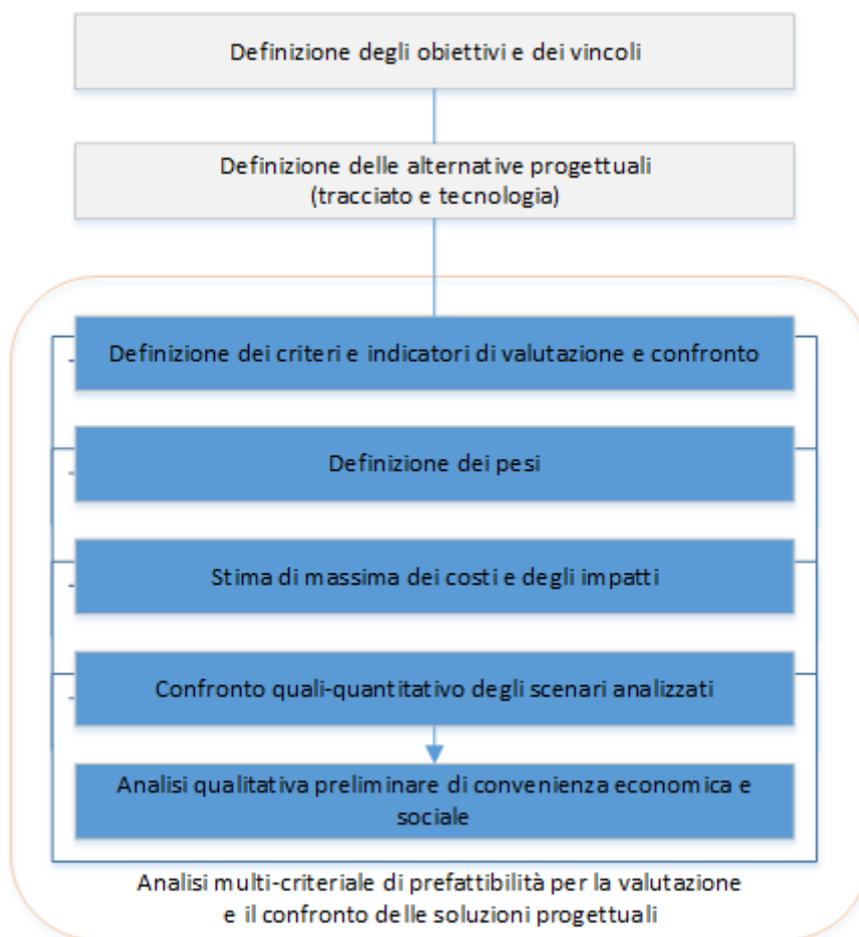
Fonte: elaborazioni Invitalia

## 5. Confronto tra differenti servizi e tecnologie di trasporto collettivo per l'area di Napoli Est

### 5.1 La metodologia di analisi implementata

Il presente studio prevede all'interno dell'analisi di prefattibilità proposta, una valutazione e confronto tra differenti alternative progettuali per l'individuazione di una soluzione ottimale di sistema di TPL per la zona di Napoli Est condotta attraverso una metodologia di analisi multi-criteriale le cui fasi sono riportate nella figura sottostante.

Figura 39: La metodologia di analisi multi-criteriale implementata



Fonte: elaborazioni Invitalia

Come attività preliminare all'analisi multicriteriale, sono stati identificati gli obiettivi e i vincoli e la definizione delle alternative progettuali che hanno riguardato sia la scelta del tracciato che della tecnologia di sistema di trasporto utile a soddisfare i fabbisogni dell'area di interesse.

Successivamente, il confronto tra tracciati e tecnologie individuate è stato realizzato attraverso un'analisi multicriteriale che consiste nella definizione dei criteri e degli indicatori attraverso i quali confrontare le soluzioni progettuali individuate e condotta sulla base delle esperienze tecniche del gruppo di lavoro di Invitalia e condivisa con il Comune di Napoli che ne ha validato la metodologia ed i risultati.

Una volta definiti i criteri per il confronto tra le alternative, il Comune di Napoli ha stimato i pesi da attribuire a ciascun criterio al fine di procedere al confronto multicriteriale proposto.

La fase successiva ha previsto poi di ipotizzare una stima di massima, per le differenti ipotesi progettuali, sia dei costi sia degli impatti, qualitativi e quantitativi, attesi per gli utenti del sistema e per i non utenti (esternalità).

Il confronto quali-quantitativo degli scenari analizzati ha in seguito previsto:

- la definizione della matrice di valutazione;
- la normalizzazione della matrice di valutazione;
- la stima degli indicatori sintetici e confronto delle alternative progettuali;
- un'analisi di sensitività.

Infine, a chiusura dell'analisi multicriteriale, è stata implementata un'analisi qualitativa preliminare di convenienza economico e sociale delle soluzioni progettuali analizzate.

Nei successivi paragrafi vengono riportate nel dettaglio le diverse fasi come previste dalla metodologia sovraesposta.

## **5.2 La definizione degli obiettivi e dei vincoli**

Alla luce degli esiti di quanto già analizzato nell'ambito dei Capitoli 1,2,3 e 4 del presente studio, è stata condotta un'attività preliminare all'analisi multicriteriale che ha consentito, in stretto raccordo con l'Amministrazione Comunale, la definizione degli obiettivi necessari per orientare la scelta delle alternative progettuali più coerenti con i fabbisogni del Committente, considerando anche i vincoli di budget.

Durante tale fase, sono emersi i principali obiettivi:

- servire le aree oggetto di riqualificazione nell'area est di Napoli (es. PUA, PRU, ZES);
- massimizzare il bacino potenziale di domanda servito (sulla base delle analisi preliminari condotte sulla domanda e sull'offerta di trasporto collettivo attuale);
- progettare una sede stradale con standard qualitativi di "green way" secondo le buone pratiche internazionali (si veda il Paragrafo 5.3.4 Le Greenways per l'area di Napoli est);
- individuare diverse tecnologie di TPL ad elevata frequenza, alta regolarità e media capacità offerta (BRT e tram);

- massimizzare la percentuale di percorso in corsia riservata;
- ridurre il numero di criticità e vincoli fisici/normativi da attraversare (es. sottopassi, sezioni stradali che non consentono il transito e/o una corsia riservata).

Sulla base di tali obiettivi, è stata realizzata una disamina di varie soluzioni progettuali che ha permesso la selezione di 3 alternative progettuali come analizzate nei paragrafi successivi.

### 5.3. Le alternative progettuali analizzate

Come passaggio successivo nell'ambito dell'attività preliminare e dunque a valle della definizione degli obiettivi presentati nel paragrafo precedente (e già esposti nei capitoli iniziali del presente documento) sono state individuate le alternative progettuali

Congiuntamente con il Comune di Napoli sono state inizialmente definite e successivamente confrontate differenti alternative progettuali, intese come ipotesi di scenario da confrontare, attraverso due fasi

- I. **analisi preliminare di dominanza**
- II. **individuazione degli scenari progettuali da approfondire tramite analisi tecniche specifiche**

Tale attività ha permesso di ridurre significativamente il numero di soluzioni progettuali da approfondire e le analisi tecniche da realizzare.

La valutazione preliminare di dominanza è stata eseguita in maniera qualitativa sulla base sia dell'esperienza tecnica del gruppo di lavoro di Invitalia, sia in base alle esigenze del Comune di Napoli e degli obiettivi e dei fabbisogni sovraesposti.

Nello specifico, durante questa fase, è poi emersa l'esigenza (opportunità) di **estendere la rete tramviaria attuale sino alla "Rimessa Nazionale delle Puglie"**. Tale soluzione progettuale permetterebbe infatti di:

- delocalizzare, in tutto o in parte, la Rimessa di S. Giovanni, localizzata in prossimità della stazione ferroviaria, permettendo di destinare quest'area ad altre attività socialmente utili per la collettività come la valorizzazione ed il potenziamento di questo nodo intermodale;
- effettuare efficienze, intese come riduzione di costi, nella gestione e manutenzione della rete tramviaria napoletana.

A fronte dei benefici attesi, si è ritenuto tale intervento come **"invariante"** e quindi è stato considerato per tutti gli scenari da approfondire.

A valle dell'analisi preliminare di dominanza, è seguita la fase di selezione degli scenari progettuali da esaminare.

Il risultato di questa prima attività ha permesso di selezionare tre soluzioni progettuali, come descritto nei successivi sotto-paragrafi, da approfondire con successive analisi quali-quantitative:

- **Linea BRT “breve periodo” Corso Meridionale – Ospedale del Mare + “invariante tram”:** soluzione progettuale di immediata implementazione perché presenta un percorso su infrastrutture stradali pienamente operative e capaci di accogliere tratte in sede riservata;
- **Linea BRT “medio/lungo periodo” Corso Meridionale – Ospedale del Mare + “invariante tram”:** soluzione progettuale implementabile nel medio/lungo periodo perché necessita di approfondimenti specifici. Tale zona infatti, corrispondente in parte, all’area industriale dunque non residenziale, risulta completamente da riqualificare in uno scenario di medio lungo periodo (es. possibilità di espropri, adeguamento sede stradale, adeguamenti/coerenza piani urbanistici e di sviluppo dell’area);
- **Linea Tram da rimessa S. Giovanni - Ospedale del Mare + “invariante tram”:** soluzione progettuale implementabile nel medio/lungo periodo perché necessita di approfondimenti specifici (es. possibilità di adeguamento sede stradale/intersezioni/ nodi critici della rete).

*Tabella 28: Individuazione degli scenari progettuali ed analisi preliminare di dominanza*

Alternativa progettuale	Ipotesi 1 BRT	Ipotesi 2 BRT	Ipotesi Tram	Ipotesi n1	Ipotesi n2	Ipotesi n3
<b>“Invariante” tram</b> (prolungamento rete sino alla Rimessa Nazionale delle Puglie)	X	X	X			
<b>Linea BRT “breve periodo” Corso Meridionale – Ospedale del Mare</b> (di immediata implementazione + massimizzazione corsie riservate)	X			X		
<b>Linea BRT “medio/lungo periodo” Corso Meridionale – Ospedale del Mare</b> (non immediata implementazione + massimizzazione corsie riservate)		X			X	
<b>Linea Tram da rimessa S. Giovanni - Ospedale del Mare</b> (non immediata implementazione + massimizzazione corsie riservate)			X			X
Analisi preliminare di dominanza (approfondita in dettaglio SI/NO)	SI	SI	SI	NO	NO	NO

Fonte: elaborazioni Invitalia

### 5.3.1 La rete di Bus Rapid Transit (BRT)

#### 5.3.1.1 Descrizione e planimetria con dettagli delle soluzioni progettuali

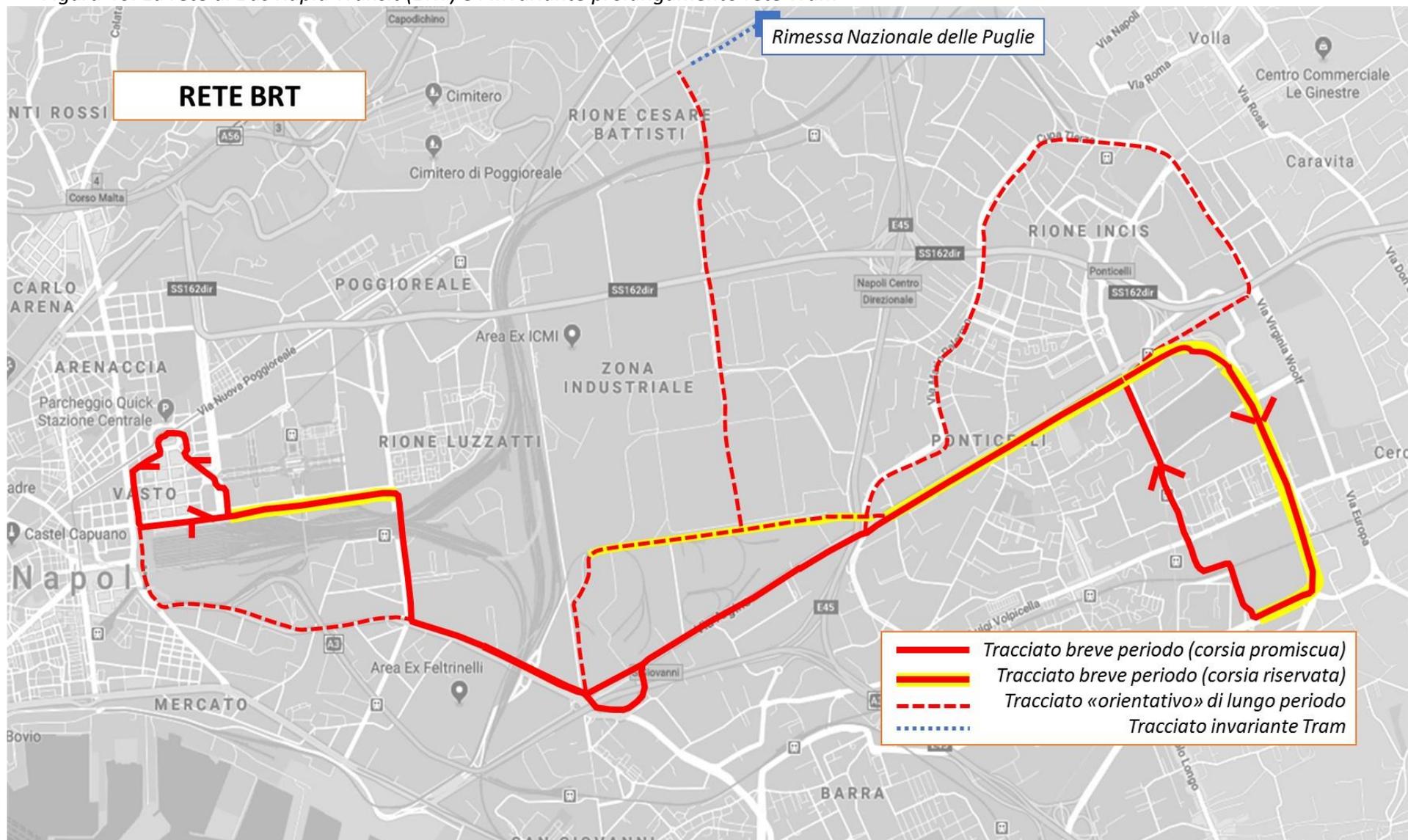
Con riferimento alla tecnologia BRT, sono stati individuate due soluzioni progettuali da approfondire:

- 1) **Linea BRT “breve periodo” Corso Meridionale – Ospedale del Mare + “invariante tram”;**

**2) Linea BRT “medio/lungo periodo” Corso Meridionale – Ospedale del Mare + “invariante tram”.**

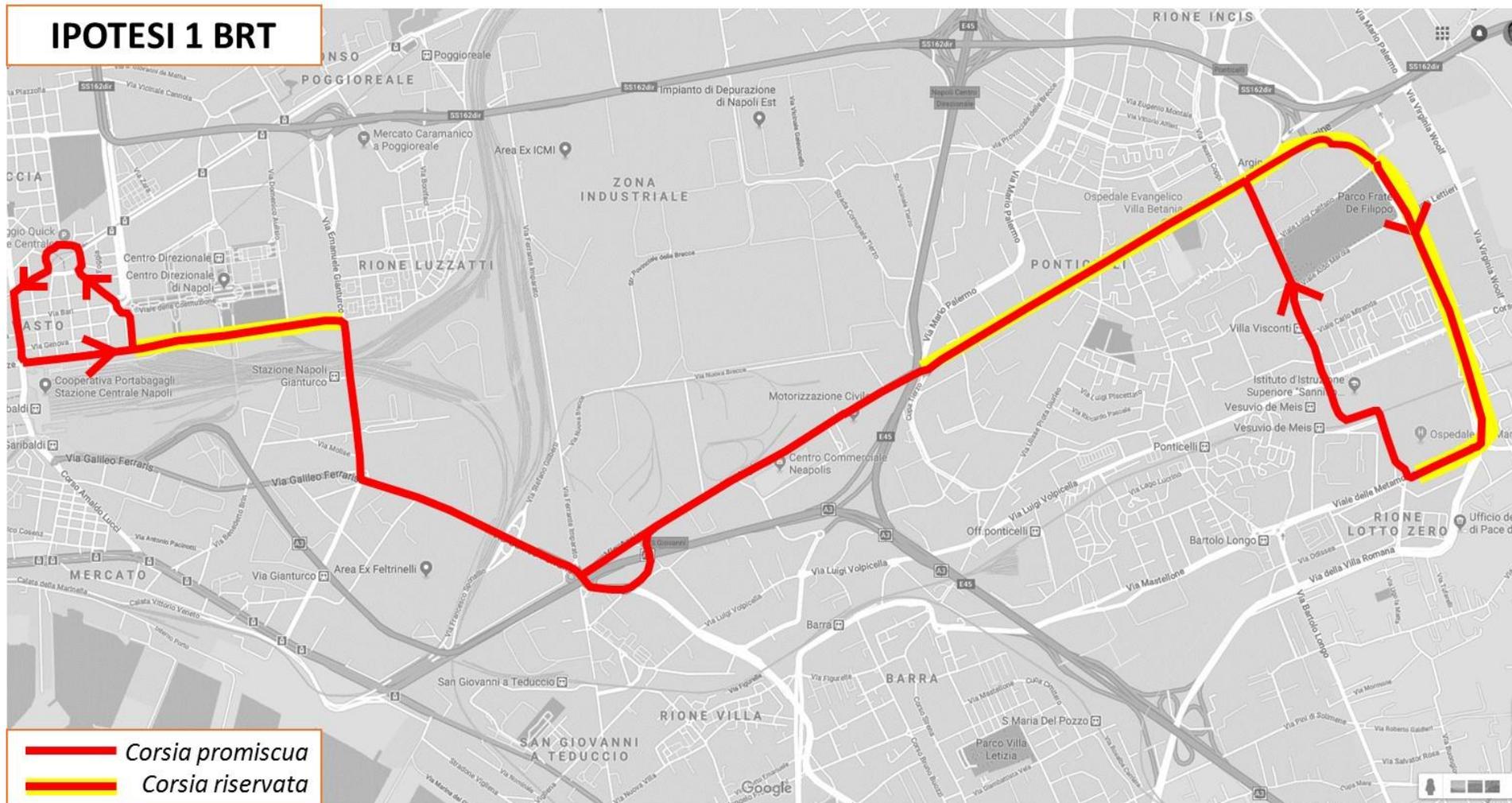
Nelle successive figure vengono riportate le planimetrie del percorso, nonché alcuni dettagli specifici. In particolare, per la soluzione tecnologica del BRT è emersa come un’opportunità la possibilità di infrastrutturare nel tempo una rete complessiva ed integrata a servizio dell’area est di Napoli che possa fungere anche da “brand” ed attrattore per la riqualificazione dell’area. A tal proposito, si riporta di seguito una possibile rete di BRT suddivisa per “lotti funzionali” di priorità e tempistica in funzione anche delle priorità individuate circa il soddisfacimento della domanda di mobilità e degli attrattori attuali futuri previsti nell’area.

Figura 40: La rete di Bus Rapid Transit (BRT) e l'invariante prolungamento rete Tram



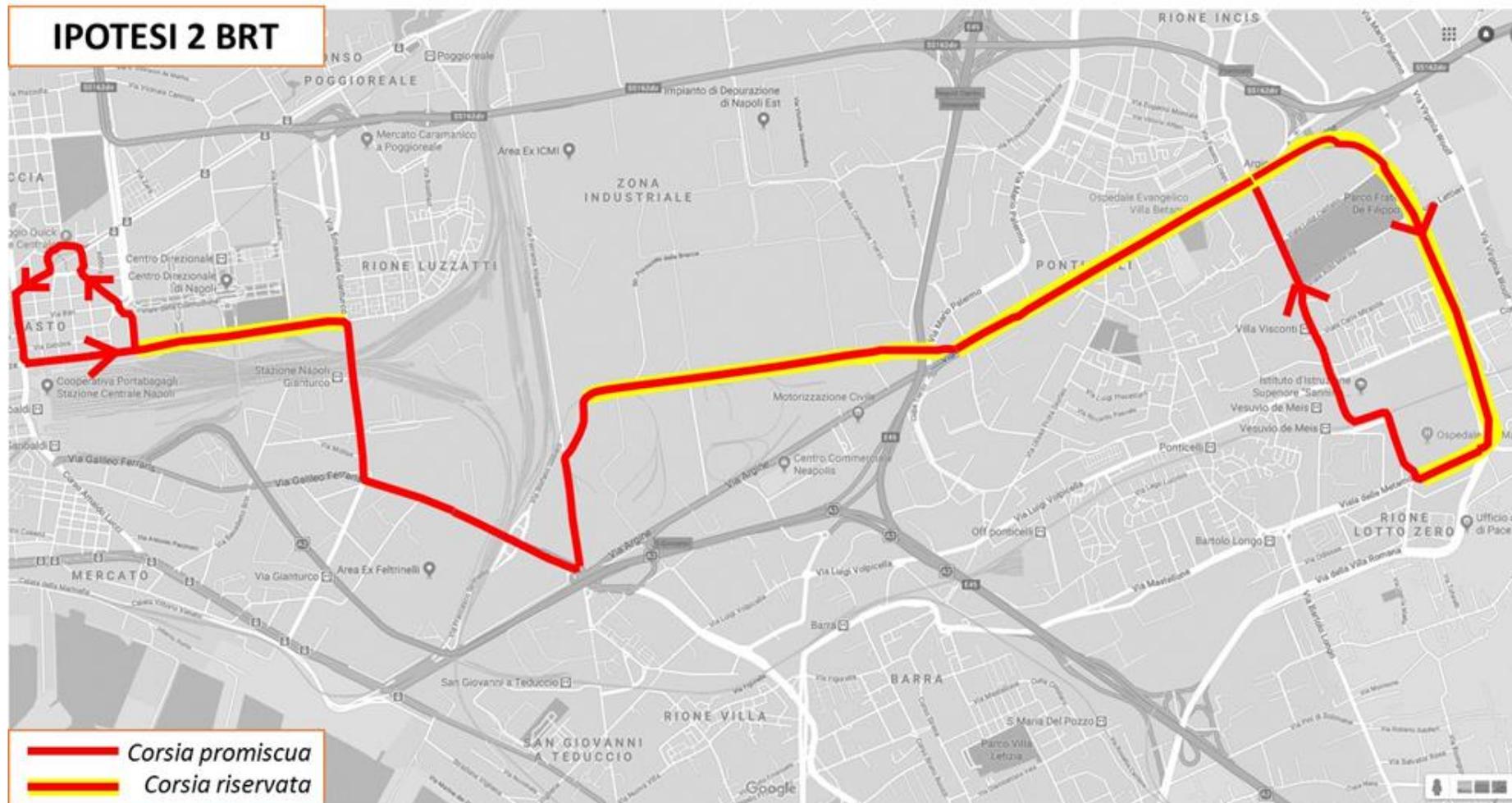
Fonte: elaborazioni Invitalia su Google Map

Figura 41: Ipotesi 1 di percorso di Bus Rapid Transit (BRT) – breve periodo



Fonte: elaborazioni Invitalia su Google Map

Figura 42: Ipotesi 2 di percorso di Bus Rapid Transit (BRT) – medio/lungo periodo



Fonte: elaborazioni Invitalia su Google Map

Figura 43: Dettaglio percorso Bus Rapid Transit (BRT)



Fonte: elaborazioni Invitalia su Google Map

Figura 44: Dettaglio percorso Bus Rapid Transit (BRT)

## Dettaglio ingresso/uscita Ospedale del Mare



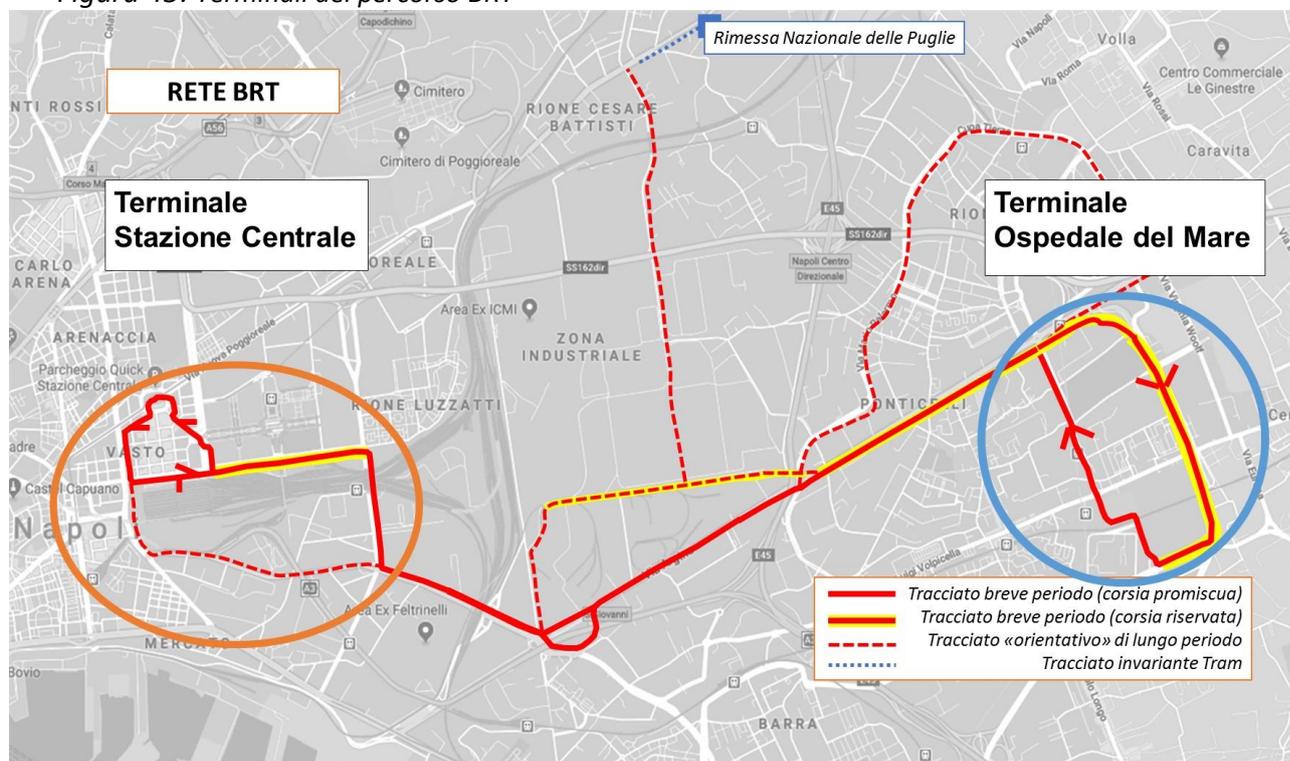
Fonte: elaborazioni Invitalia su Google Map

### 5.3.1.2 Verifica di massima di fattibilità tecnica percorsi e tratte in sede riservata BRT

Nell'ambito dell'analisi di prefattibilità di un sistema di trasporto in sede propria, il percorso individuato per il BRT, nell'ambito delle alternative progettuali identificate, è composto da un corridoio ad alta frequenza di collegamento tra la Stazione Centrale e l'Ospedale del Mare, servendo i quartieri di Napoli Est, lungo le direttrici via G. Ferraris e via Argine. Nel seguito, il percorso definito BRT si sviluppa dalla Stazione Centrale fino all'Ospedale del Mare

Il Percorso definito BRT1, *ipotesi di breve periodo*, è un percorso circolare che prevede il transito su archi a doppio senso di marcia, quindi con percorrenza bidirezionale sui medesimi archi, eccezion fatta per i due terminali, entrambi a cappio, come riportato nella Figura 45. Pertanto il percorso è costituito da tre tratti, il terminale Stazione Centrale, il tratto centrale di collegamento, il Terminale Ospedale del mare.

Figura 45: Terminali del percorso BRT



Fonte: elaborazioni Invitalia su Google Map

**Terminale Stazione Centrale:** il BRT percorrendo via Taddeo De Sessa in direzione Ovest, all'altezza dell'incrocio con via Giovanni Porzio svolta verso il Centro Direzionale, per proseguire su via Rimini che percorre per intero per immettersi su Piazza Nazionale che percorre nel senso della rotatoria fino all'uscita su via Casanova, percorsa fino all'incrocio con Corso Novara. Su Corso Novara svolta a sinistra in Direzione Stazione – Piazza Garibaldi e percorre corso Novara fino all'incrocio Corso Meridionale, dove svolta su Corso Meridionale e fa fermata con discesa sul marciapiede dell'edificio di Stazione Centrale, su Corso Meridionale. Prosegue su corso Meridionale, senza svoltare si immette su via Taddeo De Sessa in corrispondenza dell'incrocio con via Giovanni Porzio.

Si evidenzia che:

- il percorso a cappio è percorso in senso antiorario;

- il percorso minimizza i punti di conflitto, con la svolta a destra da via Taddeo Sessa. Attenzione deve essere posta alla regolamentazione delle intersezioni di Corso Novara e Corso Meridionale, dove la svolta sinistra comunque beneficia della maggiore sezione di manovra in incrocio. Si osserva che la svolta destra, con percorrenza in senso orario presenta criticità di ingombro sede per il veicolo lungo molto più significative della svolta sinistra, data la geometria dell'intersezione;
- la percorrenza a cappio consente la percorrenza sul Corso Meridionale su una sola corsia del bus. Il senso antiorario porta alla fermata lato stazione. In caso di percorrenza in senso orario la discesa sarebbe su Corso Meridionale lato monte, con conseguente attraversamento per i pedoni in discesa in interscambio alla Stazione Centrale, terminal bus per aeroporto e metropolitana.

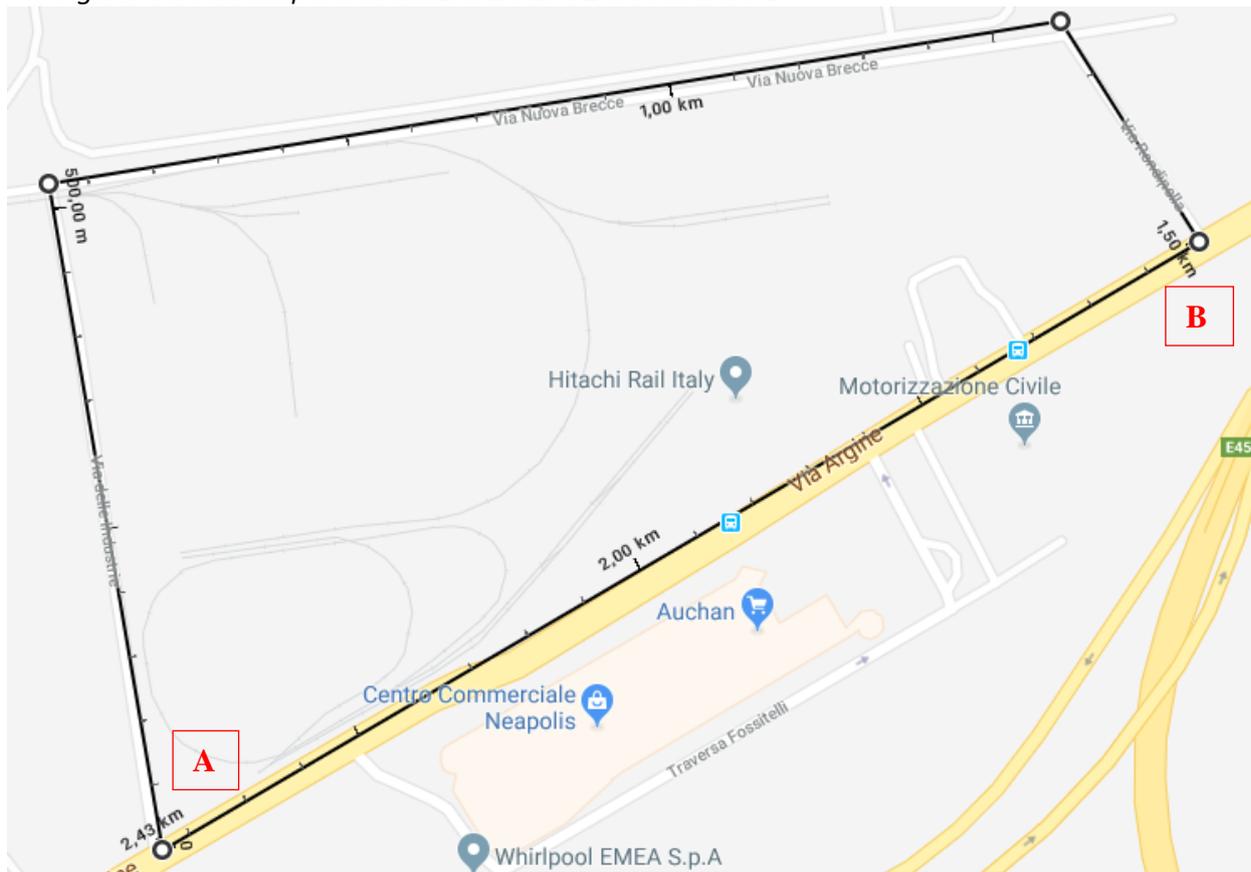
**Tratto centrale di collegamento.** Il BRT percorre in andata e ritorno la via Taddeo Sessa, a doppio senso di marcia, con svolta ed immissione sulla via Emanuele Gianturco, per immettersi sulla via Galileo Ferraris, che percorre nel tratto compreso tra via Gianturco e il sottopasso A3, si immette in via delle Repubbliche Marinare ed alla rotonda si immette sulla rampa sovrappasso A3 via Argine.

Il percorso (BRT1 breve periodo) e BRT2 (medio- lungo periodo), si differenzia per la percorrenza di una variante di sezione. BRT1 prosegue su via Argine senza svoltare, anche dall'intersezione con viale delle Industrie fino all'intersezione con via Rondinella. BRT2 invece alla prima intersezione, viale delle Industrie, svolta per viale delle Industrie, la percorre fino all'intersezione con via Nuova Brece, per svoltare, al termine di via Nuova Brece, sulla via Rondinella, e reimmettersi sulla via Argine.

Il tratto di via Argine percorso in ipotesi BRT1, con la variante di percorso di BRT2 , formano un trapezio riportato in figura 46.

Il tratto successivo sulla via Argine, comune a BRT1 e BRT2, viene percorsa fino alla rotonda dell'incrocio con via Maibràn, dove inizia la propria manovra a cappio, descritta nella sezione "Terminale Ospedale del Mare".

Figura 46: I diversi percorsi del BRT 1 e BRT 2 tra i nodi A e B



Fonte: elaborazioni Invitalia su Google Map

**Terminale Ospedale del Mare.** Il bus sulla via Argine arrivato alla rotatoria dell'incrocio con via Maibrán, inizia la propria manovra a Cappio, anche se l'emissione e successiva re immissione dalla via Argine non avvengono nello stesso punto. Il BRT non svolta, ma prosegue dritto, e così fa fermata di fronte alla stazione Argine/Pala Vesuvio della Circumvesuviana (fuori carreggiata della via argine, in prossimità della fermata della circumvesuviana) partendo dalla fermata, senza riprendere la via Argine, svolta a destra, che costeggia lo svincolo della tangenziale, e si immette su via Luca Pacioli, che percorre fino alla seconda rotatoria per immettersi su viale della Metamorfofi, e fare fermata nella corsia riservata di fronte al pronto soccorso, di qui ripartendo percorre in sede riservata il tratto di Viale delle Metamorfofi fino all'incrocio con via Enrico Russo e svoltando a destra, percorre la via Russo, segue svoltando via Cupa Censi dell'Arco, via Martiri della libertà e via Mariban fino alla rotatoria su via Argine. In questo caso il cappio, che inizia finisce nuovamente sulla via Argine in corrispondenza della rotatoria di via Mariban, è percorso in senso orario.

La percorrenza a cappio in senso Orario presenta una serie di vantaggi:

- non si percorre viale delle Metamorfofi in direzione sud, che ha le complessità della sosta su strada prospiciente insediamento residenziale corposo. Da notare che i residenti sono comunque serviti dalla fermata nella carreggiata direzione nord, quindi il mancato passaggio su questa carreggiata non danneggia la domanda;
- il percorso su via Argine in direzione sud, intercetta la fermata della circumvesuviana, collegando quest'ultima all'Ospedale con un servizio integrato ferro - bus, e serve il Parco De Filippo e le residenze su via Luca Pacioli, con svolte solo destra, senza punti di conflitto fino al capolinea, sul viale delle Metamorfofi, dove la carreggiata nord, in corrispondenza dell'ospedale e pronto soccorso è più larga ed ha già la corsia riservata in sede delimitata;

- a chiusura del cappio, l'intersezione via Mariban con via Argine è su una rotatoria già esistente, per cui la svolta a sinistra in immissione sulla via Argine è già regolamentata, con riduzione significativa dei punti di conflitto in svolta.

### **Analisi prefattibilità sede riservata delle sezioni del percorso**

Il percorso del trasporto pubblico, per comodità di analisi è stato descritto in tratti, che a loro volta sono stati rilevati in sezioni, individuate per omogeneità di funzione e sezioni geometriche. Si rimanda all'Allegato A, *Relazione illustrativa sezioni del percorso* per le specifiche delle singole sezioni. Nel seguito sono riportate le sezioni, individuando dove è realizzabile la sede riservata.

La verifica della sezione della carreggiata stradale è il dato per verificare la fattibilità della sede riservata, escludendo in linea di massima, per motivi di sicurezza e di livello di servizio, il tracciamento di sedi riservate su strade a carreggiata unica con doppio senso di marcia, eventualmente, dove la sezione lo consente possono essere individuate corsie preferenziali. Fattori come pendenza, variabilità e visibilità dell'asse del tracciato, numero e distanza tra le intersezioni, possono incidere anche sulla fattibilità della sede riservata.

**Sezione 1 Cappio Stazione Centrale** Le vie di questa sezione, via G. Porzio, P.zza Salerno, via Rimini, P.zza Nazionale, via Casanova, Corso Novara e Corso Meridionale sono tutte a carreggiata unica e, ad unico senso di marcia con sosta su strada con l'eccezione di Corso Novara, che è a carreggiate separate percorribile in entrambi i sensi di marcia (vedasi Allegato A).

**Sezione 2 - 4 sono sulla via Taddeo Sessa**, che è stata distinta in 3 sezioni, per la variabilità di sezione nel suo sviluppo. La via Sessa è a carreggiate separate, a due corsie per senso di marcia, con una sezione di carreggiata che varia tra i 5,5 mt ed i 7,2 mt. Sulla via Taddeo Sessa vi sono le sezioni, abolendo la sosta bordo strada, per ricavare corsie preferenziali al trasporto pubblico, separate tramite dissuasori. Per consentire la delimitazione della corsia riservata, nella riqualificazione della sede stradale la maggiore sezione carrabile può essere recuperata dalla riduzione della sezione dell'isola spartitraffico (vedasi Allegato A).

**Sezione 5 - 6 – via Emanuele Gianturco** è una strada a carreggiata singola a doppio senso di marcia. La carreggiata ha una larghezza variabile tra 16 e 20 mt, ed attraversa trasversalmente in sottopasso ferroviario il fascio binario della Stazione centrale. Il sottopasso carrabile è a due canne separate, per una larghezza ridotta. La strada oltre ad essere a carreggiata singola, presenta diversi accessi, sconsigliando la corsia riservata. E' possibile la caratterizzazione in sede promiscua di corsia prioritaria, per il TPL (vedasi Allegato A).

**Sezione 7 via G Ferraris** è una strada a carreggiata singola a doppio senso di marcia. Con sezione che varia tra i 9 ed i 14,50 mt, è per una parte del suo sviluppo a corsia singola per senso di marcia. Un tratto è a carreggiate separate, a due corsie per senso di marcia. In questo individuato quale 3 tratto si potrebbe ricavare una corsia preferenziale, anche se data la variabilità di sezione, e lo sviluppo ridotto di questo tratto, è sconsigliabile. (vedasi Allegato A).

**Sezione 8 è il nodo intersezione Ferraris, Repubbliche marinare, Argine**, che deve essere oggetto di intervento di adeguamento e razionalizzazione viaria.

**Sezione 9, 11, 12, 13, 14** Via Argine, è stata classificata in 5 sezioni, differenziate per le diverse sezioni della carreggiata, dei marciapiedi e dell'isola spartitraffico. La via Argine è a carreggiate separate, a due corsie per senso di marcia, con una sezione di carreggiata che varia tra i 7 mt ed i 8,50 mt. Il Tratto tra la rotatoria con via Palermo, e la stazione circumvesuviana Argine/Pala Vesuvio presenta caratteristiche per la realizzazione di corsia in sede riservata ad uso esclusivo del trasporto pubblico (vedasi Allegato A).

**Sezione 15 via Luca Pacioli** ha carreggiate separate, a tre corsie per senso di marcia, con larghezza di mt 10,50. Le carreggiate sono separate da aiuola spartitraffico pedonale. Presenta le caratteristiche per la realizzazione di corsia in sede riservata ad uso esclusivo del trasporto pubblico (vedasi Allegato A).

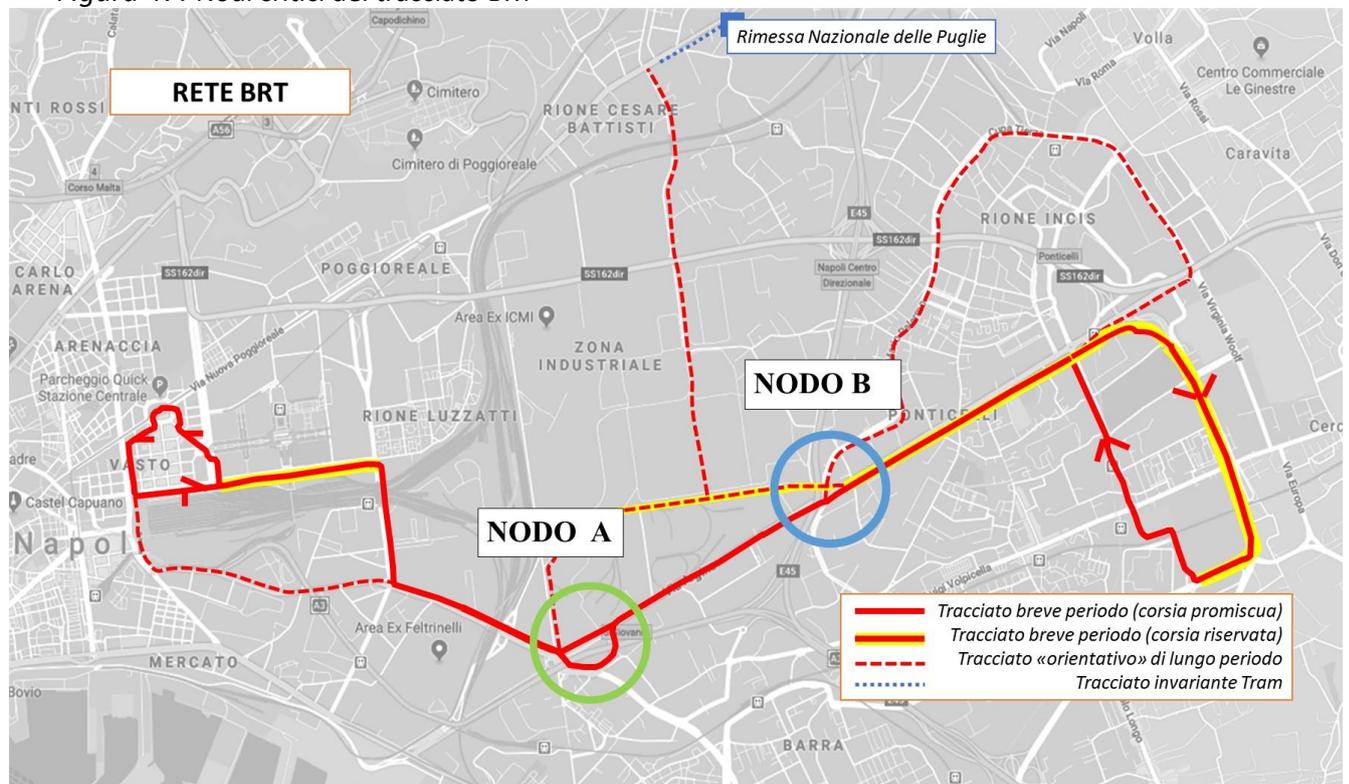
**Sezione 16 viale delle Metamorfosi** Il viale delle Metamorfosi ha carreggiate separate, a due corsie per senso di marcia la carreggiata est con larghezza di mt 7.00, e la carreggiata ovest, tre corsie, di cui una riservata ai mezzi pubblici per una larghezza di 10,50 mt. Le carreggiate sono separate da isola spartitraffico pedonale, di larghezza 3,20 mt. Presenta le caratteristiche per la realizzazione di corsia in sede riservata ad uso esclusivo del trasporto pubblico e gli spazi per area di capolinea in prossimità all'accesso Ospedale. (vedasi Allegato A).

**Sezione 17, 18, 19, 20** il collegamento tra il viale delle Metamorfosi e via Argine, è formato dalle vie E. Russo, via Cupa Censi dell'Arco, via Martiri della Libertà, via Maria Malibran. Le strade in questione, salvo un breve tratto, sono a carreggiata unica a doppio senso di marcia, prevalentemente a corsia unica. Non vi sono le caratteristiche geometriche per una sede riservata al trasporto pubblico(vedasi Allegato A).

### Riquilificazione nodi critici

Per i sistemi del BRT Sono stati classificati due nodi critici, il nodo intersezione G. Ferraris, via Repubbliche Marinare, via Argine, in piano sfalsato con l'Autostrada A3 (nodo A) e l'intersezione via Passarella con via Argine (nodo B).

Figura 47: Nodi critici del tracciato BRT



Fonte: elaborazioni Invitalia su Google Map