

b o l o g n a

BRT

DOCUMENTO DI FATTIBILITÀ DELLE  
ALTERNATIVE PROGETTUALI

0850P05-01050100-ARG002\_E00

DATA	CODICE RELAZIONE	REV.
12/2020	0850P05-01050100-ARG002_E00	0

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

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

## Sommario

<b>Documento di fattibilità delle alternative progettuali .....</b>	<b>5</b>
<b>1 Premessa .....</b>	<b>5</b>
<b>2 Approccio metodologico .....</b>	<b>5</b>
<b>3 Quadro di riferimento programmatico .....</b>	<b>6</b>
<b>4 Il Bus Rapid Transit: obiettivi generali e finalità dell'intervento .....</b>	<b>7</b>
4.1 Inquadramento dell'intervento nello scenario di PUMS: fabbisogni, criticità locali e di rete rispetto all'opzione zero	8
<b>5 Le alternative progettuali .....</b>	<b>10</b>
5.1 Le alternative di tracciato .....	11
5.2 Le alternative di modello di esercizio .....	12
5.3 Le alternative tecnologiche di materiale rotabile .....	14
<b>6 La scelta di progetto .....</b>	<b>15</b>
6.1 Considerazioni preliminari .....	15
6.2 La scelta del tracciato .....	16
6.3 La scelta del modello di esercizio .....	17
6.4 La scelta della tecnologia: parco mezzi e infrastruttura di ricarica .....	23
<b>7 Conclusioni .....</b>	<b>28</b>
<b>8 Allegato .....</b>	<b>34</b>

## Indice delle figure

Figura 4-1: la mappa del sistema dei BRT prevista dal PUMS .....	7
Figura 4-2: Area di studio .....	8
Figura 4-3: domanda potenziale (trasporto pubblico + trasporto privato) lungo il corridoio "san Vitale" .....	9
Figura 5-1: Il processo progettuale .....	11
Figura 5-2: ipotesi di servizio lungo itinerario diretto da Medicina a Bologna .....	13
Figura 5-3: ipotesi di servizio lungo itinerario passante per gli abitati di Villafontana e Castenaso .....	14
Figura 5-4: ipotesi di servizio AV e AC rispettivamente lungo itinerari Medicina – Bologna (sx) e Castenaso – Bologna (dx) .....	14
Figura 5-5: esempi di mezzo tipologia filobus (a sx) e ebus (dx) .....	15
Figura 6-1. Schema di linea – Metrobus AV .....	19
Figura 6-2: Schema di linea – Metrobus AC .....	20
Figura 6-3. Rappresentazione mediante orario grafico del modello d'esercizio previsto per la linea Metrobus AV .....	22
Figura 6-4. Rappresentazione mediante orario grafico del modello d'esercizio previsto per la linea Metrobus .....	22
Figura 6-5. Ipotesi di turnazione dei mezzi - Linea Metrobus AV .....	24
Figura 6-6. Ipotesi di turnazione dei mezzi - Linea Metrobus AC .....	25
Figura 6-7: comparazione tra sistema con sola ricarica in deposito e sistema con ricarica in deposito + opportunity charging .....	26
Figura 6-8: valutazione dei costi per le diverse tipologie di ricarica in funzione del modello di esercizio .....	27
Figura 6-9: diagramma esemplificativo degli impatti da traffico sul diagramma di carico degli accumulatori (Fonte UITP) .....	27
Figura 7-1: Turno macchina critico per la Linea Metrobus AV .....	29
Figura 7-2: Turno macchina critico per la Linea Metrobus AC .....	29
Figura 7-3: servizio AV Medicina – Bologna .....	31
Figura 7-4: servizio AC Castenaso – Bologna .....	31
Figura 7-5: andamento della carica delle batterie per il servizio AV Medicina - Bologna .....	32
Figura 7-6: andamento della carica delle batterie per il servizio AC Castenaso- Bologna .....	33
Figura 7-7: inquadramento di progetto – fermate del BRT per l'accessibilità del centro di Castenaso .....	35

Figura 7-8: configurazione della Fermata Castenaso, in corrispondenza della stazione ferroviaria – ipotesi di collegamento diretto BRT-Treno con il solo marciapiede ferroviario nella direzione Da Bologna.....	36
Figura 7-9: configurazione della Fermata Castenaso, in corrispondenza della stazione ferroviaria – ipotesi di collegamento diretto BRT-Treno con il marciapiede ferroviario nelle due direzioni Da e Verso Bologna.....	37
Figura 7-10: configurazione della Fermata Stellina, in corrispondenza della stazione ferroviaria – ipotesi di collegamento diretto BRT-Treno con il solo marciapiede ferroviario nella direzione Da Bologna.....	38
Figura 7-11: configurazione della Fermata Stellina, in corrispondenza della stazione ferroviaria – ipotesi di collegamento diretto BRT-Treno con il marciapiede ferroviario nelle due direzioni Da e Verso Bologna.....	39
Figura 7-12: configurazione del capolinea presso Castenaso centro e relazione con il TPL esistente. ....	40
Figura 7-13: configurazione del capolinea presso Castenaso centro e relazione con il TPL esistente. ....	41
Figura 7-14: inquadramento di progetto – fermate del BRT per l’accessibilità di Cà dell’Orbo .....	42
Figura 7-15: proposta di progetto alternativa 1 di Cà dell’Orbo.....	43
Figura 7-16: proposta di progetto alternativa 2 di Cà dell’Orbo.....	44
Figura 7-17: inquadramento di progetto – fermate del BRT per l’accessibilità di Villanova .....	45
Figura 7-18: proposta di progetto alternativa 1 di Villanova .....	46
Figura 7-19: proposta di progetto alternativa 2 di Villanova .....	47

## Indice delle tabelle

Tabella 4.1: dati di mobilità a confronto – scenario attuale vs. scenario di riferimento.....	8
Tabella 6.1: criteri e indicatori di valutazione per le due soluzioni di tracciato.....	16
Tabella 6.2: dati ipotesi di servizio AV.....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
Tabella 6.3: dati ipotesi di servizio AC.....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
Tabella 6.4: criteri e indicatori di valutazione per le soluzioni di modello di esercizio.....	18
Tabella 6.5: confronto sintetico tra soluzione filobus e ebus .....	24
Tabella 6.6: confronto tra soluzioni alternative di tipologia di ricarica .....	28
Tabella 7.1: stazioni di ricarica servizio AV Medicina .....	29
Tabella 7.2: stazioni di ricarica servizio AC Castenaso .....	30
Tabella 7.3: modalità di ricarica in coerenza con modello di esercizio – servizio AV Medicina- Bologna – parte 1 .....	32
Tabella 7.4: modalità di ricarica in coerenza con modello di esercizio – servizio AC Castenaso – Bologna – parte 1.....	33

## Documento di fattibilità delle alternative progettuali

### 1 Premessa

Con l'“avviso di presentazione istanze per accesso alle risorse per il trasporto rapido di massa” il Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (di seguito MIT) ha reso noto alle Amministrazioni la possibilità di beneficiare di un contributo per la progettazione e realizzazione di sistemi di trasporto rapido di massa che risponda ai fabbisogni di mobilità della Città Metropolitana, coadiuvando gli sforzi degli Enti di Governo verso un sempre maggiore sviluppo sostenibile dei relativi territori.

Il presente Documento di Fattibilità delle alternative progettuali costituisce uno degli allegati richiesti di cui all'Addendum – A.4.3. Progetto di Fattibilità - regime transitorio”.

In particolare, il predetto Addendum specifica che [...] per “sistemi filoviari (e assimilabili)” si intenderanno tutti i sistemi eserciti con veicoli su gomma a trazione elettrica che si alimentano/ricaricano lungo la via di corsa con sistemi di alimentazione continui (es.: linea aerea tradizionale) o discreti (es.: postazioni di ricarica).

In tal senso, il documento si pone l'obiettivo di analizzare il progetto di un sistema “Bus Rapid Transit” per il territorio della Città metropolitana di Bologna, evidenziando in primo luogo la coerenza dell'intervento con gli strumenti di pianificazione e programmazione già deliberati o *in fieri*, e la sua genesi, finalizzata alla soddisfazione dei fabbisogni di mobilità del territorio sul quale insiste.

Si premette che il seguente progetto è stato selezionato per candidarsi a beneficiare del predetto contributo in virtù del grado di maturità raggiunto, sia progettuale, sia di condivisione da parte degli stakeholders, e più in generale di “sensibilità” da parte dell'amministrazione alle criticità cui risponde. Come tale, si ritiene che la sua attuabilità possa essere rapida e in tempi certi.

Il documento, seguendo un processo logico stringente, porrà in evidenza le logiche, i processi e i criteri con cui è stata portata avanti la scelta progettuale, rispetto al paniere di opzioni in termini di tracciato, modello di esercizio, tipologia, sistema di trazione e allestimento del materiale, sempre nell'ottica della sostenibilità, della flessibilità, della resilienza e della concertazione con gli stakeholder rappresentativi delle esigenze dei territori.

### 2 Approccio metodologico

La Città metropolitana di Bologna, in linea con i principi ispiratori del “Connettere Italia”, ha da tempo avviato una politica di intervento che fa della **pianificazione della mobilità sostenibile** lo strumento per governare i processi di trasformazione dell'area metropolitana.

La sostenibilità assume un nuovo, sempre più articolato significato che supera le classiche categorie spesso correlate ai soli temi strettamente ambientali, andando a **sostenere la condivisione** dell'opera e/o del servizio tramite processi di “dibattito pubblico”, **indagare la risposta ai fabbisogni di domanda** di mobilità in un'ottica di sostenibilità economica e finanziaria, **sfruttare** quanto più possibile **l'integrazione con la rete esistente** in termini di **servizi**, di **infrastrutture** (nodi di scambio), di **modelli di business** (servizi OSP e non OSP, MaaS), di **informazione all'utenza** (MaaS), di **tecnologia** (Smartness), di **materiale rotabile**, di **esperienza manutentiva e gestionale**.

In questo senso, la Città metropolitana di Bologna interpreta il mandato assegnatole dalle norme con riferimento alla necessità di integrazione della pianificazione strategica, della pianificazione metropolitana territoriale e la mobilità e della pianificazione urbanistica, superando, anche qui, le categorie consolidate del Titolo V della Costituzione che attribuivano alle Regioni e ai medi e grandi Comuni il ruolo di gestore del processo di pianificazione della mobilità.

In coerenza con le suddette premesse, il documento propone il **metodo** che ha guidato l'Amministrazione nell'analisi del progetto e che può sinteticamente essere articolato secondo i seguenti punti:

- **individuazione dei fabbisogni** di servizi di trasporto, ovvero della cosiddetta “unmet demand” (domanda insoddisfatta), valutati sulla base di una analisi quali-quantitativa del contesto urbanistico, socioeconomico e trasportistico e di una analisi quantitativa della domanda di spostamento nelle sue caratteristiche spaziali, temporali, modali;
- **analisi delle possibili alternative progettuali**, in termini di tracciato, modello di esercizio, tipologia, sistema di trazione e allestimento del materiale;
- **valutazione quali-quantitativa delle alternative** rispetto alla cosiddetta “opzione 0”, sulla base di criteri relativi ai diversi impatti che l'alternativa progettuale può avere sulla domanda, sulla rete dei servizi esistenti, sull'ambiente, sul patrimonio archeologico e artistico, sui costi, e più in generale secondo quanto già precedentemente evidenziato rispetto al significato di “sostenibile”.

- **definizione del servizio di trasporto** che meglio risponde ai suddetti fabbisogni, in termini prioritariamente di prestazioni ovvero capacità, disponibilità, tracciato.

Tale approccio considera come elemento fondante la **“maturità” del progetto nei suoi tratti essenziali e strategici**, e nel suo ruolo all’interno del territorio attraversato, caratterizzato dallo stato di fatto urbanistico, territoriale, trasportistico e dalle previsioni degli strumenti strategici tattici e attuativi.

In coerenza con quanto sopra, l’approccio tiene conto inoltre delle **considerazioni, osservazioni e proposte che provengono dal territorio** in termini di ulteriore specificazione dei fabbisogni e dei vincoli e opportunità legate all’inserimento dell’infrastruttura e delle strutture ad esso correlate per garantire accessibilità e funzionalità.

### 3 Quadro di riferimento programmatico

Il quadro degli strumenti programmatici vigenti, di cui alla relazione delle analisi trasportistiche, costituisce l’elemento essenziale per:

- comprendere e valutare il **grado di integrazione del progetto** nel contesto dei servizi di trasporto, della rete infrastrutturale e del contesto urbanistico programmato all’orizzonte temporale di riferimento;
- **stabilire la “maturità” del progetto**, di quella “sensibilità” al fabbisogno di mobilità maturata e consolidata in seno all’Ente di Governo e agli stakeholders che ha inevitabilmente influenzato i processi e giustamente indirizzato gli strumenti di pianificazione strategica e di programmazione tattica sin qui deliberati;
- **individuare eventuali vincoli**, che possono ostacolare l’attivazione del progetto, ovvero di una delle sue alternative, in tempi rapidi, costituendo di fatto uno dei criteri fondamentali di valutazione;
- **tracciare una “mappa degli stakeholder” istituzionali del progetto**, grazie alla consapevolezza degli Enti di Governo che “insistono” sullo stesso in base all’ordinamento dei Piani e Programmi già deliberati.

Come predetto, la Città metropolitana di Bologna ha intrapreso da tempo un percorso di pianificazione del territorio e della mobilità **integrato** nei suoi principi e strategie, **condiviso**, in virtù dei processi partecipativi strutturati, **sinergico**, dove gli interventi aggiuntivi rafforzano i benefici indotti sul sistema da quelli già in essere.

In tale contesto, **il progetto delle linee Metrobus costituisce allo stesso tempo un elemento di attuazione del processo e un elemento di sintesi**, portando con sé caratteristiche di accessibilità metropolitana, di gerarchizzazione e integrazione con la rete del TPL, di servizi di mobilità integrati, di integrazione con la rete ciclabile e della mobilità attiva in genere.

Non si ripercorre in questa sede il predetto processo, che muoveva i primi passi già nel 2004 con il Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale, il Piano della Mobilità Provinciale – PMP (2009), il Piano della Mobilità Ciclistica – PMC (2014) e che trova gli elementi cardine più recentemente nel Patto per il trasporto pubblico regionale e locale per il triennio 2018-2020 e nel più specifico Piano di Bacino – Direttrice San Vitale per i cui dettagli si rimanda al documento di analisi trasportistica.

Si ribadisce qui, d’altro lato, il valore del PUMS Metropolitano come “luogo” per eccellenza dove i singoli progetti trovano la coerenza di rete, potendone valutare i benefici indotti nel contesto di nuovi servizi di trasporto, grazie anche a nuove infrastrutture già in via di realizzazione, ma anche e soprattutto considerando il futuro sistema delle “regole”, dal road pricing alle zone a traffico limitato, delle piattaforme tecnologiche che nel breve termine offriranno nuovi servizi integrati di ticketing, di informazione, di servizi di mobilità sharing, di servizi di trasporto pubblico non di linea, etc.

Il PUMS chiaramente costituisce l’elemento cardine del processo di pianificazione, con [...] *la definizione di una nuova rete portante del TPM (Trasporto Pubblico Metropolitano) in grado di superare i limiti di capacità dell’attuale offerta di Trasporto Pubblico e di offrire un’alternativa competitiva all’utilizzo dell’auto privata anche per spostamenti diversi da quelli casa-scuola e casa-lavoro, di completare la rete portante metropolitana, il tutto in un unico sistema tariffario integrato metropolitano e con una chiara riconoscibilità del servizio di Trasporto Pubblico nel suo complesso per i cittadini, i city users e i turisti [...]*.

In particolare, [...] *gli obiettivi posti dal PUMS al 2030 impongono un significativo potenziamento della rete di trasporto pubblico in ambito metropolitano [...], che prevede tra l’altro [...] il potenziamento della capacità di trasporto e innalzamento della velocità commerciale e della regolarità di marcia delle autolinee della rete portante mediante l’individuazione delle linee prioritarie (Metrobus) per la realizzazione di interventi riconducibili ai sistemi BRT (Bus Rapid Transit) [...] che siano integrati con la [...] Realizzazione di Centri di Mobilità intesi come spazi infrastrutturalmente e tecnologicamente attrezzati dedicati alla fruizione della “Mobilità come servizio” (Mobility as a Service) nei principali nodi della rete multimodale metropolitana e urbana.*

Di fatto, il PUMS struttura la rete di trasporto collettivo nelle tre componenti:

- Rete portante – costituita dal Servizio Ferroviario Metropolitano (SFM), dalla nuova rete tranviaria di Bologna e dalle linee extraurbane/suburbane ad alto traffico - METROBUS (rete di 1° livello) che **propone di servire con sistemi assimilabili a BRT** (Bus Rapid Transit);
- Rete complementare – costituita da tutte le autolinee urbane di Bologna e Imola e suburbane ed extraurbane di 2° e 3° livello;
- Rete integrativa – costituita dai cosiddetti “servizi locali” cioè a bassa frequenza o servizi “finalizzati” e/o flessibili (rete 4° livello).

La rete complementare e quella integrativa sono costituite da tutti i servizi delle autolinee ordinarie o a percorso/orario flessibile che assicurano la mobilità locale sia in ambito urbano che extraurbano raccordandosi in maniera sistematica nei Centri di Mobilità e negli altri nodi di interscambio con i servizi della rete portante.

In questo quadro, i Centri di Mobilità costituiscono i nodi dove si garantisce la sincronizzazione degli orari (rendez-vous) che consente di moltiplicare le opportunità di collegamento disponibili anche tra linee della rete complementare a favore della mobilità di area.

Attestati nei Centri di Mobilità e, diffusamente, in ambito urbano, sono previsti servizi di mobilità condivisa che completano l’offerta del sistema del trasporto collettivo, per rispondere ad esigenze di mobilità caratterizzate da elevata flessibilità oppure in ambiti operativi complessi (aree a domanda diffusa).

#### 4 Il Bus Rapid Transit: obiettivi generali e finalità dell'intervento

Lungo gli assi principali della rete del trasporto pubblico metropolitano, il Piano propone il ricorso a sistemi di trasporto su gomma ad infrastrutturazione leggera comunemente definiti **BRT (Bus Rapid Transit)**. Per questa tipologia di sistemi di trasporto, il PUMS prevede la preferenziazione della sede dove utile, l’allestimento delle fermate e un servizio efficiente, veloce, competitivo e confortevole.

Com’è noto, in generale un sistema BRT prevede la realizzazione di una serie di interventi sulla sede stradale per proteggere, rendere prioritaria o agevolare la marcia dei mezzi (su via dedicata, riservata o in promiscuo) e la contestuale adozione di soluzioni particolari per agevolare/velocizzare l’incarozzamento alle fermate e garantire così una riduzione dei tempi di percorrenza per raggiungere il centro città.

Per l’ambito metropolitano il PUMS propone l’inserimento dei BRT (Bus Rapid Transit) promuovendo una riorganizzazione complessiva delle sedi stradali tali da ridurre al minimo le interferenze dei mezzi con le altre componenti di traffico.

Per le tutte direttrici interessate dalle linee Metrobus, nonostante il progetto di rete del TPM extraurbano si strutturi sul principio generale che tali linee interscambino e si attestino in corrispondenza dei capolinea esterni delle linee di tram di Bologna, è prevista una riorganizzazione del servizio del TPL su gomma ed una attuazione delle linee Metrobus svincolate dalle tempistiche di entrata in esercizio del tram, facendo attenzione agli interventi che verranno proposti lungo gli itinerari in entrata a Bologna, interessati dal futuro transito delle linee tramviarie.

Nel dettaglio, le direttrici lungo le quali è proposto l’inserimento del BRT sono:

- Castel San Pietro Terme – San Lazzaro (prolungata a Bologna nello Scenario PUMS - 2030);
- Calderara di Reno – Via Emilia;
- Medicina – Bologna (oggetto del presente studio);
- Monte San Giovanni – Casalecchio (prolungata a Bologna nello Scenario PUMS – 2030);
- Ponte Samoggia – Terminal Emilio Lepido;
- Baricella – Bologna;
- Bazzano – Casalecchio (prolungata a Bologna nello Scenario PUMS – 2030)
- Pieve di Cento– Corticella.

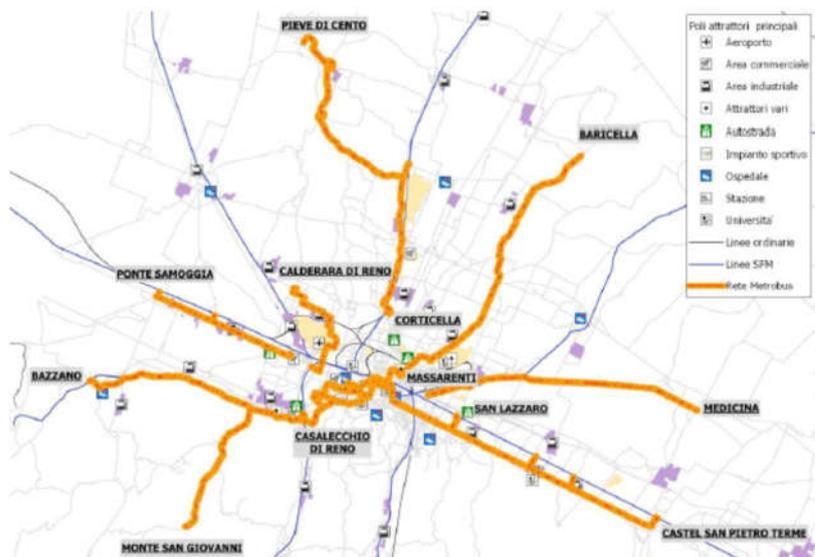


Figura 4-1: la mappa del sistema dei BRT prevista dal PUMS

#### 4.1 Inquadramento dell'intervento nello scenario di PUMS: fabbisogni, criticità locali e di rete rispetto all'opzione zero

Come emerge chiaramente dallo studio trasportistico, la rete di TPL esistente dell'area di studio (cfr. Figura 4-2), ovvero lungo la dorsale costituita dalla SP 253 dal centro di Mobilità di Medicina a Bologna, non presenta una gerarchizzazione funzionale né in termini di percorsi né di frequenze.

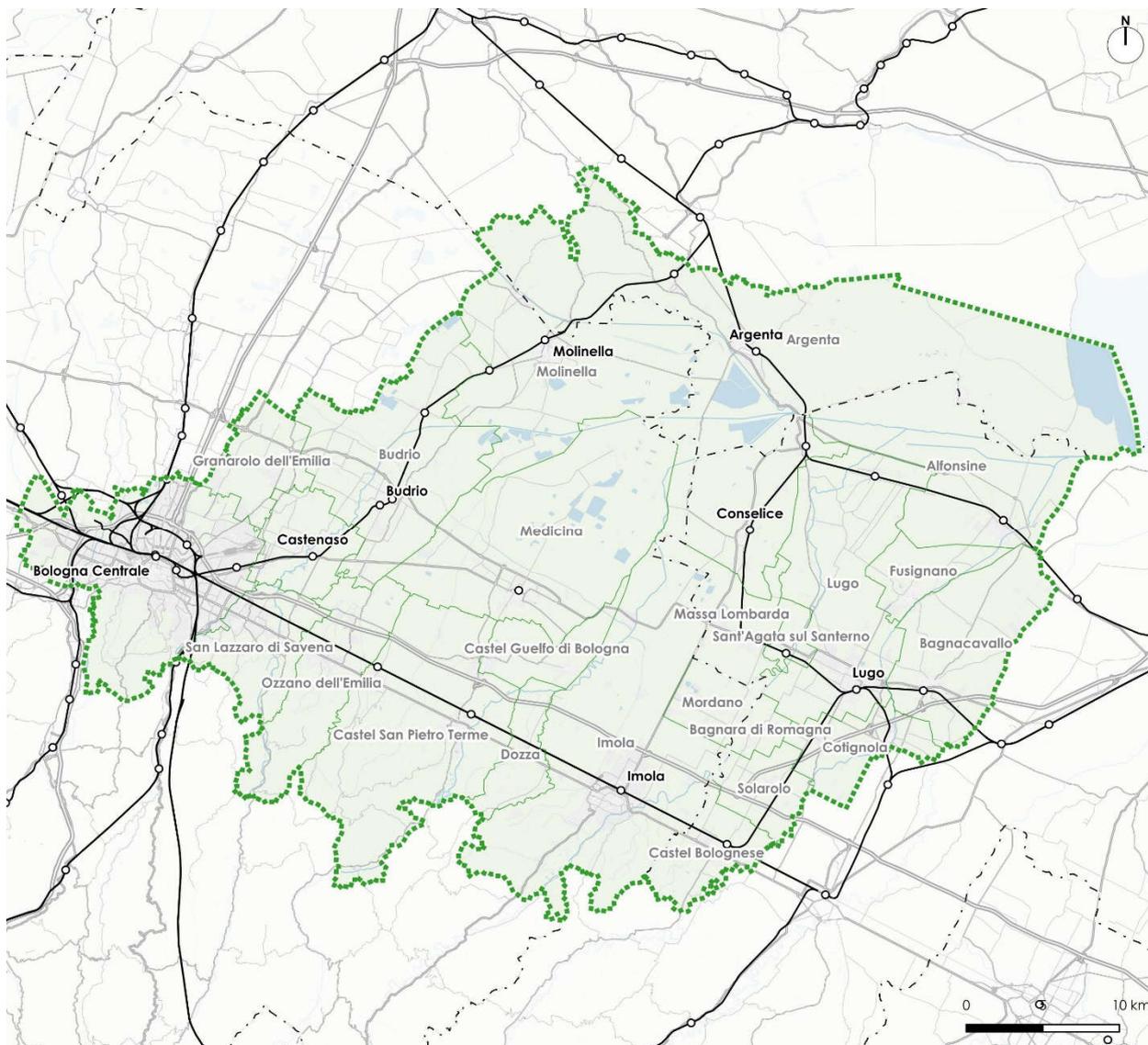


Figura 4-2: Area di studio

Le analisi dei dati di mobilità relativi allo scenario di riferimento, anche in confronto con quello attuale, mostrano d'altro lato una significativa quota di domanda potenziale, laddove l'attuale sistema del trasporto pubblico copre una quota modale inferiore al 23%. Il valore cresce leggermente nello scenario di riferimento (cfr. Tabella 4.1).

Indicatore	Scenario Attuale (2018)	Scenario di Riferimento (2027)
Domanda (pax/hp)	45.906	<b>49.145</b>
Domanda (pax/gg feriale medio)	362.657	<b>388.246</b>
Domanda (pax/anno)	108.797.220	<b>116.473.650</b>

Tabella 4.1: dati di mobilità a confronto – scenario attuale vs. scenario di riferimento

D’altro lato, con specifico riferimento alle coppie o/d che ricadono nella “catchment area” del corridoio del trasporto pubblico lungo la SP “San Vitale”, si rileva come:

- la domanda potenziale, ovvero somma della quota modale in auto e trasporto pubblico, è pari a circa 8.700 spostamenti/h;
- di questo, la quota modale relativa al solo trasporto pubblico è pari al 44%, dato superiore alla media della ripartizione modale d’area vasta;
- il 20% di tale valore è a sua volta riferito all’attuale linea 99, in servizio lungo il corridoio.

La Figura 4—3 rappresenta una assegnazione di tutta la domanda globale (trasporto pubblico + trasporto privato) sulla rete del TPL esistente e evidenzia, a livello puramente qualitativo, il fatto che la tratta della direttrice San Donato compresa tra Bologna e Medicina è quella su cui insiste la domanda potenziale di gran lunga più consistente lungo il corridoio nell’intero ambito di studio

Ponendosi nell’ottica di offrire all’utenza un servizio più strutturato che possa contribuire ad un rilancio complessivo del ruolo del trasporto pubblico della Città metropolitana, emerge come la soluzione progettuale non può che confermare un **sistema Metrobus - BRT come quello in grado di concorrere in maniera tangibile alla funzione territoriale e all’attrattività del territorio**, in un’area che non è servita da un servizio forte e strutturato come il Servizio Ferroviario Metropolitano (SFM).

Stante i valori di domanda potenziale e di quota modale relativa al trasporto pubblico dello scenario di riferimento, anche laddove si immaginasse un servizio di trasporto di rango superiore in termini di capacità e prestazioni, la quota marginale di domanda eventualmente attratta non garantirebbe un saldo positivo tra costi di investimento e benefici attesi.

Chiaramente, l’inserimento di un sistema di busvia ad elevate prestazioni, compatibile con i fabbisogni di domanda potenziale stimati, deve altresì sottendere a una riorganizzazione generale che persegua l’obiettivo di massimizzare i benefici attesi e che potrà essere articolata secondo i seguenti punti:

- *eliminare il parallelismo dei servizi su gomma e su ferro*, prevedendo potenziamenti nelle aree non servite da collegamenti su ferro al fine di assicurare l’efficienza del TPM in modo omogeneo su tutto il territorio metropolitano;
- *sviluppare l’integrazione tra autolinee portanti e complementari* su direttrici non servite da SFM;
- *valorizzare i Centri di Mobilità*;
- *realizzare un modello di esercizio cadenzato*.

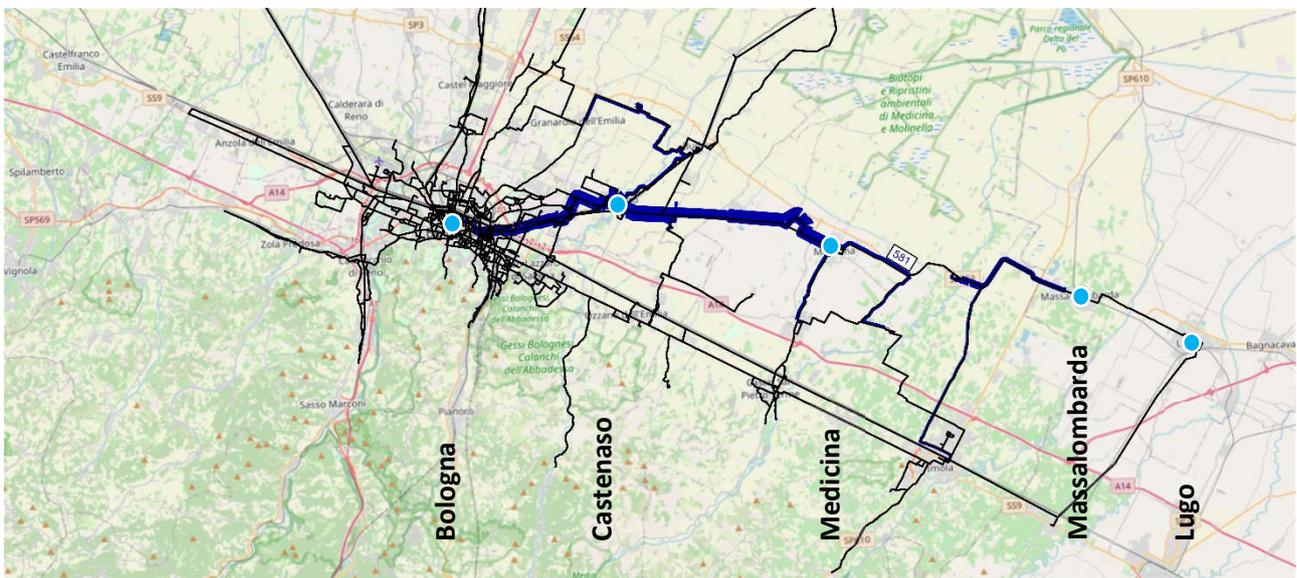


Figura 4—3: domanda potenziale (trasporto pubblico + trasporto privato) lungo il corridoio “san Vitale”

In tal senso, i successivi paragrafi avranno lo scopo di valutare, all’interno del perimetro delineato da quanto predetto, e in coerenza con il percorso progettuale compiuto dalla Città metropolitana di Bologna, le alternative di progetto e le relative scelte in merito a tracciato, modello di esercizio e tecnologia con l’obiettivo di individuare la soluzione più rispondente a tali fabbisogni secondo criteri di efficienza ed efficacia che devono caratterizzare intrinsecamente i servizi di trasporto che rispondo a Obblighi di Servizio Pubblico.

## 5 Le alternative progettuali

Il processo di valutazione delle alternative progettuali non sottende a una logica lineare e sequenziale di passaggi ma, andando a interessare un “sistema complesso”, deve necessariamente tener conto delle reciproche interrelazioni tra i diversi componenti del sistema per giungere a una valutazione integrata.

La scelta di tracciato, di modello di esercizio, di posizione o tipologia della fermata, di materiale rotabile, in termini di allestimento e tipologia di trazione/alimentazione, non può che essere considerata appunto nel suo complesso, oltre che:

- direttamente correlata ai fabbisogni di mobilità;
- necessariamente orientata alla intermodalità;
- inserita in un contesto di tariffazione integrata;
- coerente con il contesto tecnologico e normativo di riferimento ma che valuti la sua evoluzione che si attende rapida lungo il periodo di attuazione del sistema e della sua vita utile.

In tal senso, il processo sviluppato per la valutazione delle alternative progettuali è stato portato avanti seguendo quanto rappresentato schematicamente in Figura 5-1.

In particolare, la configurazione delle vie di marcia e le scelte di materiale rotabile sono entrate in un processo ricorsivo di progettazione che ha preso in considerazione in primo luogo la posizione, lo schema, l’attrezzaggio delle fermate, la coerente connessione con la rete di adduzione e l’incremento di efficacia dei centri di mobilità.

Questo vasto e complesso “pacchetto” di azioni di progettuali è stato chiaramente sviluppato in **risposta ai fabbisogni di domanda di mobilità** stimati ai diversi orizzonti temporali secondo un modello di trasporto multimodale che ha valutato l’efficacia delle alternative di progetto e ne ha supportato, secondo opportuni indicatori, la definizione dell’assetto finale. Strumenti di simulazione di dettaglio hanno corroborato le scelte tecniche, sia geometrico-funzionali sia di regolazione semaforica con l’obiettivo di raffinare le analisi sia in termini di tempo di percorrenza e “robustezza” del modello di esercizio del BRT, sia di impatti sulla mobilità veicolare.

In coerenza con quanto sopra, il metodo di analisi delle possibili alternative progettuali in termini di modalità, tecnologia, livello di infrastrutturazione, opportunità di integrazione, semplificazione della manutenzione e gestione può sinteticamente essere articolato secondo i seguenti punti:

- valutazione delle **alternative di progetto rispetto alla cosiddetta “opzione 0”**, sulla base di criteri relativi agli impatti sulla domanda di spostamento, sulla rete stradale e le sue prestazioni, sulla rete dei servizi esistenti, sull’ambiente, sul patrimonio artistico, sui costi, ovvero più in generale secondo quanto già evidenziato rispetto al significato di “sostenibile”;
- individuazione del **“corridoio infrastrutturato”**, ovvero delle scelte principali e strategiche in termini di tracciato della linea;
- definizione delle scelte progettuali di infrastruttura per **ambiti di dettaglio**;
- definizione del **modello di esercizio** servizio di trasporto che meglio risponde ai suddetti fabbisogni, in termini prioritariamente di prestazioni ovvero capacità, disponibilità, tracciato;
- definizione del **materiale** rotabile che meglio risponde alle esigenze di capacità della linea, sulla base anche del modello di esercizio ipotizzato;
- definizione della **tipologia di alimentazione** del mezzo, e delle relative infrastrutture di alimentazione.

Tali punti non corrispondono a una mera e rigida gerarchizzazione temporale, ma, appunto, costituiscono elementi di un processo ricorsivo del tipo “what if” che, a valle di successive iterazioni giunge alla definizione dello scenario migliore, espresso come sintesi di valutazioni di efficacia ed efficienza, di considerazioni e prescrizioni degli stakeholder, di stime sulla possibile evoluzione del contesto tecnologico.

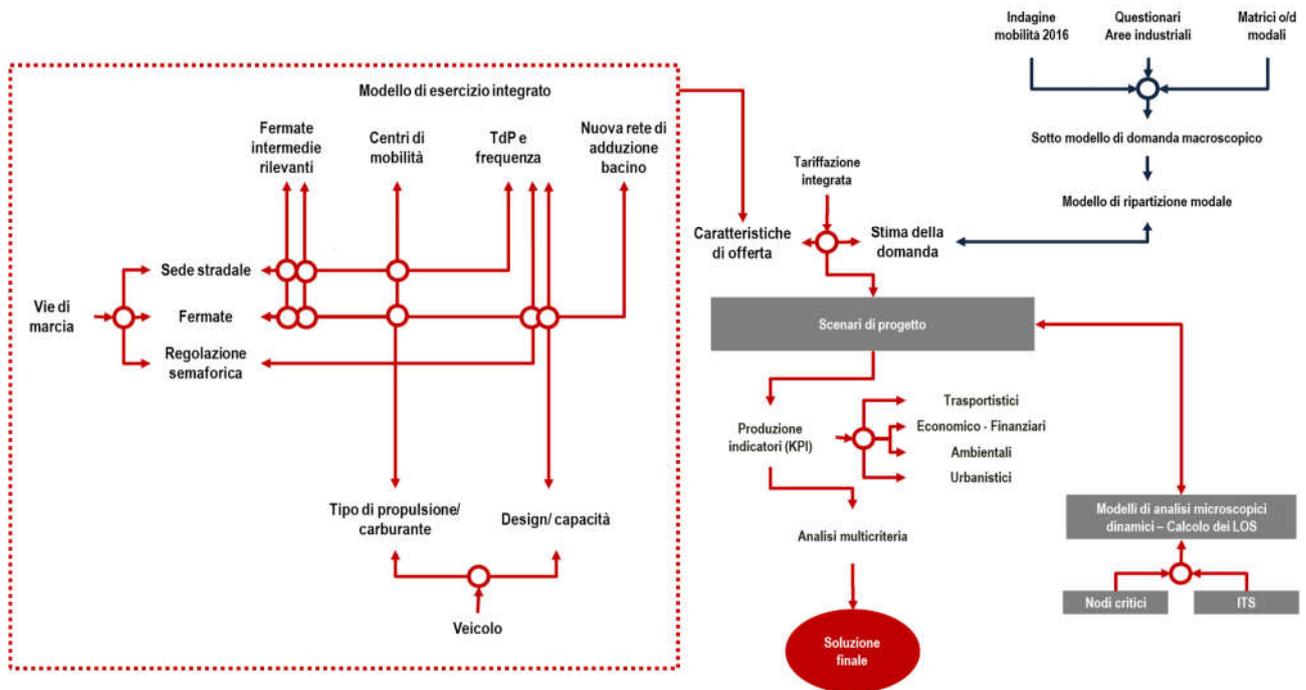


Figura 5-1: Il processo progettuale

## 5.1 Le alternative di tracciato

Il processo di definizione del tracciato, come anticipato, muove da una considerazione di fondo: il sistema Metrobus è stato concepito come un vero e proprio “asse attrezzato” dove **tracciato, infrastruttura, fermate, sistemi di regolazione semaforica, tipologia di materiale rotabile** si integrano in un **sistema di trasporto unico, “riconoscibile”, ad elevate prestazioni**, in grado di incrementare l’accessibilità alla città di Bologna del territorio orientale della città metropolitana. In tal senso, e in coerenza con le caratteristiche del territorio attraversato e della rete stradale di collegamento, tale processo è stato articolato secondo due passaggi fondamentali:

- 1 **individuazione del “corridoio”** che meglio soddisfa i suddetti fabbisogni di mobilità in termini di spostamento nelle sue caratteristiche spaziali e temporali;
- 2 **definizione delle alternative di progetto di dettaglio**, riconducibili a fattori di “ambito” e più legati a dinamiche di tipo locale.

### 5.1.1 Individuazione del “corridoio”

Con riferimento al punto 1, è necessario considerare i seguenti elementi:

- la definizione di Medicina come Centro di Mobilità va a determinare una **esigenza di collegamento veloce con la città di Bologna**, sia in termini di quota di spostamento rispetto all’intero bacino, sia per il suo ruolo di nodo di scambio per le linee extraurbane; un passeggero in arrivo a Medicina con un’altra modalità di trasporto ha chiaramente l’esigenza di un collegamento diretto con la sua destinazione finale, Bologna, rapido e ad elevata frequenza;
- il corridoio offerto dalla SP253 San Vitale non attraversa i centri abitati principali tra Medicina e Bologna. In particolare, le conurbazioni di Villafontana e Castenaso sono fuori dal tracciato della Provinciale, imponendo al bus un allungamento del percorso per garantire l’accessibilità di queste aree;
- d’altro lato, il centro urbano di Castenaso presenta un fabbisogno di mobilità rilevante nella fascia di punta mattutina che auspicabilmente potrà continuare ad essere servito dal TPL;
- nella tratta tra Bologna e Medicina la direttrice San Vitale transita a fianco della stazione ferroviaria di Castenaso che costituisce elemento di integrazione tra il sistema su “ferro” e quello “su gomma”.

Sulla base delle predette considerazioni, è possibile individuare le seguenti macro-tratte caratterizzate da più alternative come di seguito:

- tratta 1: da Medicina a Villafontana, il percorso si sviluppa lungo la SP253 “San Vitale” senza possibilità di opzioni alternative;
- tratta 2: passaggio per Villafontana per la quale sono possibili 2 diverse alternative:

- **Alternativa 1:** transito sulla SP253, senza deviazione all'interno dell'abitato di Villafontana con fermate a Bivio Rossi e Fasanina;
- **Alternativa 2:** deviazione su via Rossi, via Villafontana, via Dalla Valle e via San Donino a servizio dell'abitato con fermate a Villafontana e Villafontana S. Donino.
- tratta 3: da Villafontana a Castenaso, il percorso prosegue lungo la SP253 attraversando le frazioni di Fossatone, Canaletti, Trebbo di Budrio fino all'abitato di Castenaso senza opzioni alternative;
- tratta 4: passaggio per Castenaso per la quale sono possibili 2 diverse alternative:
  - **Alternativa 1:** transito sulla SP253, senza deviazione all'interno dell'abitato di Castenaso con fermate a Castenaso Stazione e Castenaso Stellina;
  - **Alternativa 2:** deviazione su via Nasica e via Tosarelli a servizio dell'abitato con fermate a Castenaso Nasica e Castenaso Chiesa.
- Tratta 5: a valle dell'abitato di Castenaso, il tracciato riprende lungo la SP253 ed attraversa la Zona Industriale di Cà dell'Orbo, la frazione di Villanova per poi avvicinarsi all'abitato di Bologna lungo via Enrico Mattei (toponimo della SP253 all'ingresso nel capoluogo). Superato lo svincolo della Tangenziale di Bologna alla Rotonda Paradisi, il Metrobus prosegue lungo via Massarenti, attraversando il quartiere San Vitale, fino a raggiungere i viali e l'Autostazione.

### 5.1.2 Definizione delle alternative di progetto di dettaglio

Gli aspetti relativi al punto 2 sono fortemente correlati alle condizioni di inserimento del tracciato nel contesto infrastrutturale e urbanistico di riferimento e, nello specifico, delle componenti legate a:

- inserimento e configurazione delle fermate, con aspetti di dettaglio legati alla intermodalità, accessibilità e regolazione semaforica;
- inserimento del tracciato e organizzazione di alcuni nodi rilevanti della rete: rotatorie e intersezioni semaforizzate.

Nella fattispecie, in allegato al documento sono riportate le configurazioni alternative prese in considerazione per quanto riguarda due ambiti specifici, quello di Castenaso, di Cà dell'Orbo e di Villanova come meglio specificato di seguito:

- Ambito Castenaso: con riferimento alla Figura 8-2, Figura 8-3 si descrivono le alternative di progetto per il nodo di scambio con il servizio ferroviario alla stazione di Castenaso; alle Figura 8-4 e Figura 8-5 si descrivono le alternative di progetto per il nodo di scambio con il servizio ferroviario alla stazione di Stellina; alle Figura 8-6 e Figura 8-7 le ipotesi di sistemazione del capolinea di Castenaso e delle relazioni con il trasporto pubblico della rete extraurbana di adduzione;
- Ambito Cà dell'Orbo: con riferimento alla Figura 8-9 e Figura 8-10 si descrivono le opzioni di progetto per la sistemazione della fermata di Cà dell'Orbo;
- Ambito Villanova: con riferimento alla Figura 8-11, Figura 8-12 e Figura 8-13 si descrivono le opzioni di progetto per la sistemazione della fermata di Cà dell'Orbo.

### 5.1.3 I criteri di scelta del tracciato

Con riferimento alle alternative sopra esposte, i criteri presi in considerazione per la scelta del tracciato sono riferibili a:

1. **Accessibilità** dell'area di studio, in termini di domanda servita dal sistema;
2. **Prestazione** del servizio di trasporto, in termini di velocità commerciale e affidabilità, espressa come probabilità di ritardo/scostamento rispetto all'orario tabellare;
3. **Condivisione** e concertazione con gli stakeholder.

Chiaramente i criteri 1 e 2 sono strettamente correlati tra loro e con il progetto del modello di esercizio di cui al paragrafo successivo. D'altro lato essi si riferiscono all'individuazione del "corridoio".

Il criterio 3 è viceversa relativo alla definizione delle alternative di progetto di dettaglio, dove le esigenze a scala locale hanno per loro natura un forte legame con le dinamiche, le esigenze, le necessità degli stakeholder di ambito.

## 5.2 Le alternative di modello di esercizio

Il processo di definizione del modello di esercizio, come predetto, costituisce il punto di "cerniera" tra le decisioni relative al tracciato e quelle legate alla tipologia di alimentazione del parco rotabile.

Il tracciato necessariamente condiziona le prestazioni del sistema nei termini di cui si è detto al paragrafo precedente e che ha un riflesso diretto sul modello di esercizio in relazione al tempo di viaggio, al tempo giro, all'orario tabellare alle fermate quindi, in ultimo, al fabbisogno di mezzi.

D'altro lato, la tecnologia e la tipologia di alimentazione del parco mezzi hanno un impatto non trascurabile: di fatto la tipologia di alimentazione e di ricarica, nel caso di alimentazione a batteria, portano a un forte legame tra modello di esercizio, profilo di carico dell'alimentazione elettrica, frequenza e posizione degli eventuali punti di ricarica.

Non ultimo, la posizione dei depositi utilizzabili ovvero di spazi che potranno essere considerati utili per la realizzazione di un nuovo deposito, costituiscono punti "notevoli" della rete, che devono essere individuati con l'obiettivo di minimizzare i viaggi "a vuoto" rispetto, appunto, a una alternativa di modello di esercizio.

In tale contesto, sono stati prese in considerazione **3 gruppi di alternative**, così strutturati:

1. Metrobus lungo il tracciato della SP253 con un servizio diretto Medicina – Bologna (cfr. Figura 5-2);
2. Metrobus lungo il tracciato della SP253 con un servizio tra Medicina e Bologna in transito per Villafontana e Castenaso (cfr. Figura 5-3);
3. Metrobus con due differenti servizi, in grado di garantire all'utenza al contempo velocità e capacità di trasporto lungo la direttrice San Vitale (cfr. Figura 5-4):
  - a. **Servizio Metrobus – Alta Velocità: Medicina – Bologna Autostazione;**
  - b. **Servizio Metrobus – Alta Capacità: Castenaso Mazzini – Bologna Autostazione.**

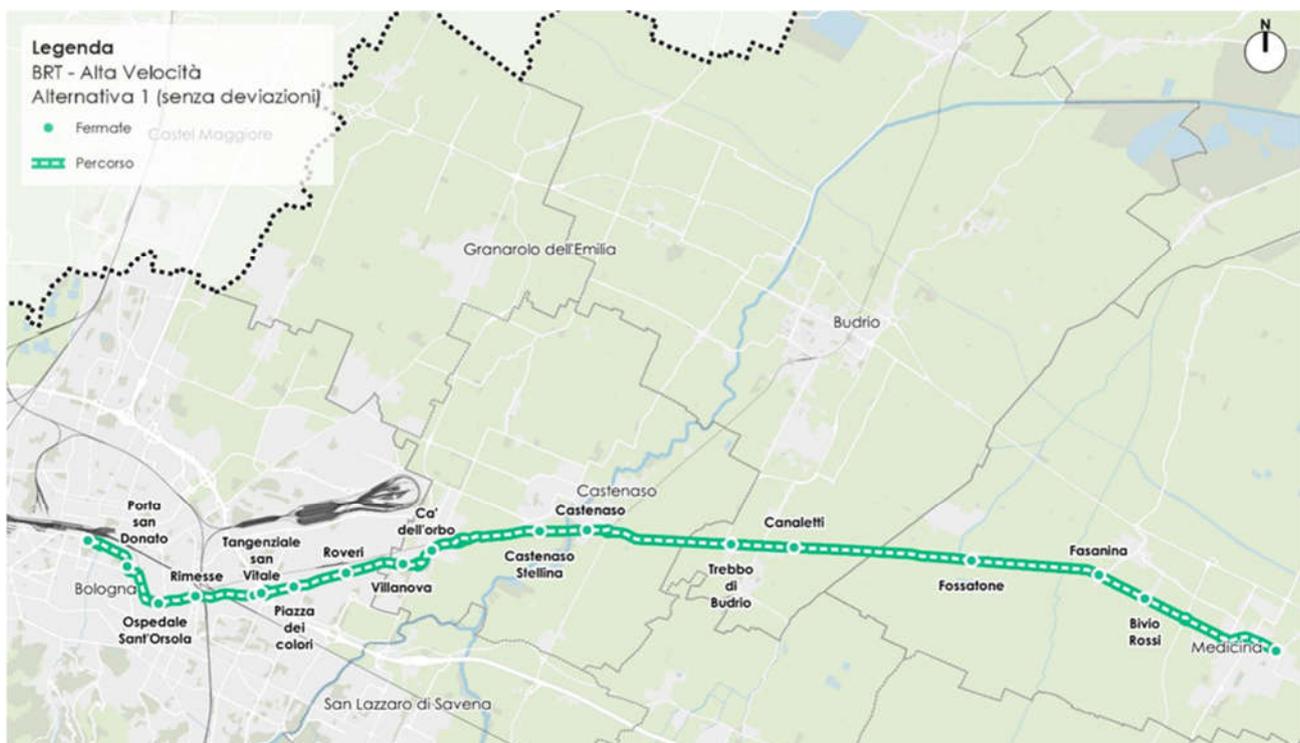


Figura 5-2: ipotesi di servizio lungo itinerario diretto da Medicina a Bologna

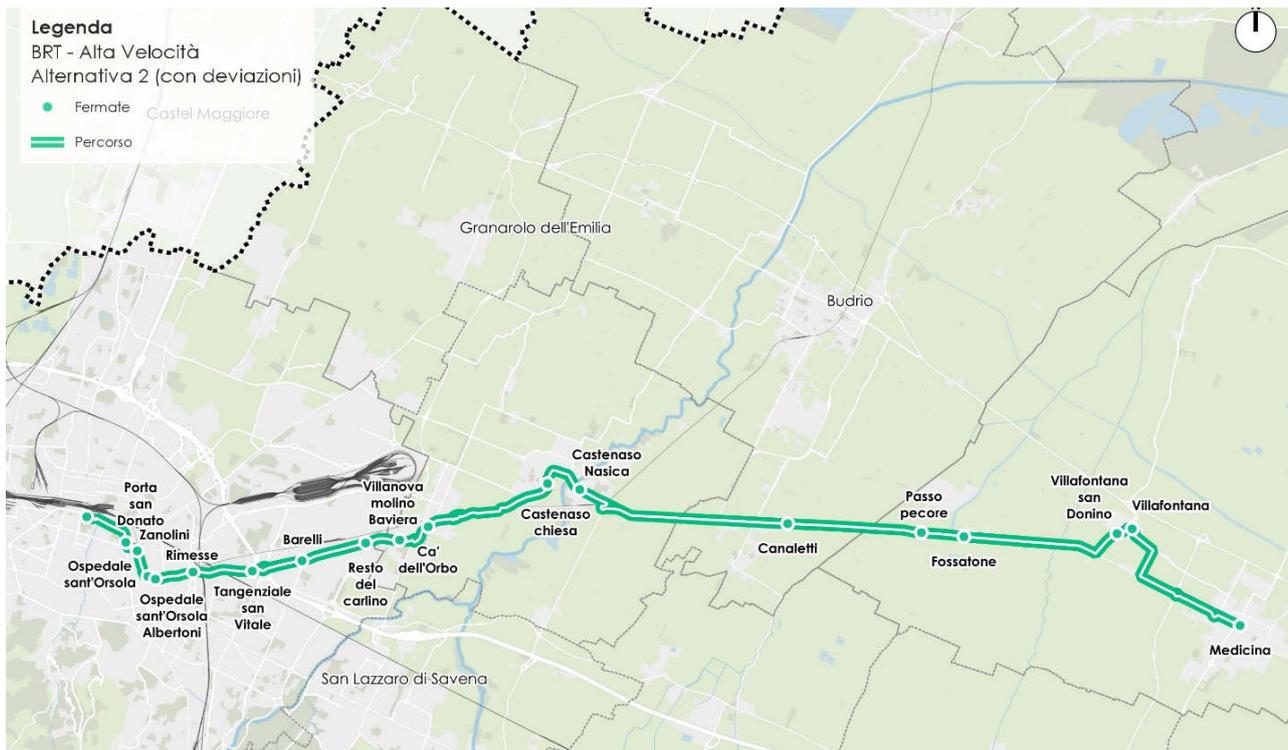


Figura 5-3: ipotesi di servizio lungo itinerario passante per gli abitati di Villafontana e Castenaso

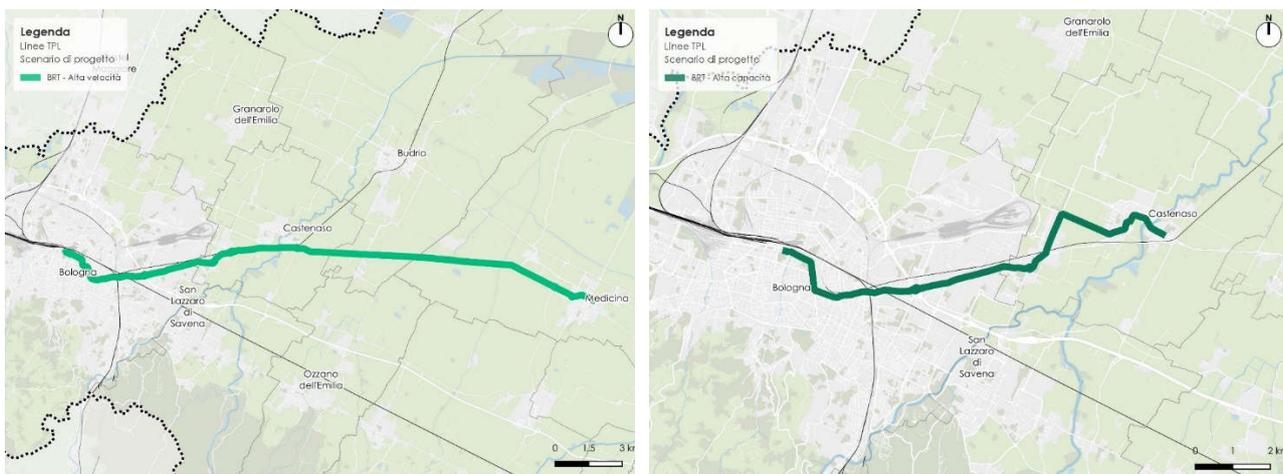


Figura 5-4: ipotesi di servizio AV e AC rispettivamente lungo itinerari Medicina – Bologna (sx) e Castenaso – Bologna (dx)

### 5.2.1 I criteri di scelta del modello di esercizio

Anche in questo caso, con riferimento alle alternative sopra esposte e alle relazioni con gli altri aspetti progettuali, i criteri presi in considerazione per la scelta del modello di esercizio sono riferibili a:

1. **Accessibilità** dell'area di studio, in termini di domanda servita dal sistema;
2. **Prestazione** del servizio di trasporto, in termini di velocità commerciale e affidabilità, espressa come probabilità di ritardo/scostamento rispetto all'orario tabellare;

D'altro lato è necessario considerare due elementi che costituiscono un vincolo di coerenza con le scelte in materia di tecnologia del mezzo e con quelli di opportunità di scelta delle aree di deposito e di capolinea.

### 5.3 Le alternative tecnologiche di materiale rotabile

Dal punto di vista del materiale rotabile, è necessario premettere i criteri esplicitati dall'addendum all'Avviso di presentazione istanze per accesso alle risorse per il trasporto rapido di massa che aprono al finanziamento di "sistemi filovari (e assimilabili)" ovvero a tutti i sistemi eserciti con veicoli su gomma a trazione elettrica che si alimentano/ricaricano lungo la via di corsa con sistemi di alimentazione continui (es.: linea aerea tradizionale) o discreti (es.: postazioni di ricarica).

In tal senso le alternative tecnologiche del parco rotabile prese in considerazione per il progetto sono riconducibile ai punti di seguito:

- 1) **filobus**, che prevede la presenza della catenaria per l'intero tracciato o per parti di esso, utile a:
  - a) garantire l'alimentazione continua del mezzo;
  - b) fornire soluzioni con accumulo di energia durante il passaggio sotto la linea di contatto tradizionale per poi affrontare tratti di percorso *catenary free* (soluzione In Motion Charge - IMC);
- 2) **ebus** con alimentazione a batterie, in grado di transitare su tratte interamente *catenary free*, unitamente a infrastrutture di ricarica puntuale (Flash charging e Opportunity charging). In particolare, è ulteriormente utile articolare le possibili alternative in relazione alla posizione e numerosità dei punti di ricarica, che costituiscono elementi di progetto correlati al modello di esercizio e con un impatto diretto sulla potenzialità, capacità e dimensione del sistema di batterie:
  - a) Tipo A: solo eBus con massima capacità batterie, nessuna stazione di ricarica veloce in linea ma solo in deposito;
  - b) Tipo B: eBus con massima capacità batterie e stazioni ricarica in corrispondenza di uno o entrambe i capolinea;
  - c) Tipo C: eBus con minima capacità batteria e stazioni di ricarica flash lungo percorso.



Figura 5-5: esempi di mezzo tipologia filobus (a sx) e ebus (dx)

### 5.3.1 I criteri di scelta della tecnologia

Con riferimento a questo aspetto progettuale, i criteri di valutazione sono necessariamente da articolare secondo i due “gradini” individuati al paragrafo precedente.

In particolare, la valutazione rispetto alle alternative filobus e ebus è riconducibile a criteri generali come di seguito:

- **Accessibilità**, in termini di capacità del mezzo rispetto alla domanda potenziale dell'area di studio;
- **Flessibilità** del sistema con riferimento alle evoluzioni del contesto in termini di percorso – anche per lavori e cantieri stradali temporanei, integrazione con sistemi di trasporto in via di progettazione, etc.
- **Costo** del sistema complessivo, ovvero tenendo in conto il mezzo, la rete e le infrastrutture di ricarica.

## 6 La scelta di progetto

### 6.1 Considerazioni preliminari

Come illustrato nel diagramma di Figura 5-1: , le alternative di progetto sin qui illustrate sono state valutate sulla base dei rispettivi criteri di scelta e tenendo necessariamente in conto gli impatti e i feedback reciproci, perseguendo l'obiettivo finale di giungere a una soluzione che:

- risponda ai fabbisogni di domanda in modo efficace ed efficiente, ovvero possa determinare la miglior evoluzione della ripartizione modale a favore delle modalità di trasporto a bassa emissione, ad un costo di gestione sostenibile;
- sia operata con una tecnologia a bassa emissione, **coerente** con il contesto tecnologico di riferimento attuale, **flessibile** rispetto alle future variazioni solo parzialmente intravedibili al momento, **economico** ovvero che “lavori” nel suo intervallo di convenienza dei costi, considerando sia il costo di approvvigionamento e costruzione sia di manutenzione e gestione del sistema;
- consideri come criterio rilevante sia **l'integrazione con i sistemi di trasporto**, in particolare urbano, attuali e di progetto, sia la **coerenza con sistemi di trasporto analoghi** – Metrobus – in via di progettazione (si veda la linea

Metrobus sulla direttrice San Vitale, tra Medicina e Bologna) o presenti come evoluzione negli strumenti di pianificazione della Città metropolitana di Bologna (altre linee Metrobus delineate nel PUMS – cfr. Figura 4-1).

In questo senso, e a mero scopo di schematizzazione del ragionamento condotto a livello complessivo rispetto alle scelte progettuali, si può articolare il processo (di cui alla Figura 5-1: ) secondo i seguenti passaggi logici e sequenziali:

- la **scelta del tracciato**, in termini infrastrutturali, considerando le soluzioni geometrico-funzionali, di regolazione del traffico e di posizionamento delle fermate, anche secondo le diverse tipologie individuate (small, medium, large), che presentano un impatto diretto sulle prestazioni del sistema e sull'accessibilità;
- la **scelta del modello di esercizio** che meglio sposi l'itinerario individuato, ovvero che collabori alla "realizzazione" delle prestazioni e dell'accessibilità del sistema;
- la **scelta della tecnologia** del mezzo e della infrastruttura che possa offrire la soluzione che "lavori" all'interno del suo intervallo di convenienza nel rispetto del modello di esercizio prescelto.

Nei paragrafi di seguito si motiveranno quindi le diverse scelte giungendo alla descrizione della "scelta di sistema" intrapresa e alla base delle successive valutazioni.

## 6.2 La scelta del tracciato

Le due diverse soluzioni di tracciato, rispettivamente Medicina – Bologna diretta e passante per Villafontana e Castenaso) sono state analizzate considerando i criteri di cui al paragrafo 5.1.3 articolati secondo gli indicatori di seguito:

- Prestazione del sistema:
  - Velocità commerciale della linea, calcolata in km/h sulla base delle caratteristiche del modello di simulazione che tiene conto sia delle soluzioni di progetto alternative, sia della densità e posizione delle fermate lungo la linea, sia della congestione nelle tratte e alle intersezioni prive di corsie di riservate;
- Accessibilità del sistema:
  - Shift modale sul Trasporto Pubblico, calcolato come valore dei passeggeri/ora che modificano la loro scelta modale rispetto allo scenario di riferimento, stimato sulla base del modello di domanda multimodale di cui alla relazione delle analisi trasportistiche, implementata rispetto alle diverse ipotesi di tracciato;
  - Saliti sul sistema Metrobus, calcolato come valore dei passeggeri/ora che salgono complessivamente alle fermate della linea per le diverse configurazioni di progetto, stimato sulla base del modello di simulazione;
  - Percorrenza totale sul sistema Metrobus, calcolato come numero di Passeggeri x km che utilizzano in un'ora la linea per le diverse configurazioni di progetto, stimato sulla base del modello di simulazione;
  - Percorrenza media sul sistema Metrobus, calcolato come numero di chilometri a bordo del mezzo percorso dai passeggeri in un'ora per le diverse configurazioni di progetto, stimato sulla base del modello di simulazione;
  - Produzione del sistema Metrobus calcolato come numero di bus\*km in un giorno di servizio per le diverse configurazioni di progetto, sulla base delle caratteristiche del servizio implementato nel modello di simulazione.

La Tabella 6.1 evidenzia i valori corrispondenti ai diversi indicatori scelti, cui è associata una valutazione qualitativa utile ad un confronto tra le due macro soluzioni di progetto.

criterio	Indicatore	Soluzione "1" - diretta	Soluzione "2" – via Villaf. e Cast.
Prestazione	Velocità commerciale (km/h)	37	34
Accessibilità	Shift modale sul Trasporto Pubblico (pax/h)	215	220
Accessibilità	Saliti BRT (pax/h)	850	500
Accessibilità	Pax*km BRT (km)	16.750	7.700
Accessibilità	Percorrenza media a bordo (km)	19,5	15,5
Accessibilità	Produzione BRT (bus*km/gg)	2.000	2.100

Tabella 6.1: criteri e indicatori di valutazione per le due soluzioni di tracciato

Sulla base di tale valutazione, emerge chiaramente come l'alternativa di tracciato relativa al collegamento diretto Medicina – Bologna lungo la SP253 costituisce quella che meglio risponde ai criteri individuati. Come meglio illustrato nella reazione delle analisi trasportistiche, è possibile qui sintetizzare che:

- il mancato passaggio per Villafontana e Castenaso determina una minore incidenza sulla quota di ripartizione modale. Le due soluzioni sono simili poiché in un caso si incide particolarmente sulle scelte modali di coloro che usano Medicina come nodo di scambio, mentre nell'altro si agisce sui residenti dei due centri abitati senza avere in ogni caso un rilevante impatto, dovuto al decadimento delle prestazioni;
- a rafforzare questa considerazione sono gli indicatori più strettamente riferibili alla linea BRT che, nel caso di itinerario diretto vedono un distacco netto rispetto alla soluzione passante per Castenaso e Villafontana. Le prestazioni del sistema servono con efficacia i fabbisogni di mobilità sia in termini di saliti totali sulla linea sia dei passeggeri\*km trasportati.

In tal senso, si ritiene di individuare la soluzione di tracciato diretta come quella più rispondente ai criteri di scelta individuati.

Saranno le alternative sul modello di esercizio a migliorare la capacità del Metrobus di intercettare i fabbisogni di domanda dei territori distanti dal tracciato individuato.

Con riferimento alle scelte di ambito si ribadisce quanto già illustrato al paragrafo 5.1.2 e alle relative immagini.

### 6.3 La scelta del modello di esercizio

La scelta del modello di esercizio risponde ai criteri di cui al paragrafo 5.2.1 ovvero accessibilità e prestazioni, ma tiene necessariamente conto degli aspetti legati alle scelte tecnologiche in termini di mezzi e infrastrutture di ricarica.

La definizione del modello di esercizio, infatti, costituisce un elemento essenziale di “cerniera” tra gli aspetti di fabbisogno di domanda, quelli infrastrutturali e quelli legati alle caratteristiche del mezzo, con riferimento particolare ai seguenti aspetti:

- la risposta ai fabbisogni di domanda è legata strettamente alle frequenze del servizio, che incidono sulla quota di ripartizione modale;
- le prestazioni di dettaglio - velocità di marcia e velocità commerciale - dipendono fortemente dalle caratteristiche del tracciato in termini di:
  - presenza di corsie riservate o segregate, configurazione geometrica delle intersezioni e tipologia di regolazione semaforica;
  - densità e posizionamento delle fermate lungo il tracciato (bordo strada, su tratta riservata, in prossimità dell'intersezione, etc.);
  - prestazioni legate al mezzo, con riferimento a capacità di accelerazione/decelerazione;
- le caratteristiche di alimentazione del mezzo incidono, nel caso particolare di ebus, sui tempi di fermata del bus alle fermate, ovvero di sosta ai capolinea e, in ultima istanza sulle necessità di turno-macchina per garantire sempre un mezzo in grado di viaggiare in modo affidabile e sicuro.

A questo, è necessario aggiungere le considerazioni relative al posizionamento delle aree di deposito che incidono sui costi per rendere il servizio disponibile ai punti di partenza, appunto in coerenza con il modello di esercizio ipotizzato.

In tal senso, l'alternativa di progetto scelta ha tenuto conto di:

- le scelte compiute rispetto al tracciato di cui al paragrafo 6.2 e alle ulteriori considerazioni illustrate nel documento di analisi trasportistiche in relazione alle soluzioni per incrementare l'incidenza del sistema sulla variazione di ripartizione modale e assecondare l'esigenza di mobilità dei centri di Villafontana e Castenaso rimasti esclusi dal tracciato diretto;
- le scelte compiute rispetto alla dislocazione dei depositi. In tal senso si ricorda come, nell'ottica di minimizzare i costi di investimento, raggiungere una maggiore integrazione con i sistemi esistenti e di futura progettazione, garantire una maggiore flessibilità del sistema Metrobus nell'ambito della rete programmata dal PUMS, si è compiuta la scelta di considerare come aree di deposito:
  - l'area attigua al capolinea di Medicina, realizzando le opportune infrastrutture per gestire le attività di ricarica elettrica e manutenzioni ordinarie;
  - l'attuale deposito TPER di Due Madonne, il cui posizionamento è strategico per la riduzione dei tempi a vuoto mezzi e le cui dimensioni permettono una ottimizzazione degli spazi e una flessibilità del servizio;
- le scelte legate alle tecnologie dei mezzi e delle infrastrutture di ricarica di cui al paragrafo successivo in termini di tempi di sosta ai capolinea e ai depositi e di turnazione del materiale.

In tal senso, le soluzioni alternative analizzate, sono riconducibili a:

- servizio diretto che prevede 10 corse/h/direzione nell’ora della fascia di punta mattutina e 4 corse/h/direzione nell’ora della fascia di morbida;
- servizio via Villafontana/Castenaso che prevede 10 corse/h/direzione nell’ora della fascia di punta mattutina e 4 corse/h/direzione nell’ora della fascia di morbida;
- servizio misto denominato Alta Velocità/Alta Capacità, così organizzato:
  - **Servizio Metrobus – Alta Velocità: Medicina – Bologna Autostazione:**  
Il modello d’esercizio di progetto prevede una estensione del servizio di 15,5 h/giorno e l’effettuazione di 43 corse/giorno/direzione, così ripartite:
    - fascia di punta della mattina (2h): 6 corse/h/direzione
    - fascia di punta della sera (2h): 4 corse/h/direzione
    - fasce di morbida (11,5 h): 2 corse/h/direzione
  - **Servizio Metrobus – Alta Capacità: Castenaso Mazzini – Bologna Autostazione:**  
Il modello d’esercizio di progetto prevede una estensione del servizio di 15 h/giorno e l’effettuazione di 34 corse/giorno/direzione, così ripartite:
    - fascia di punta della mattina (2h): 4 corse/h/direzione
    - fascia di punta della sera (2h): 2 corse/h/direzione
    - fasce di morbida (11 h): 2 corse/h/direzione

Le diverse soluzioni di modello di esercizio sono state analizzate considerando i criteri di cui al paragrafo 5.2.1 articolati secondo gli indicatori di seguito:

- Prestazione del sistema:
  - velocità commerciale della linea, calcolata in km/h sulla base delle caratteristiche del modello di simulazione che tiene conto sia delle soluzioni di progetto alternative, sia della densità e posizione delle fermate lungo la linea, sia della congestione nelle tratte e alle intersezioni prive di corsie di riservate;
  - affidabilità del servizio, considerato in via qualitativa secondo un indicatore che tenga conto della probabilità di scostamento dell’orario effettivo rispetto a quello tabellare;
- Accessibilità del sistema:
  - saliti sul sistema Metrobus, calcolato come valore dei passeggeri/ora che salgono complessivamente alle fermate della linea per le diverse configurazioni di progetto, stimato sulla base del modello di simulazione;
  - percorrenza totale sul sistema Metrobus, calcolato come numero di Passeggeri x km che utilizzano in un’ora la linea per le diverse configurazioni di progetto, stimato sulla base del modello di simulazione;
  - percorrenza media sul sistema Metrobus, calcolato come numero di chilometri a bordo del mezzo percorso dai passeggeri in un’ora per le diverse configurazioni di progetto, stimato sulla base del modello di simulazione.

La Tabella 6.2 evidenzia una valutazione qualitativa per i diversi indicatori, utile ad un confronto tra le due macro soluzioni di progetto.

critero	Indicatore	Servizio diretto	Servizio via Cast. e Villaf.	Servizio AV/AC	
Prestazione	Velocità commerciale (km/h)	●●●	●●	37/21	●●
Prestazione	Affidabilità del servizio	●●●	●	---	●●
Accessibilità	Saliti BRT (pax/h)	●●	●	2.248	●●●
Accessibilità	Pax*km BRT (km)	●●	●	30.167	●●●
Accessibilità	Percorrenza media a bordo (km)	●●	●●●	13,4	●●●

Tabella 6.2: criteri e indicatori di valutazione per le soluzioni di modello di esercizio

Sulla base di tale valutazione, emerge chiaramente come l’alternativa di modello di esercizio che meglio risponde ai criteri di valutazione è quella articolata secondo due i due servizi AV e AC. Il modello risponde peraltro al concetto di “corridoio

infrastrutturato” di cui al paragrafo 5 che individua, all’interno del più ampio intervento infrastrutturale lungo la SP256, una rete di servizi che, per elementi distintivi, riconducibili prioritariamente a tipologia di fermate e caratteristiche dei mezzi, possa rappresentare un sistema BRT ad elevate prestazioni per il territorio di riferimento.

### 6.3.1 Metrobus Alta Velocità Medicina - Bologna

Il servizio AV si sviluppa sulla relazione Medicina – Bologna, tra il Centro di Mobilità di Medicina e l’Autostazione di Bologna (a brevissima distanza dalla Stazione Centrale di Bologna, principale Centro di Mobilità dell’area metropolitana bolognese) percorrendo la direttrice San Vitale secondo l’itinerario più diretto tra i due capolinea

Le corse Metrobus AV effettuano servizio solo nelle fermate principali, infrastrutturate per offrire livelli di servizi al passeggero superiori agli standard del TPL extraurbano. Le fermate previste per la linea Metrobus AV sono:

1. Centro di Mobilità di MEDICINA
2. Fermata BIVIO ROSSI
3. Fermata FASANINA
4. Fermata FOSSATONE
5. Fermata CANALETTI
6. Fermata TREBBO DI BUDRIO
7. Fermata CASTENASO STAZIONE
8. Fermata CASTENASO STELLINA
9. Fermata CA’ DELL’ORBO
10. Fermata VILLANOVA
11. Fermata ROVERI
12. Fermata PIAZZA DEI COLORI
13. Fermata TANGENZIALE S. VITALE
14. Fermata RIMESSE
15. Fermata OSPEDALE S. ORSOLA ALBERTONI
16. Fermata PORTA S. DONATO
17. AUTOSTAZIONE

Il percorso ha uno sviluppo complessivo di 25,6 km e il tempo di viaggio previsto è di 40 minuti, per una velocità commerciale di circa 37 km/h.

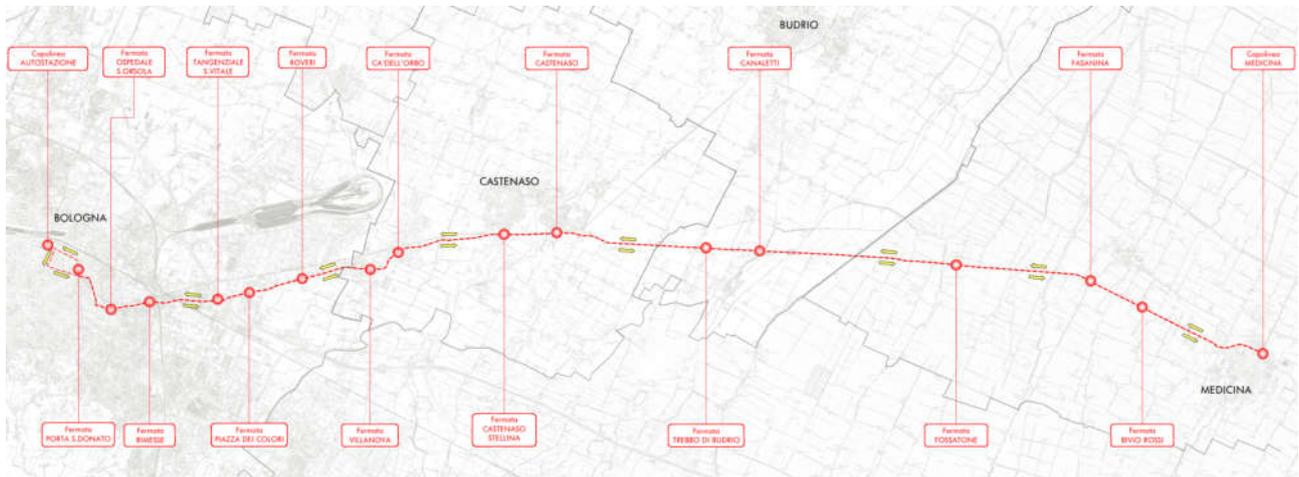


Figura 6-1. Schema di linea – Metrobus AV

Il modello d’esercizio di progetto prevede una estensione del servizio di 15,5 h/giorno e l’effettuazione di 43 corse/giorno/direzione, così ripartite:

- fascia di punta della mattina (2h): 6 corse/h/direzione
- fascia di punta della sera (2h): 4 corse/h/direzione
- fasce di morbida (11,5 h): 2 corse/h/direzione

In Figura 6-3 è riportato il modello d’esercizio completo mediante orario grafico.

I mezzi necessari, al netto delle scorte, sono 10.

Tutti i mezzi effettuano i fuori servizio diurni e notturni presso il capolinea e deposito presso il Centro di Mobilità di Medicina

### 6.3.2 Metrobus Alta Capacità Castenaso – Bologna

Il servizio AC si sviluppa sulla relazione Castenaso – Bologna, tra il capolinea di Castenaso Mazzini e l'Autostazione di Bologna. Il percorso segue la direttrice San Vitale, lungo il corridoio infrastrutturale condiviso con la linea a AV, fino alla località Ca' dell'Orbo per poi proseguire fino ad attraversare l'area urbana di Castenaso, bypassata dal tracciato più diretto della direttrice, fino ad attestarsi al capolinea Castenaso Mazzini.

Le corse Metrobus AC effettuano servizio in tutte le fermate del Metrobus AV e anche nel resto delle fermate servite dal servizio di TPL extraurbano ordinario. Di seguito l'elenco completo, in maiuscolo le fermate comuni al Metrobus AV:

1. Fermata Castenaso Mazzini
2. Fermata Castenaso Nasica
3. Fermata Castenaso Municipio
4. Fermata Frullo
5. Fermata Castenaso Centro Commerciale
6. Fermata Bargello Laghetto
7. Fermata Ca` Dell'Orbo Grandi
8. Fermata Ca` Dell'Orbo Zona Industriale
9. Fermata CA' DELL'ORBO
10. Fermata Villanova Tosarelli
11. Fermata VILLANOVA
12. Fermat Resto del Carlino
13. Fermata ROVERI
14. Fermata Caserma Chiarini
15. Fermata PIAZZA DEI COLORI
16. Fermata TANGENZIALE S. VITALE
17. Fermata Grattacielo
18. Fermata Parco
19. Fermata RIMESSE
20. Fermata Massarenti
21. Fermata OSPEDALE S. ORSOLA ALBERTONI
22. Fermata Bologna Zanolini
23. Fermata PORTA S. DONATO
24. Fermata Porta Mascarella
25. AUTOSTAZIONE

Il percorso ha uno sviluppo complessivo di 12,8 km e il tempo di viaggio previsto è di 36 minuti, per una velocità commerciale di circa 21 km/h.

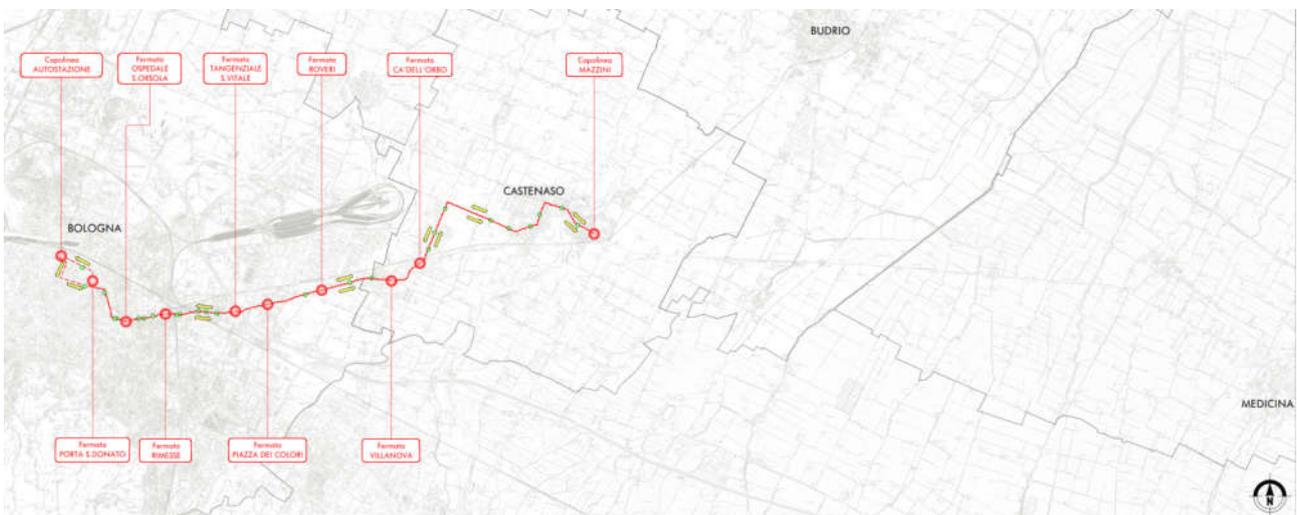


Figura 6-2: Schema di linea – Metrobus AC

Il modello d'esercizio di progetto prevede una estensione del servizio di 15 h/giorno e l'effettuazione di 34 corse/giorno/direzione, così ripartite:

- fascia di punta della mattina (2h): 4 corse/h/direzione
- fascia di punta della sera (2h): 2 corse/h/direzione
- fasce di morbida (11 h): 2 corse/h/direzione

In Figura 6-4 è riportato il modello d'esercizio completo mediante orario grafico.

I mezzi necessari, al netto delle scorte, sono 6. Tutti i mezzi effettuano i fuori servizio diurni ai capolinea o al deposito di Due Madonne; il fuori servizio notturno è effettuato da tutti i mezzi al deposito di Due Madonne.

### BOLOGNA AUTOSTAZIONE - MEDICINA CM

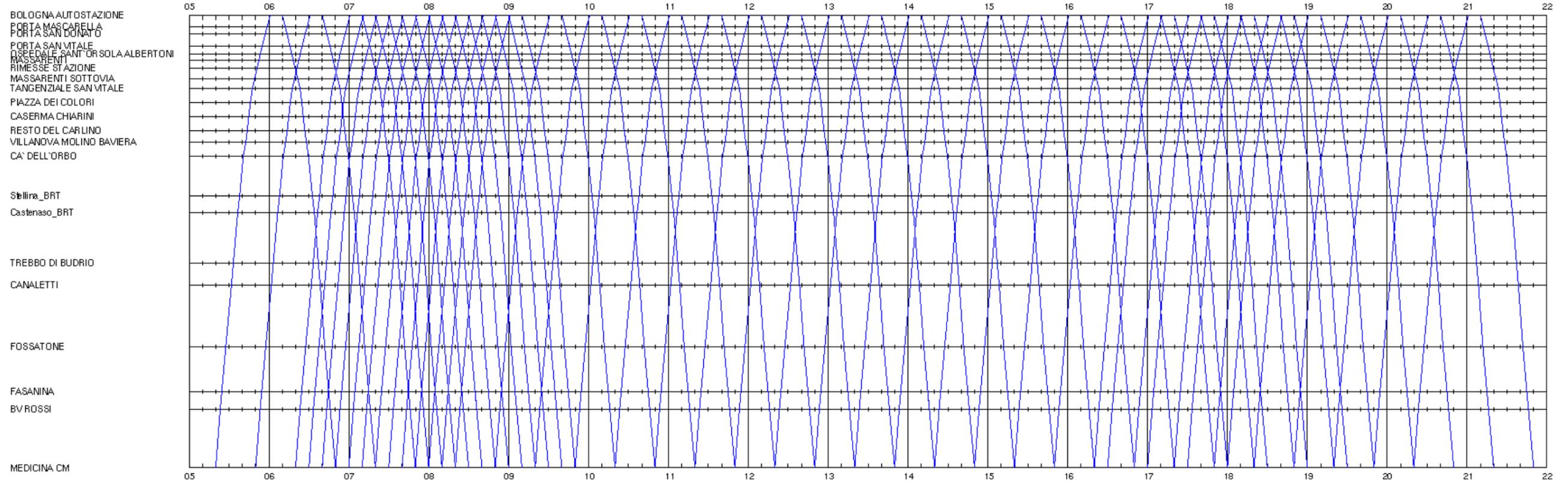


Figura 6-3. Rappresentazione mediante orario grafico del modello d'esercizio previsto per la linea Metrobus AV

### BOLOGNA AUTOSTAZIONE - CASTENASO MAZZINI

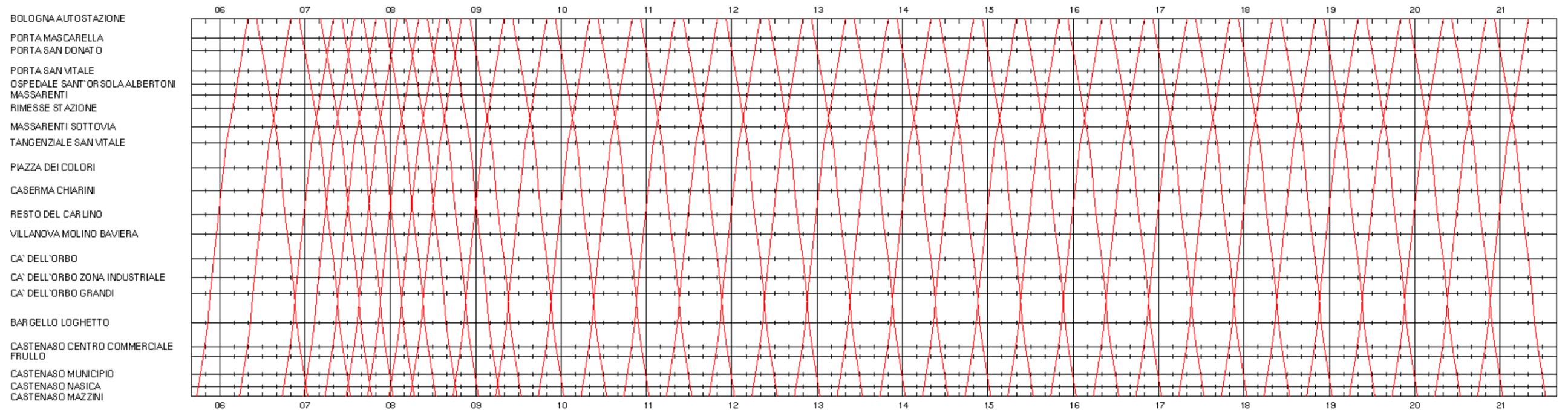


Figura 6-4. Rappresentazione mediante orario grafico del modello d'esercizio previsto per la linea Metrobus

#### 6.4 La scelta della tecnologia: parco mezzi e infrastruttura di ricarica

La scelta della tecnologia, con riferimento sia al parco mezzi sia alle infrastrutture di ricarica, risponde ai criteri di cui al paragrafo 5.3.1 ovvero accessibilità, flessibilità e costi, ma tiene necessariamente conto degli aspetti legati alle scelte sul modello di esercizio di cui al paragrafo precedente.

In particolare, il processo di scelta è stato sviluppato secondo due passaggi successivi e consequenziali che hanno tenuto conto di alcuni elementi preliminari:

- il **contesto tecnologico attuale** è caratterizzato da un rapido sviluppo volto a individuare soluzioni che:
  - da un lato riducano l'impatto estetico, ambientale e urbanistico, minimizzino le zone di rispetto, con maggiore possibilità di superamento degli ostacoli, riducano gli impatti sulla circolazione in caso di condizioni meteo avverse (neve, ghiaccio);
  - dall'altro lato non esiste uno standard tecnico universalmente affermato e condiviso, ossia una soluzione ottimale per costi e prestazioni, adatta a tutti gli scopi di intervento, che porta alla necessità di individuare spesso soluzioni *tailored*, applicabili con difficoltà a sistemi esistenti (a meno di modifiche a veicoli e infrastrutture) e con costi di implementazione dell'infrastruttura, di acquisto dei veicoli e della manutenzione più alti rispetto a soluzioni di tipo tradizionale;
- il **contesto territoriale**, per lo più periurbano o extraurbano, in cui si colloca il Metrobus costituisce un "ambiente" che pone delle questioni rilevanti in tema di realizzazione di infrastrutture per la ricarica continua o per quella "flash": cavalcavia esistenti, paesaggio, ambiti rurali o di piccoli centri determinano vincoli geometrico-funzionali o paesaggistici tali da incidere pesantemente sulle scelte di progetto;
- il **contesto urbano** della città di Bologna, che vive un periodo di importante e rapida evoluzione dal punto di vista della mobilità, anche per l'introduzione delle linee tranviarie rispetto alle quali il Metrobus dovrà necessariamente trovare spazi di:
  - **integrazione**, sia dal punto di vista trasportistico (tema affrontato in altri ambiti di questo studio) sia in riferimento agli aspetti di alimentazione;
  - **flessibilità** del servizio laddove la linea potrà subire nel futuro deviazioni temporanee ma di lungo periodo per lavori e cantieri legati alla realizzazione della rete tranviaria;
- la **tipologia di mobilità** cui il sistema risponde, a carattere periurbano ed extraurbano, con una percorrenza media attorno ai 19 km (cfr. Tabella 6.1) che necessita di allestimenti interni caratterizzati da una numerosità di posti a sedere sensibilmente superiore ai mezzi impiegati in campo urbano, che limitano la disponibilità di spazio per l'alloggiamento dei accumulatori di carica.

##### 6.4.1 La scelta del mezzo

In tal senso, il primo *step* di valutazione ha considerato le due macro classi di soluzione alternative relative al filobus con tecnologia In Motion Charge, e al bus elettrico (ebus). Si rimanda al documento specifico di descrizione degli aspetti tecnologici, economici e di parco rotabile mentre qui alla Tabella 6.3 si riporta la valutazione di tipo qualitativo che mette in luce i seguenti elementi:

- premesso che la soluzione di filovia tradizionale, per le considerazioni preliminari di cui sopra, è stata presa in considerazione e scartata a priori, la soluzione filobus IMC risulta poco flessibile a necessità di modifica della rete oggi prevedibili ancorché non definibili nel dettaglio, e sicuramente costosa per la costruzione dell'infrastruttura (filovia);
- le due soluzioni risultano sostanzialmente equivalenti in relazione sia al costo del mezzo sia alla capacità dello stesso in termini di allestimento e posti a sedere;
- l'ebus possiede il grande vantaggio della flessibilità, a fronte dei vincoli imposti dalla sua autonomia che si traduce in un costo di realizzazione dei punti di ricarica.

Di fatto, l'alternativa scelta è riconducibile all'ebus, laddove è stato attribuito, seppur in via qualitativa, un "peso" rilevante al criterio della flessibilità e considerando i vincoli paesaggistici che rendono inapplicabile la realizzazione di filovie nei contesti urbanistici attraversati.

Criteri	Indicatori	eBUS	Filobus IMC	Note
Flessibilità	Flessibilità della rete/infrastruttura	●●●	● (* )	(* ) in base alla necessità ed alle prospettive di modifica della rete
Costi	Costi costruzione rete	●●●	●	
Costi	Costi infrastruttura di ricarica	●	●●●	
Costi	Costi acquisto mezzo	●●	●●	
Accessibilità	Autonomia mezzo	●	●●● **	(**) solo se la rete permette lo sfruttamento della tecnologia IMC
Accessibilità	Capacità mezzo di trasporto	●●	●●	

Tabella 6.3: confronto sintetico tra soluzione filobus e ebus

Nello specifico i mezzi scelti sono bus elettrici snodati da 18 m, alimentati da batterie. Gli allestimenti interni saranno diversificati in funzione della tipologia del servizio svolto:

- con prevalenza di posti a sedere per i mezzi impiegati sulla linea **Metrobus AV**, per un totale di 100 posti offerti (58 a sedere, 41 in piedi e 1 posto PRM),
- con prevalenza di posti in piedi e per i mezzi impiegati sulla linea **Metrobus AC**, per un totale di 120 posti offerti (48 a sedere, 71 in piedi e 1 posto PRM)

Il fabbisogno di materiale rotabile è stato stimato in base alle ipotesi di turnazione dei mezzi riportate, con colori diversi per le corse effettuate da ciascun mezzo, in Figura 6-5 e Figura 6-6.

BOLOGNA AUTOSTAZIONE - MEDICINA CM

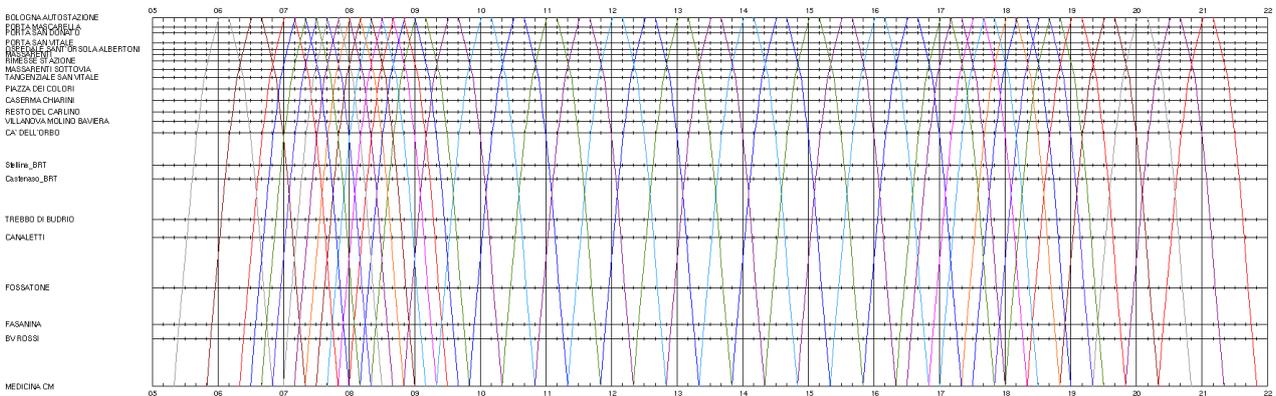


Figura 6-5. Ipotesi di turnazione dei mezzi - Linea Metrobus AV<sup>1</sup>

<sup>1</sup> L'ipotesi di turnazione dei mezzi tiene conto anche delle esigenze di soste per ricarica dei mezzi

BOLOGNA AUTOSTAZIONE - CASTENASO MAZZINI

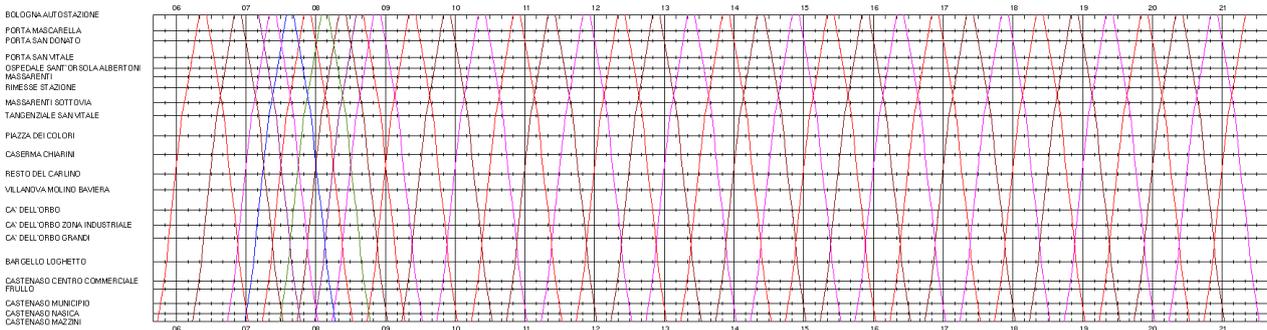


Figura 6-6. Ipotesi di turnazione dei mezzi - Linea Metrobus AC<sup>2</sup>

Tenuto conto delle scorte necessarie per poter far fronte ai fermo-macchina per esigenze manutentive (10%), il fabbisogno di mezzi risulta complessivamente pari a:

- 10 mezzi in servizio + 1 mezzo di scorta, per la linea Metrobus AV
- 6 mezzi in servizio + 1 mezzo di scorta, per la linea Metrobus AC

#### 6.4.2 La scelta dei sistemi di ricarica

Individuata la soluzione con ebus, il successivo step di valutazione è relativo alla scelta tra tre diverse tipologie (cfr. paragrafo 5.3) qui richiamate per maggiore chiarezza, ovvero:

- Tipo A: solo eBus con massima capacità batterie, nessuna stazione di ricarica veloce in linea ma solo in deposito;
- Tipo B: eBus con massima capacità batterie e stazioni ricarica in corrispondenza di uno o entrambe i capolinea;
- Tipo C: eBus con minima capacità batteria e stazioni di ricarica flash lungo percorso.

Premesso che per una descrizione di dettaglio degli aspetti strettamente tecnici ed economici dei sistemi di ricarica si rimanda al documento specifico, di fatto le tipologie differiscono per modalità e punto di ricarica e sono state valutate secondo criteri riconducibili ai medesimi di cui sopra (flessibilità, costo, accessibilità) ma scegliendo indicatori di dettaglio, ritenuti dirimenti delle diverse alternative (cfr. Tabella 6.4):

- accessibilità, espresso in termini di capacità offerta del mezzo, che è correlata al volume occupato dalle diverse tipologie di batterie;
- flessibilità, in relazione a:
  - possibili vincoli temporanei sulla linea per cantierizzazioni o eventi in generale che possano richiedere un de-routing rilevante con impatto sulla fruibilità dei punti di ricarica;
  - vincoli infrastrutturali stabili lungo la linea che possano rendere difficoltoso l'inserimento frequente di punti di ricarica;
- costo, chiaramente inteso nelle sue diverse articolazioni.

Ora, dal punto di vista della capacità del mezzo, le soluzioni B e C risultano essere migliori della A e tra loro equipollenti. La soluzione A soffre di un volume batterie particolarmente importante che compromette la capacità del bus, specie in riferimento alle caratteristiche dell'allestimento di tipo extraurbano chiaramente più "rigido" per via della numerosità di sedute.

Con riferimento alla flessibilità, chiaramente la soluzione A è quella che garantisce il valore massimo mentre la C sarà comunemente vincolata a "passare" per i diversi punti di ricarica flash del percorso. Il tema progettuale diventa quindi vincolato e necessita di una eventuale ottimizzazione della dislocazione dei punti di ricarica rispetto alla loro probabilità di trovarsi lungo tratte soggette a modifiche future; e questo sia che si tratti di variazioni indotte da modifiche infrastrutturali sia da deviazioni per vincoli temporanei sulla linea.

Da questo punto di vista, e anche in correlazione al complesso tema dei costi, è necessario un approfondimento specifico. Un recente studio condotto da McKinsey<sup>3</sup> pone in evidenza come la valutazione dei costi per questo tipo di tecnologie presenta alcune caratteristiche "di sistema" correlate principalmente a:

<sup>2</sup> L'ipotesi di turnazione dei mezzi tiene conto anche delle esigenze di soste per ricarica dei mezzi

<sup>3</sup> <https://www.mckinsey.com/industries/oil-and-gas/our-insights/the-european-electric-bus-market-is-charging-ahead-but-how-will-it-develop#>

1. tipologia del servizio e del relativo modello di esercizio in termini di:
  - a. densità delle fermate e relative interdistanze;
  - b. posizione dei capolinea e delle aree di deposito;
2. tipologia del traffico in termini di livelli e frequenza dei fenomeni di congestione.

In linea generale è utile confrontare i diagrammi di andamento “tipico” della carica rispettivamente per il sistema con ricarica lunga e unica in deposito e per quello misto con anche stazioni di “opportunity charging” lungo la linea ,riportato in Figura 6-7. Come si può notare:

- la soluzione con ricarica in deposito presenta costi di batteria elevati (e volumi occupati elevati come già messo in evidenza) a fronte di un costo presumibilmente inferiore di infrastrutture di ricarica;
- la soluzione con ricarica “mista” permette batterie meno costose e meno voluminose, a fronte di un maggior costo di realizzazione e manutenzione delle stazioni di ricarica.

Strategy	Depot Overnight only	Opportunity Overnight and mid-day recharging
Charger type	Depot: 30 up to 150 kW (for buses with high range)	Depot: 30-50 kW Opportunity: 150/300/450/600 kW (e.g. at end-stop or terminal)
Charging technology	☛ Mostly plug-in	☞ Mostly pantograph ☛ Plug-in (less common) ☞ Induction (less common)
Load profile (illustrative)		
Typical range	100-250 km/day	200-500 km/day
Cost drivers	1 Higher battery cost 2 Lower charging infrastructure cost, unless an expensive depot charger of 100+ kW is required to fully recharge during night (instead of cheaper 30-50 kW)	1 Lower battery cost 2 Higher charging infrastructure cost 3 Slightly higher maintenance cost

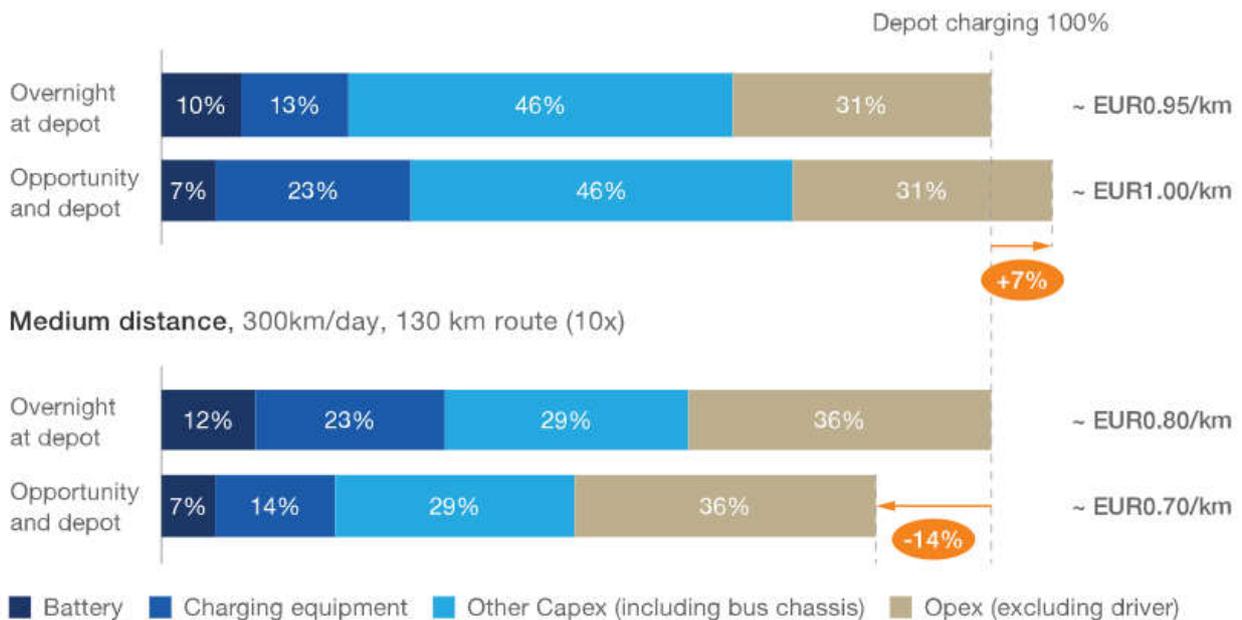
Figura 6-7: comparazione tra sistema con sola ricarica in deposito e sistema con ricarica in deposito + opportunity charging

D’altro lato, tali considerazioni devono essere viste in un contesto più ampio di tipologia del servizio e del relativo modello di esercizio. Lo studio mette infatti in evidenza come (cfr. Figura 6-8) :

- per i percorsi brevi, ovvero entro i 150 km/gg, il costo complessivo del sistema – batterie stazioni di ricarica e manutenzione – è tale da risultare più conveniente il sistema con sola ricarica in deposito;
- per percorsi lunghi, ovvero entro i 300 km/gg, tale convenienza si inverte e il sistema “misto” presenta un costo complessivo medio a km inferiore di quasi il 15% rispetto a quello con sola ricarica in deposito: il sistema [...] consente una batteria significativamente più piccola e un caricabatterie a basso costo in deposito. Per ricaricare una batteria con un'autonomia di oltre 300 km, un semplice caricabatterie da 50 kW è sufficiente se combinato con una “opportunity charging”, mentre la ricarica solo in deposito richiederebbe un caricabatterie da 150 kW più costoso. La velocità ottimale per la “opportunity charging” (ad esempio 150 o 450 kW) dipende dalla distanza di guida giornaliera totale e dal tempo di sosta lungo il percorso. Poiché si prevede che il costo delle batterie diminuirà a una velocità simile a quella dei punti di ricarica, la strategia di ricarica più economica non dovrebbe cambiare nel tempo [...].

L’analisi non considera il costo del personale di guida, ovvero sviluppa le stime a numerosità di turni bloccata.

Short distance, 150km/day, 15 km route (10x)



Medium distance, 300km/day, 130 km route (10x)

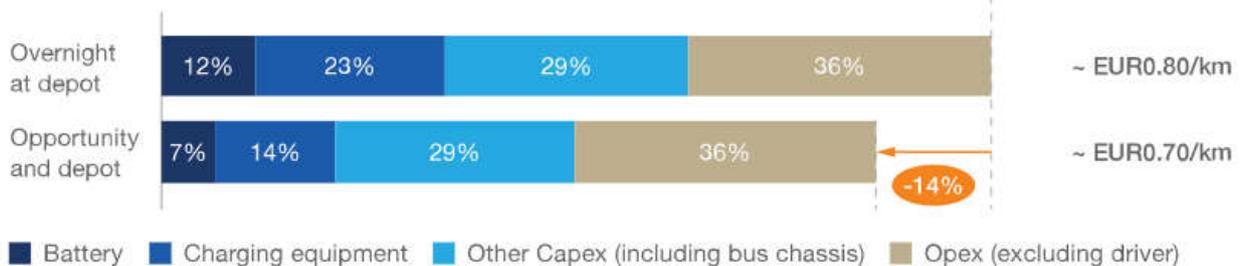


Figura 6-8: valutazione dei costi per le diverse tipologie di ricarica in funzione del modello di esercizio

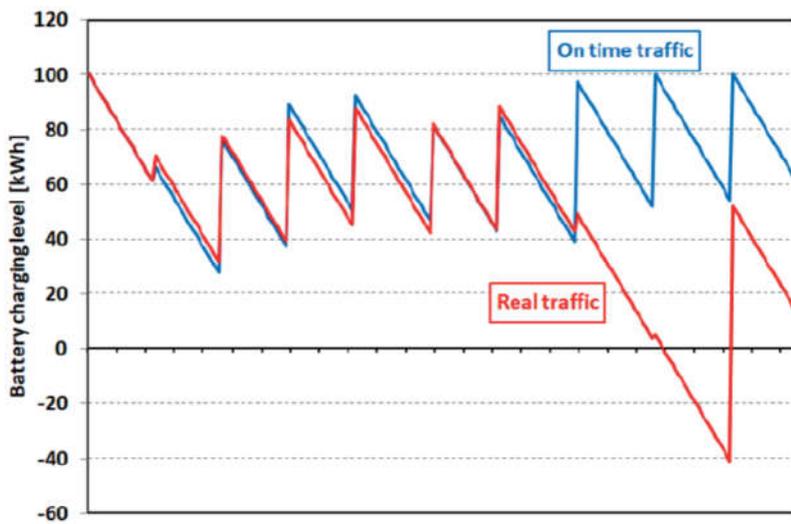


Figura 6-9: diagramma esemplificativo degli impatti da traffico sul diagramma di carico degli accumulatori (Fonte UITP)

Infine, si riporta una analisi dell’UITP<sup>4</sup> relativa al diagramma “tipo” di carica della batteria lungo il percorso, con riferimento agli impatti del traffico (cfr. Figura 6-9). In tal senso, le predette tipologia del traffico in termini di livelli e frequenza dei fenomeni di congestione assumono una rilevanza forte per l’affidabilità e la flessibilità del servizio che ovviamente trovano nella soluzione “mista” una soluzione più robusta e stabile.

Le considerazioni sin qui esposte, messe in relazione con le caratteristiche della linea, trovano una sintesi nella tabella di seguito, dove, appunto, si mette in evidenza la differenza di costo per tipologia e numerosità dei punti di ricarica delle diverse soluzioni.

Di fatto, l’alternativa che meglio coniuga le esigenze di progetto ai vincoli della rete e al modello di esercizio di cui al precedente paragrafo (che prevede un turno critico AV da 412 km e AC da 258) è la tipologia B.

Come si vedrà nel capitolo conclusivo, la soluzione scelta, dal punto di vista infrastrutturale, è ascrivibile al modello con ricarica alle sole aree di capolinea e deposito ma, grazie ad un modello di esercizio opportunamente sviluppato per garantire ricariche rapide a inizio corsa, dal punto di vista funzionale è ascrivibile al modello “misto”. In tal senso la scelta coglie l’opportunità di risparmio in infrastruttura e manutenzione, garantendo in ogni caso affidabilità e robustezza del servizio, oltre a economicità del sistema batterie.

<sup>4</sup> “In motion charging innovative trolleybus”, Maggio 2019

critério	indicatore	Tipo A	Tipo B	Tipo C
accessibilità	Capacità di trasporto mezzo	Minima a causa massima massa lorda ●	Dimensionabile in funzione capacità (massa) batterie ●●●	Dimensionabile in funzione capacità (massa) batterie ●●●
flessibilità	Flessibilità modifiche infrastrutturali	Qualsiasi modifica possibile ●●●	Vincolata dalle sole stazioni ai capolinea ●●	Minima a causa presenza stazione fisse flash ●
flessibilità	Rischi autorizzazione costruzione per presenza di vincoli in linea	Nessuno vincolo ●●●	Rischio medio determinato dalle sole stazioni ai capolinea ●●	Massimo rischio ●
costo	Numero veicoli flotta	Necessità di flotta massima a causa bassa autonomia ●	Flotta minima ●●●	Flotta minima ●●●
costo	Costi infrastrutturali linea	Nessuno costo ●●●	Determinato dalle sole stazioni ai capolinea ●●	Costi massimi a causa presenza stazione fisse flash ●
costo	Costi infrastrutturali in deposito	Massimo costo cause potenze ricarica ●	Necessità di potenze installate minori rispetto a Tipo A ●●	Nessuno costo ●●●
costo	Potenze elettriche concentrate (costi derivanti)	Massima potenza elettrica richiesta in un punto – Costi installazione cabina e linea MT/BT massimi ●	Potenza delle varie stazioni di ricarica calibrata in funzione delle necessità di servizio – Costo medio ●●	Costo nullo in deposito ma elevate potenze nelle stazioni di ricarica flash ●

Tabella 6.4: confronto tra soluzioni alternative di tipologia di ricarica

## 7 Conclusioni

Alla luce delle considerazioni sviluppate, è possibile quindi indicare come la soluzione scelta sia caratterizzata da un “sistema BRT” articolato secondo due servizi distinti ma in parte coincidenti, denominati rispettivamente AV Medicina – Bologna e AC Castenaso – Bologna come in **Figura 7-3** e **Figura 7-4**.

**I servizi percorrono un “sistema infrastrutturato” che garantisce elevate prestazioni, riconoscibilità del servizio, elevata accessibilità alle fermate, concepite come vere e proprie “piattaforme” di accesso al sistema secondo un approccio “MaaS oriented” che favorisce la “user experience”.**

Tale soluzione prevede la realizzazione dei punti di ricarica in corrispondenza di:

- capolinea di Medicina, di Bologna autostazione per il servizio AV (cfr. Tabella 7.1);
- capolinea di Castenaso e deposito di Due Madonne per il servizio AC (Tabella 7.2).

La soluzione, grazie ad un opportuno modello di esercizio come già descritto rispettivamente alla **Figura 6-3** e **Figura 6-4** garantisce realizzabilità e l’affidabilità del servizio, secondo i profili di carico e scarico di cui alla **Tabella 7.3** e diagramma di **Figura 7-5** per il servizio AV e **Tabella 7.4** e diagrammi **Figura 7-6** per il servizio AC. Le tabelle in particolare riportano una simulazione del profilo di carica della batteria per il profilo della “corsa critica” di cui alle seguenti **Figura 7-1** e **Figura 7-2**, rispettivamente per il servizio AV e AC. Per ogni tabella si è riportato in particolare il valore della:

- capacità residua, espressa in kWh e calcolata come differenza tra la capacità a inizio e fine corsa, sulla base di un consumo a km ipotizzato pari a 2,6 kWh/km per il servizio AV e 2,8 kWh/km per quello AC, a causa della maggiore numerosità di fermate lungo la linea;

- % carica, espressa come rapporto tra la capacità residua e quella massima ipotizzata pari a 450KW;
- distanza percorsa, espressa in km, e relativa alla singola corsa;
- consumo di energia, espresso in kWh e calcolato come prodotto del predetto consumo specifico, espresso in Kwh/km, e la distanza percorsa per la lunghezza della corsa;
- ricarica della batteria, espressa in kWh e calcolata come prodotto del tempo di ricarica, espresso in minuti, e la capacità di ricarica ipotizzata come pari a 5 kWh/minuto;
- tempo ricarica, ipotizzato all'interno dell'intervallo di tempo di fermata al capolinea, tenendo conto di un margine che consideri un eventuale ritardo. In particolare, per il servizio AV si considera una aleatorietà del tempo di arrivo al capolinea per eventuali ritardi di 5 minuti, ridotti a 3 per le corse della linea AC;
- distanza "cumulata" percorsa dal mezzo durante il servizio, espressa in km.

BOLOGNA AUTOSTAZIONE - MEDICINA CM

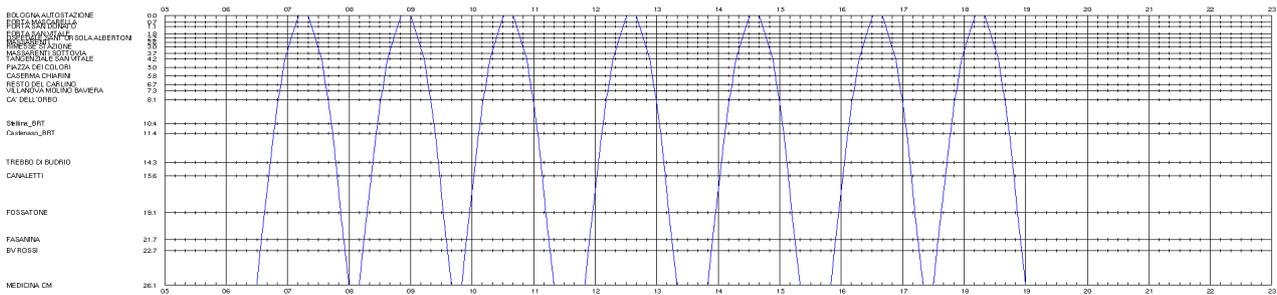


Figura 7-1: Turno macchina critico per la Linea Metrobus AV

BOLOGNA AUTOSTAZIONE - CASTENASO MAZZINI

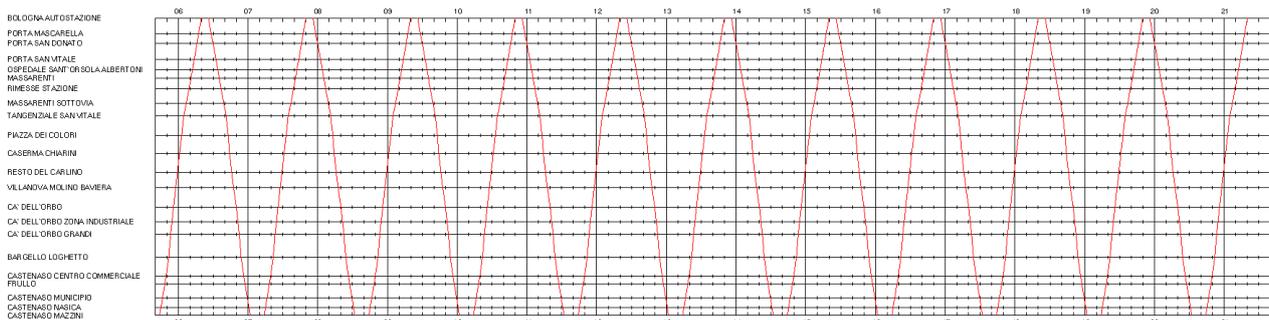


Figura 7-2: Turno macchina critico per la Linea Metrobus AC

Il modello di esercizio e il modello di ricarica del mezzo sono coerenti fra loro e progettati in modo da non scendere mai sotto il valore "soglia" delle 30% di ricarica della batteria, ottimizzandone l'uso e prolungando la sua vita utile.

Le tabelle di seguito evidenziano le caratteristiche delle singole stazioni di ricarica; si rimanda al documento di descrizione del materiale rotabile per ulteriori approfondimenti.

Punto di ricarica	Luogo di ricarica	Tempo di ricarica	Tipo stazione di ricarica
Luogo di inizio/fine turno:	Medicina	9 ore	10 x 50 kW (Lenta)
Capolinea 1:	Medicina	10'/30'	1 x 300 kW (Veloce)
Capolinea 2:	Bologna Autos.	< 10'	1 x 300 kW (Veloce)(*)
Officina Manutentiva:	Bologna Due Madonne	-	1 x 300 kW (Veloce)(**)

Tabella 7.1: stazioni di ricarica servizio AV Medicina

Punto di ricarica	Luogo di ricarica	Tempo di ricarica	Tipo stazione di ricarica
Luogo di inizio/fine turno:	Bologna Due Madonne	9 ore	10 x 50 kW (Lenta)
Capolinea 1:	Castenaso	15'	1 x 300 kW (Veloce)
Capolinea 2:	Bologna Autos.	< 10'	1 x 300 kW (Veloce)(*)
Officina Manutentiva:	Bologna Due Madonne	-	1 x 300 kW (Veloce)(**)

Tabella 7.2: stazioni di ricarica servizio AC Castenaso

(\*) c/o Bologna Autostazione sono in prima istanza previste due Stazioni di ricarica veloce nel caso di due ricariche contemporanee sulla direttrice S. Vitale

(\*\*) Stazioni di ricarica VELOCE c/o Officina Bologna Due Madonne: 1 da 300 kW condivisa per entrambe le linee (necessaria per le attività manutentive: prove e/o verifiche sistema ricarica veloce bus)

In particolare, i diagrammi di seguito mostrano come:

- per il servizio AV, anche nella eventualità di poter effettuare biberonaggi limitati (5') ai capolinea per effetto di ritardi rispetto all'orario di servizio nelle fasce di punta, è comunque possibile sviluppare l'intero modello d'esercizio grazie ai maggiori tempi di sosta al capolinea di Medicina CM nelle fasce di morbida.;
- per il servizio AC il modello di esercizio permette di poter fare affidamento solo sulle ricariche veloci al capolinea di Bologna Autostazione. Ciò nonostante, grazie ridotta estensione della relazione servita, è possibile portare a termine il servizio facendo affidamento anche solo alle ricariche a Castenaso.

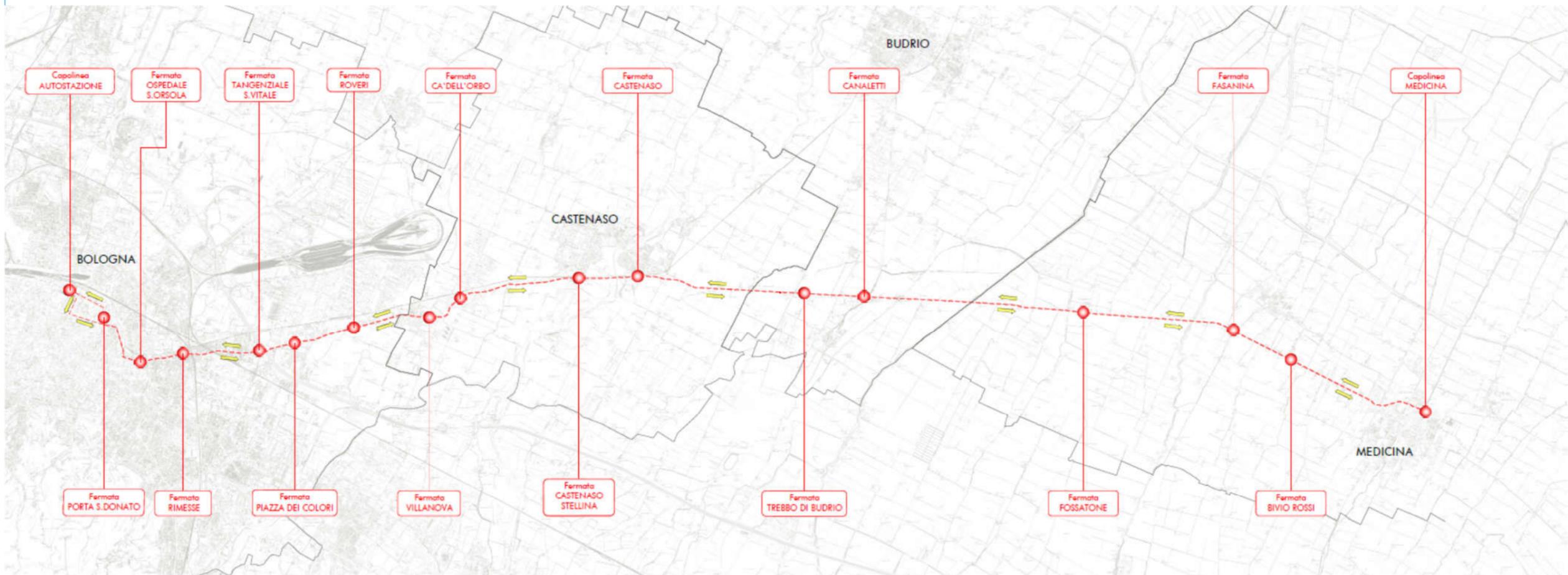


Figura 7-3: servizio AV Medicina – Bologna

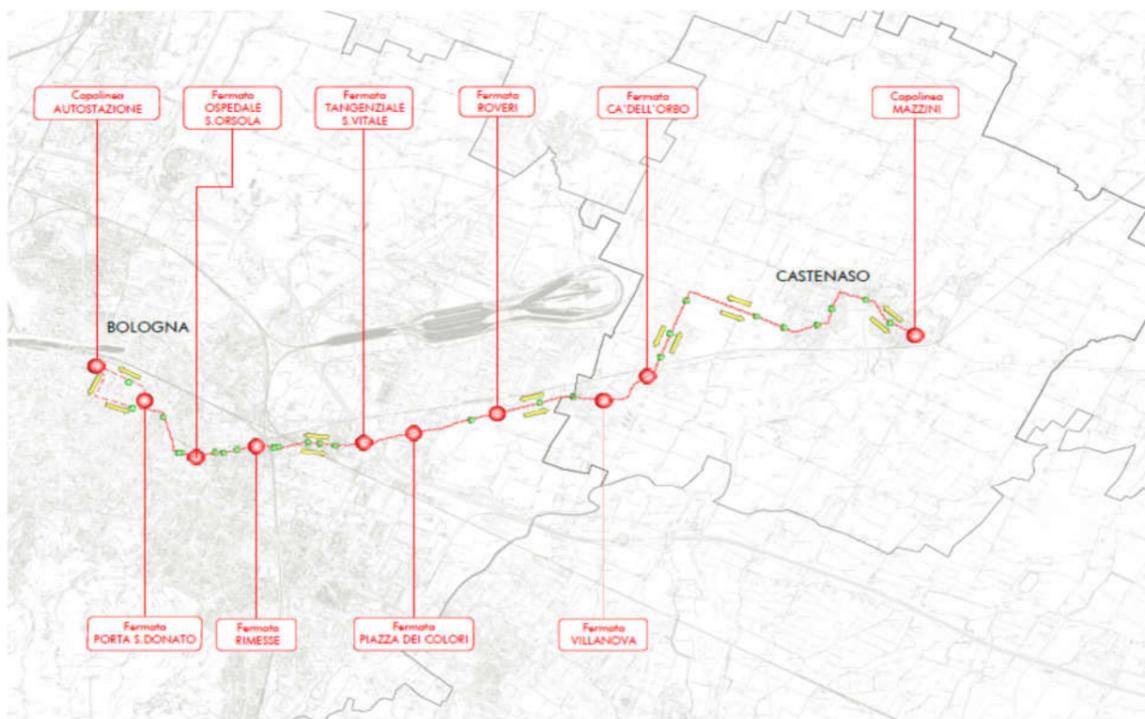


Figura 7-4: servizio AC Castenaso – Bologna

		corsa 1		corsa 2		corsa 3		corsa 4		corsa 5		corsa 6		corsa 7		corsa 8		corsa 9		corsa 10		corsa 11		corsa 12		corsa 13		corsa 14	
capacità residua kWh	450	385	410	344	369	304	329	264	289	224	249	183	308	243	268	203	328	263	288	222	347	282	307	242	267	202	227	161	
SOC (%)	100	85	91	77	82	68	73	59	64	50	55	41	69	54	60	45	73	58	64	49	77	63	68	54	59	45	50	36	
distanza km	0	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	
consumo kWh		65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	
ricarica kWh			25	25	25	25	25	25	25	25	25	125	25	125	25	125	25	125	25	125	25	125	25	25	25	25	25	25	
tempo ricarica			5	5	5	5	5	5	5	5	5	25	5	25	5	25	5	25	5	25	5	25	5	25	5	25	5	25	
km totali percorsi		25		50		75		100		126		151		176		201		226		251		276		301		326		351	
			BO		MED		BO		MED		BO		MED		BO		BO												

Tabella 7.3: modalità di ricarica in coerenza con modello di esercizio – servizio AV Medicina- Bologna – parte 1

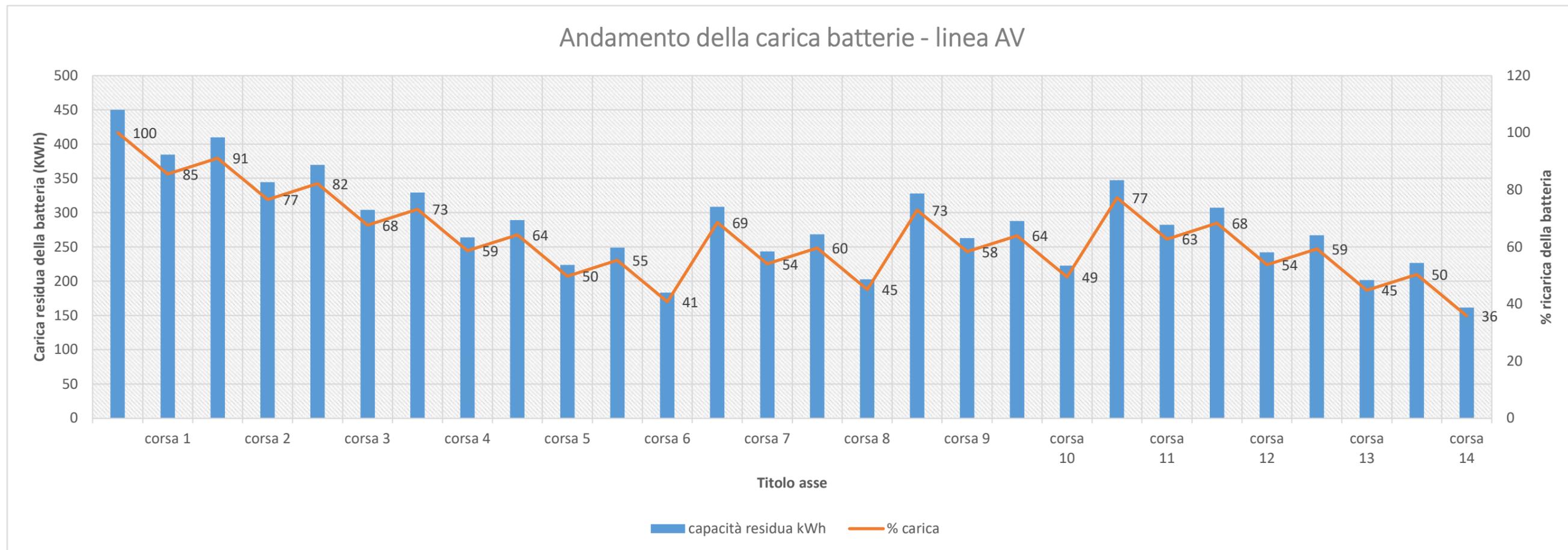


Figura 7-5: andamento della carica delle batterie per il servizio AV Medicina - Bologna

		corsa 1	corsa 2	corsa 3	corsa 4	corsa 5	corsa 6	corsa 7	corsa 8	corsa 9	corsa 10	corsa 11	corsa 12	corsa 13	corsa 14	corsa 15	corsa 16	corsa 17	corsa 18	corsa 19	corsa 20	corsa 21																				
capacità residua kWh	450	414	414	379	429	393	393	358	408	372	372	337	387	351	351	316	366	330	330	294	344	309	309	273	323	288	288	252	302	267	267	231	281	245	245	210	260	224	224	189	239	203
SOC (%)	100	92	92	84	95	87	87	80	91	83	83	75	86	78	78	70	81	73	73	65	77	69	69	61	72	64	64	56	67	59	59	51	62	55	55	47	58	50	50	42	53	45
distanza km	0	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	
consumo kWh		36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	
ricarica kWh		0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0		
tempo ricarica		0	10	0	10	0	10	0	10	0	10	0	10	0	10	0	10	0	10	0	10	0	10	0	10	0	10	0	10	0	10	0	10	0	10	0	10	0	10	0	10	0
km totali percorsi		13	25	38	51	64	76	89	102	114	127	140	152	165	178	191	203	216	229	241	254	267																				
	CAST	BO	CAST	BO	CAST	BO	CAST	BO	CAST	BO	CAST	BO	CAST	BO	CAST	BO	CAST	BO	CAST	BO	CAST	BO	CAST	BO	CAST	BO	CAST	BO	CAST	BO	CAST	BO	CAST	BO	CAST	BO	CAST	BO	CAST	BO	CAST	BO

Tabella 7.4: modalità di ricarica in coerenza con modello di esercizio – servizio AC Castenaso – Bologna – parte 1

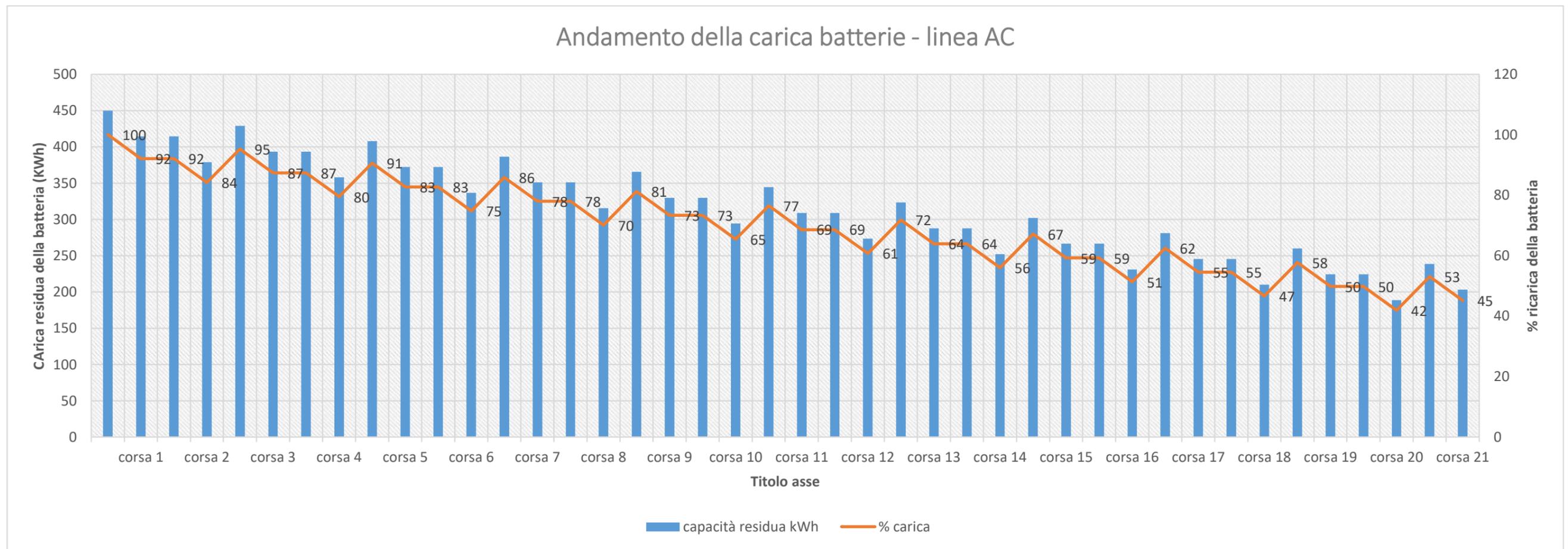


Figura 7-6: andamento della carica delle batterie per il servizio AC Castenaso- Bologna

## 8 Allegato

Le tavole che seguono evidenziano il percorso di scelte progettuali per i diversi “ambiti” di dettaglio ovvero:

- Ambito Castenaso: con riferimento alla Figura 8-2, Figura 8-3 si descrivono le alternative di progetto per il nodo di scambio con il servizio ferroviario alla stazione di Castenaso; alla Figura 8-4, Figura 8-5 si descrivono le alternative di progetto per il nodo di scambio con il servizio ferroviario alla stazione di Stellina; alla e Figura 8-6, Figura 8-7l e ipotesi di sistemazione del capolinea di Castenaso e delle relazioni con il trasporto pubblico della rete extraurbana;
- Ambito Cà dell’Orbo: con riferimento alla Figura 8-9 e Figura 8-10 si descrivono le opzioni di progetto per la sistemazione della fermata di Cà dell’Orbo;
- Ambito Villanova: con riferimento alla Figura 8-11, Figura 8-12 e Figura 8-13 si descrivono le opzioni di progetto per la sistemazione della fermata di Cà dell’Orbo.



Figura 8-1: inquadramento di progetto – fermate del BRT per l'accessibilità del centro di Castenaso

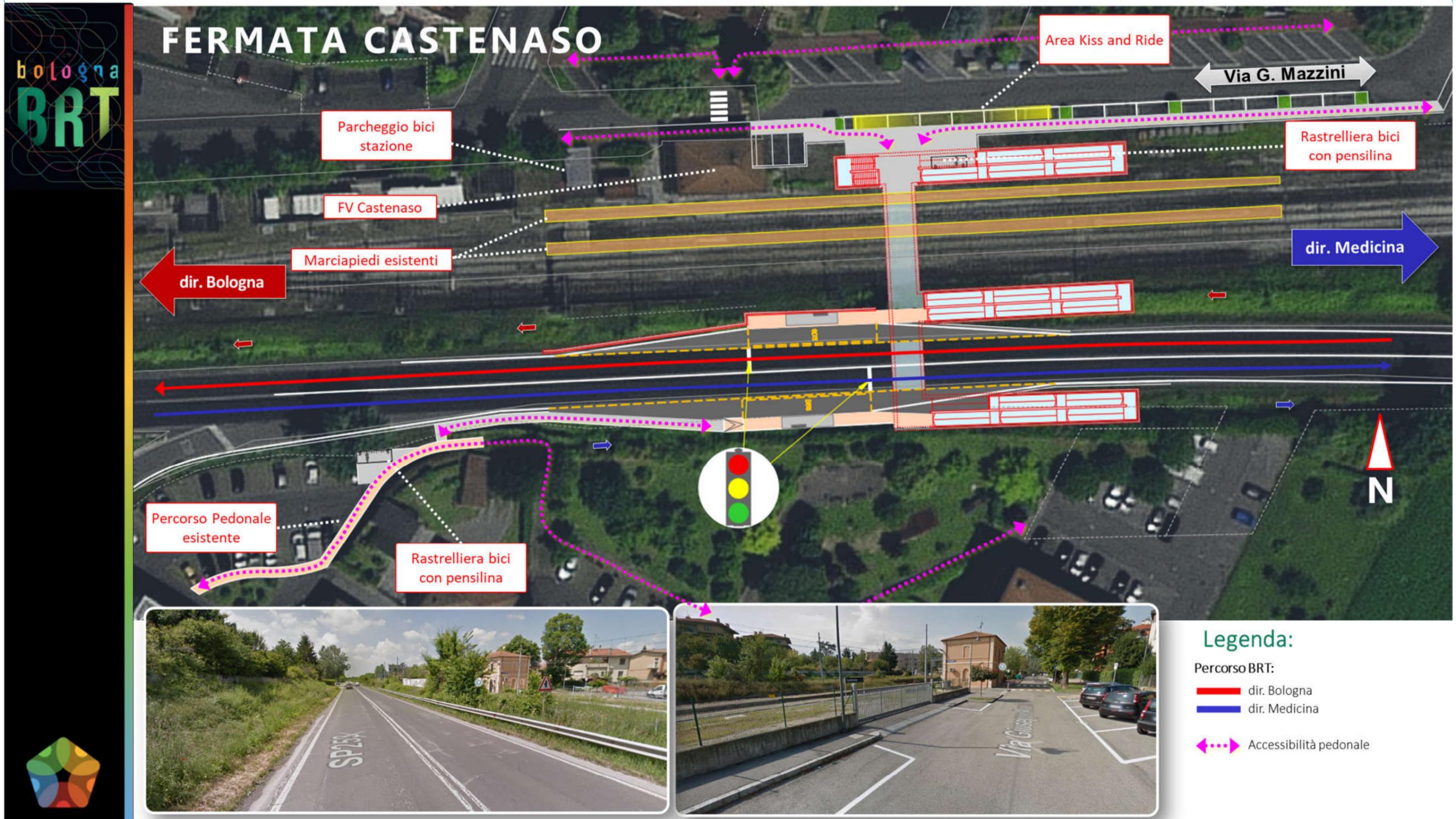


Figura 8-2: configurazione della Fermata Castenaso, in corrispondenza della stazione ferroviaria – ipotesi di collegamento diretto BRT-Treno con il solo marciapiede ferroviario nella direzione Da Bologna



Figura 8-3: configurazione della Fermata Castenaso, in corrispondenza della stazione ferroviaria – ipotesi di collegamento diretto BRT-Treno con il marciapiede ferroviario nelle due direzioni Da e Verso Bologna



Figura 8-4: configurazione della Fermata Stellina, in corrispondenza della stazione ferroviaria – ipotesi di collegamento diretto BRT-Treno con il solo marciapiede ferroviario nella direzione Da Bologna



Figura 8-5: configurazione della Fermata Stellina, in corrispondenza della stazione ferroviaria – ipotesi di collegamento diretto BRT-Treno con il marciapiede ferroviario nelle due direzioni Da e Verso Bologna



**Legenda:**

Percorso BRT:

- dir. Bologna
- dir. Medicina
- - - -> Cambio di direzione

Figura 8-6: configurazione del capolinea presso Castenaso centro e relazione con il TPL esistente.



Figura 8-7: configurazione del capolinea presso Castenaso centro e relazione con il TPL esistente.



Figura 8-8: inquadramento di progetto – fermate del BRT per l'accessibilità di Cà dell'Orbo



**Legenda:**

- Percorsi ciclabili:
- Esistente
  - In progetto BRT
  - In progetto a carico del comune
  - Possibile espansione futura lungo la direttrice San Vitale
  - Bike lane in progetto BRT
  - Bike lane futura espansione

Nel tratto di attraversamento della Z.I. di Cà dell'Orbo, si prevede la realizzazione su via Tosarelli di un tratto di corsia preferenziale in direzione Bologna. A partire da via Cà dell'Orbo all'interno della corsia preferenziale sarà realizzata la bike lane che consente di attuare le previsioni biciplan sulla direttrice S.Vitale.

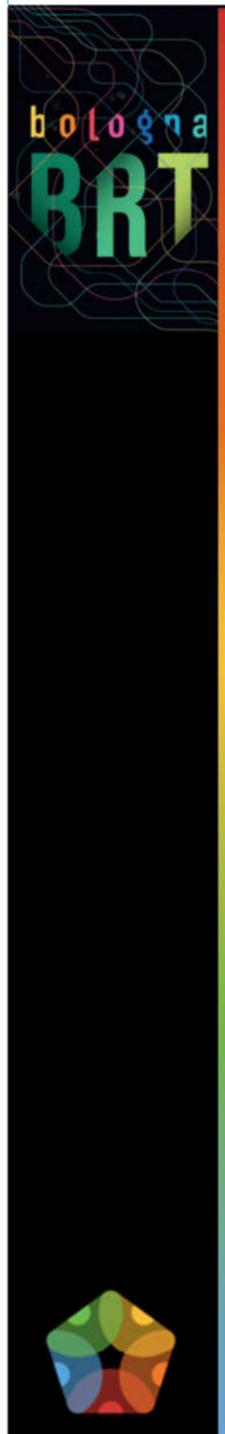
Figura 8-9: proposta di progetto alternativa 1 di Cà dell'Orbo



Figura 8-10: proposta di progetto alternativa 2 di Cà dell'Orbo



Figura 8-11: inquadramento di progetto – fermate del BRT per l'accessibilità di Villanova



Legenda:

- Percorsi ciclabili:
  - Esistente
  - In progetto BRT
  - In progetto a carico del comune
- Bike lane in progetto BRT
- Percorso pedonale

Figura 8-12: proposta di progetto alternativa 1 di Villanova



# FERMATA VILLANOVA: ZOOM FERMATE E PREFERENZIALE

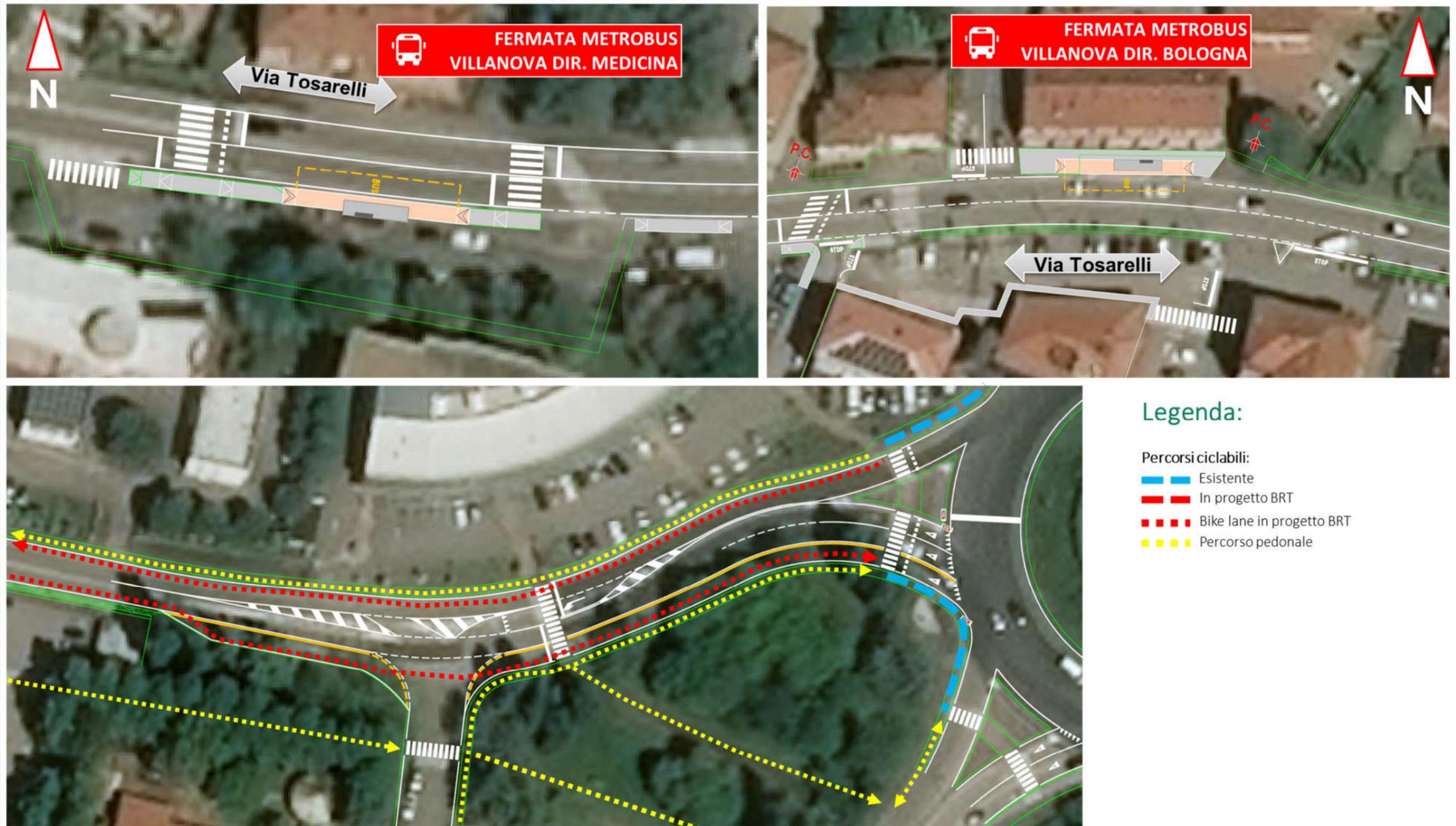


Figura 8-13: proposta di progetto alternativa 2 di Villanova