



Fabio Lamanna

via Cavalleggeri Treviso 13, 31100, Treviso

P. IVA: 02534880303 | C.F. LMNFBA77D21L483F

(+39) 320 6070544

fabio@fabiolamanna.it

www.fabiolamanna.it

ALLEGATO 5

Analisi di sensitività della capacità residua della rete viaria all'aumento della domanda veicolare

INDICE

1	ANALISI DI SENSITIVITÀ	3
1.1	METODOLOGIA DI CALCOLO	3
1.1.1	<i>Ipotesi di crescita della domanda di mobilità</i>	3
1.1.2	<i>Scenari di Analisi</i>	4
1.1.3	<i>Variazione nella scelta del mezzo di trasporto</i>	5
1.2	RISULTATI	6
1.3	IMPATTO AMBIENTALE	8
1.4	ANALISI DEGLI ARCHI STRADALI CRITICI	9
2	CONCLUSIONI	11

1 ANALISI DI SENSITIVITÀ

La presente relazione illustra i risultati relativi all'impatto sulla rete stradale dell'area metropolitana di Trieste di alcune ipotesi di aumento del traffico veicolare da Nord; attraverso un'analisi di sensitività si valuta quantitativamente come i principali assi stradale interessati dai flussi da Nord risultino critici e come il progetto della Cabinovia possa coadiuvare il trasferimento privato-pubblico in termini di mobilità e, come conseguenza diretta, alleviare i fenomeni di congestione.

1.1 Metodologia di calcolo

Per il calcolo degli indicatori trasportistici è stato utilizzato il modello multimodale di traffico in dotazione al Comune di Trieste (su base VISUM), aggiornato in ambito PUMS (2021).

1.1.1 Ipotesi di crescita della domanda di mobilità

Lo Scenario di mobilità individuato come base di calcolo in questa analisi è lo Scenario di Riferimento PUMS già utilizzato sia in ambito di pianificazione che negli studi della domanda potenziale di traffico sulla Cabinovia.

Operando già su uno scenario che vede la realizzazione di tutte le opere già pianificate e/o finanziate in ambito comunale (compresa la riqualificazione del Porto Vecchio), è stato realizzato quindi un ulteriore "stress test" su possibili ulteriori aumenti (anche stagionali) generati sia dal Porto Vecchio stesso che dalla zona centrale della città di Trieste, sia in ottica turistica che commerciale. Tali valori di riferimento sono stati individuati in due quote, una pari al 10% e una pari al 20% di aumento dei flussi provenienti da Nord (bacino di influenza per i carichi sulla Cabinovia). In particolare, sono state caricate nel modello di trasporto delle matrici a cui sono state aumentate le coppie O/D provenienti dai centroidi di cordone a Nord (zone 8001, 8002) e dalle zone dell'Altipiano Carsico afferenti al comune di Duino – Aurisina, Sgonico e Monrupino in direzione del Porto Vecchio (zona 9000) e all'aggregazione di zone in prossimità del Molo IV, Piazza Unità e Borgo Teresiano. In accordo alle analisi riportate in Figura 1, un ulteriore contributo al traffico in entrata da Nord è dato dall'abitato di

Opicina che è stata anch'esso trattato come un flusso principale da Nord, ed aumentato delle quote percentuali di cui sopra.

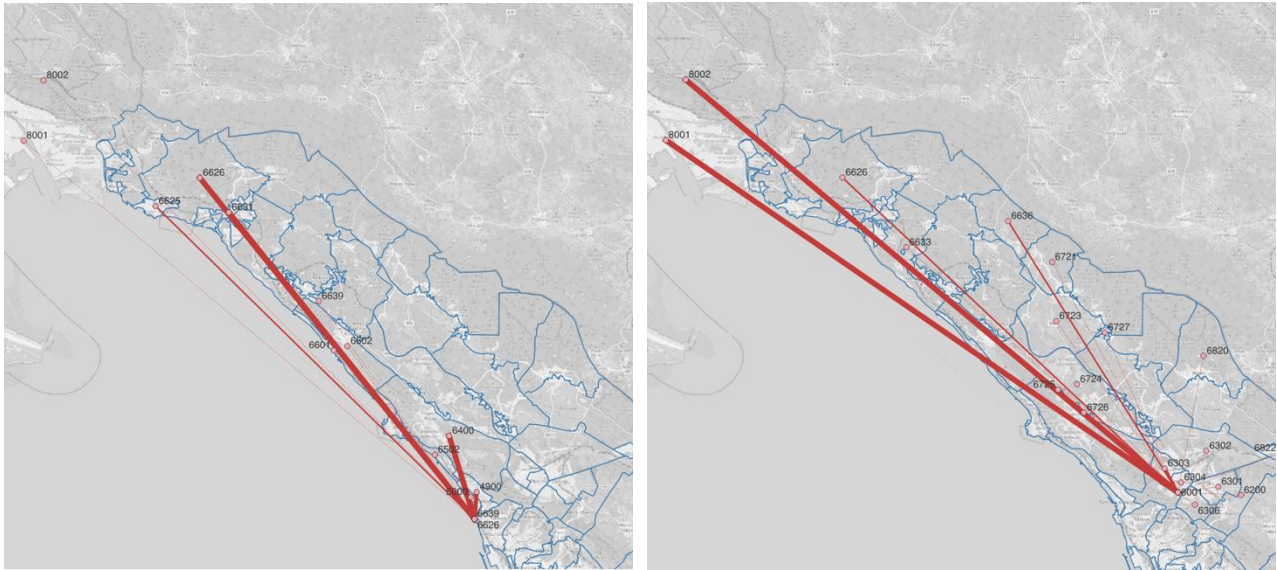


Figura 1 – Principali Zone di Generazione ed Attrazione della domanda sulla Cabinovia (interscambio ai parcheggi di Opicina e Park Bovedo)

1.1.2 Scenari di Analisi

Gli scenari di analisi risultanti sono quindi sei, rispettivamente senza il Progetto della Cabinovia:

- *Scenario Riferimento Base (quota di mobilità originaria)*
- *Scenario Riferimento +10% - aumento del 10% delle coppie O/D in ingresso da Nord, come definite in precedenza;*
- *Scenario Riferimento +20% - aumento del 20% delle coppie O/D in ingresso da Nord, come definite in precedenza.*

E con l'infrastruttura in esercizio:

- *Scenario Progetto Base (quota di mobilità originaria)*
- *Scenario Progetto +10% - aumento del 10% delle coppie O/D in ingresso da Nord, come definite in precedenza;*
- *Scenario Progetto +20% - aumento del 20% delle coppie O/D in ingresso da Nord, come definite in precedenza.*

A livello di valutazione dei risultati, è stato scelto il sottoinsieme di archi critici già evidenziato nell'Allegato 3, che sono quelli che hanno maggiore influenza negli spostamenti da Nord verso le zone centrali della città, e sui quali il progetto della Cabinovia interviene maggiormente.

1.1.3 Variazione nella scelta del mezzo di trasporto

Gli Scenari Incrementali sono stati quindi analizzati con le medesime ipotesi di aumento di domanda veicolare, associando il progetto della Cabinovia in esercizio, con le quote di trasferimento modale già stimate in condizioni base.

In questo contesto è stato applicato il Modello di Scelta Modale già utilizzato per il PUMS e per il progetto della Cabinovia Metropolitana. Tale modello probabilistico utilizza delle funzioni di utilità per valutare la convenienza dell'utente a scegliere un determinato modo di trasporto in funzione del costo generalizzato monetario (C), dei tempi di percorrenza (T), dell'eventuale trasbordo (TR) e di un ulteriore parametro di "inerzia" (β_{TPL}), che misura la resistenza dell'utente al mezzo pubblico anche in presenza di una convenienza dal punto di vista di tempi e costi. Le funzioni di utilità sono espresse nella forma seguente, rispettivamente per il Trasporto Privato U_{Tpr} e per quello pubblico U_{Tpl} :

$$U_{Tpr} = \beta_{tpr}T_{Tpr} + \beta_c C_{Tpr} ; U_{Tpl} = \beta_{tpl}T_{Tpl} + \beta_{ctpl}C_{Tpl} + \beta_{trs}TR + \beta_{TPL}$$

Tutti i vari parametri β sono stati calibrati in funzione della campagna di indagine sulla mobilità condotta nel 2019 nell'area metropolitana di Trieste. Le funzioni di utilità fluiscono quindi in un modello probabilistico LOGIT per ricavare la probabilità che un utente scelga il mezzo $m1$ rispetto al mezzo $m2$ nella forma: $P_{m1} = \frac{e^{U_{m1}}}{e^{U_{m1}} + e^{U_{m2}}}$.

Nel caso in esame, le condizioni al contorno rispetto allo Scenario di Riferimento e a quello di Progetto base (assunti in sede di calcolo dei passeggeri attratti dalla Cabinovia) variano in termini di tempi di percorrenza del traffico privato che, all'aumento delle situazioni di congestione, varia secondo una legge che lega il tempo di percorrenza al rapporto flusso/capacità:

$$t(f) = t_0 \left(1 + \alpha \left(\frac{f}{C} \right)^\beta \right)$$

Dove $t(f)$ è il tempo di percorrenza attuale a flusso f , t_0 è il tempo di percorrenza della tratta in condizioni stabili, C è la capacità degli archi impegnati e α e β sono coefficienti calibrati sulla base delle condizioni reali di circolazione.

In questo senso, quindi, un aumento dei flussi veicolari su determinati archi porta ad aumentare il tempo totale di viaggio e quindi, sulle coppie O/D interessate, a spostare una quantità maggiore di utenza da trasporto privato a Cabinovia, in quanto la funzione di utilità di quest'ultima risulta in proporzione maggiore (tempi di percorrenza minori, certi e non dipendenti dalle condizioni di congestione della rete stradale).

1.2 Risultati

A valle delle assegnazioni all'interno del software VISUM, è stato possibile ricavare i valori di capacità residua negli Scenari di analisi. La Tabella 1 illustra i risultati per il gruppo di archi negli scenari di riferimento Base ed incrementale. Sono visualizzati, per ogni arco, la riserva di capacità veicolare percentuale. Le percentuali negative indicano situazioni di sovrasaturazione critica (rapporto V/C maggiore di 1) e nessuna capacità residua veicolare.

Tabella 1 – Risultati degli Scenari di Riferimento – Capacità Residua

Arco	RIFERIMENTO Capacità Residua			Legenda
	Scenario Base	Scenario +10%	Scenario +20%	
NAZIONALE (OBELISCO)	● -9%	● -11%	● -12%	<ul style="list-style-type: none"> ● < 0 - sovrasaturazione ● < 10% - critico ● < 30% - saturo ● > 30% - stabile
VALERIO	● -6%	● -4%	● -4%	
ROMA	● 0%	● -1%	● -1%	
COMMERCIALE	● 6%	● -2%	● -3%	
FRIULI	● 6%	● 5%	● 3%	
UDINE	● 11%	● 8%	● 7%	
VIA PAULIANA	● 12%	● 4%	● 1%	
TRE NOVEMBRE	● 21%	● 21%	● 21%	
VIALE MIRAMARE (ROIANO)	● 25%	● 21%	● 21%	
MILANO	● 33%	● 33%	● 30%	
CAVOUR	● 38%	● 34%	● 34%	
DUCA DEGLI ABRUZZI	● 40%	● 37%	● 37%	
DALMAZIA	● 43%	● 43%	● 43%	
COSTIERA	● 63%	● 62%	● 61%	

In generale si nota come lo Scenario di Riferimento (senza Cabinovia) non sia stabile ad aumenti del traffico, in quanto anche aumentando di solo il 10% il traffico da Nord aumenta sensibilmente la quota di archi che passa da situazione critica (rosso) a sovrasaturazione (via Roma, via Commerciale), con Strada del Friuli e via Pauliana che, nello Scenario peggiore, presentano capacità residue praticamente nulle.

La Tabella 2 presenta le analisi relative allo Scenario di Progetto e alle sue varianti incrementali, in questo caso con la Cabinovia in esercizio. Come specificato in precedenza, la Cabinovia sottrae una quota di auto in diversione modale che consente di sgravare parte della viabilità principale di afferenza alle zone centrali della città; allo stesso tempo, la sua elevata capacità in termini di passeggeri/ora permette di incentivarne l'utilizzo quando aumenti di traffico sulla viabilità rendano ancora meno competitivo il viaggio con il mezzo privato rispetto a quello con la Cabinovia, lungo tutto il tragitto Origine/Destinazione dell'utente.

Tabella 2 - Risultati degli Scenari di Progetto – Capacità Residua

Arco	PROGETTO Capacità Residua		
	Scenario Base	Scenario +10%	Scenario +20%
NAZIONALE (OBELISCO)	1%	1%	0%
VALERIO	-1%	-1%	-3%
ROMA	11%	8%	8%
COMMERCIALE	13%	11%	11%
FRIULI	10%	10%	10%
UDINE	12%	12%	11%
VIA PAULIANA	18%	17%	17%
TRE NOVEMBRE	24%	23%	23%
VIALE MIRAMARE (ROIANO)	35%	35%	34%
MILANO	42%	43%	43%
CAVOUR	40%	40%	40%
DUCA DEGLI ABRUZZI	43%	42%	42%
DALMAZIA	48%	47%	47%
COSTIERA	65%	64%	62%

< 0 - sovrasaturazione

< 10% - critico

< 30% - saturo

> 30% - stabile

I risultati sono conseguenti delle considerazioni di cui sopra; rispetto allo Scenario di Riferimento, lo Scenario di Progetto Base e le sue varianti incrementali sono molto più stabili rispetto agli incrementi di domanda, grazie alle potenzialità di diversione modale nei due poli di interscambio (Campo Romano e Park Bovedo, quest'ultimo comunque dedicato per la maggior parte all'interscambio locale dei rioni di Barcola e Greta).

Applicando il modello di scelta modale visto in precedenza e calcolando il tempo di viaggio aggiuntivo dovuto alle situazioni di potenziale congestione, emerge (Tabella 3) come la quota di passeggeri attratti dalla Cabinovia aumenti con l'incremento di domanda, con una ulteriore componente dovuta alla maggiore attrattività della Cabinovia in situazioni di congestione. Le ipotesi di calcolo della riserva di capacità sono state effettuate nella direzione più carica (Nord-Sud, ora di punta del mattino), nella sezione più carica.

Tabella 3 – Diversione Modale da Privato a Cabinovia negli Scenari di Progetto

Scenario	Pax/h Cabinovia in Diversione Modale	Riserva Capacità Cabinovia sul tratto più carico (pax/h) per direzione	Veicoli/h in Diversione Modale	% Incremento rispetto allo Scenario Base
Progetto Base	544	592	453	-
Progetto +10%	603	533	503	+11%
Progetto +20%	663	474	552	+22%

Si nota come, anche nello Scenario Incrementale maggiore, la Cabinovia abbia ancora una quota di capacità residua molto alta, e che il numero di veicoli orario in diversione modale aumenti più che

linearmente con l'aumento di traffico, grazie alla competitività della stessa che attrae utenti che, a causa del maggior traffico sulla viabilità, trovano più conveniente l'interscambio modale verso la propria destinazione finale.

In tutte le analisi è stata ipotizzata costante la quota di passeggeri sulla Cabinovia spostata dall'attuale TPL, che completa il quadro di domanda sull'infrastruttura di progetto.

1.3 Impatto Ambientale

Gli scenari di aumento di traffico presentati possono essere critici soprattutto dal punto di vista ambientale, a livello di emissioni di CO₂ in atmosfera. Come riportato nell'Allegato 3, in caso di congestione l'aumento del livello emissivo dei veicoli aumenta più che linearmente a causa dell'abbassamento della velocità dei veicoli.

Si riporta quindi una tabella in cui sono stati calcolati i benefici in termini di emissioni dirette (dovute al minore traffico veicolare causato dallo *split* modale mezzo privato – Cabinovia) e quelle indirette dovute alla minore congestione, per gli scenari incrementali di analisi. Si fa riferimento agli Scenari di analisi di cui alla Tabella 1 e alla Tabella 2.

Tabella 4 – Analisi comparata delle emissioni inquinanti tra Scenari

Scenario Riferimento	Scenario Progetto	Differenza Emissioni Dirette (tonn. CO₂/anno)	Differenza Emissioni Indirette (tonn. CO₂/anno)	Minori Emissioni Totali (tonn. CO₂/anno)
SR Base	SP Base	-2.551	-341	-2.892
SR +10%	SP +10%	-2.851	-494	-3.345
SR +20%	SP +10%	-3.129	-564	-3.693

Analizzando gli andamenti delle tipologie di emissioni rispetto agli Scenari base, si nota come i benefici in termini di minori emissioni dirette crescano con un andamento pressoché lineare con l'aumento del traffico (10%, 12%), come ci si aspetta in quanto sono legate alla diminuzione percentuale dei veicoli su strada che scelgono la cabinovia.

Interessante è il beneficio dovuto alla minore congestione (emissioni indirette), che cresce del 45% nello Scenario con incremento al 10%, proprio a causa del miglioramento della saturazione di alcuni assi critici che consentono, anche con relative piccole diminuzioni di traffico, di diminuire la quantità di inquinanti emessi in atmosfera in maniera considerevole.

1.4 Analisi degli Archi Stradali Critici

In conclusione, vengono analizzati puntualmente gli archi stradali illustrati nelle analisi di cui sopra:

Via Nazionale (Obelisco)

Si tratta dell'arco più critico in ingresso da Nord, e quello che andrebbe più in difficoltà con un incremento di traffico non regolato da un sistema di trasporto alternativo. Nello Scenario di Riferimento, infatti, non cambia la sua condizione di sovrasaturazione, peggiorando di oltre il 3% all'aumento del traffico. Nello Scenario di Progetto, grazie al vicino interscambio con la Cabinovia, resta al limite della saturazione.

Via Valerio / Piazza Dalmazia

Direttamente correlate al traffico in discesa da via Nazionale e Strada Nuova per Opicina, via Valerio resta sovra satura in tutti gli Scenari, anche se con leggeri miglioramenti nello Scenario di Progetto proprio per la minore quota di veicoli che la attraversa con destinazioni centro città. L'arco è comunque soggetto anche ad un notevole traffico locale. Il modello tende a migliorare leggermente la capacità all'aumento del traffico in quanto, su archi in sovrasaturazione, l'utente tende a scegliere percorsi alternativi. In questo contesto è importante quindi sottolineare come congestioni puntuali portino a caricare altri archi con inevitabili conseguenze anche dal punto di vista delle emissioni inquinanti. Piazza Dalmazia, nodo importante del traffico cittadino, trova giovamento dal minore traffico in attraversamento da Nord lungo via Valerio che quindi confluisce nella Piazza e nelle successive via Ghega e Roma.

Via Roma

Arco già oggi saturo, negli Scenari di Riferimento peggiora la sua situazione per il suo utilizzo dalle destinazioni in arrivo da Nord attraverso Strada del Friuli, via Commerciale e via Valerio. Lo Scenario di Progetto riesce a sgravarlo notevolmente in quanto è molto prossimo alle destinazioni finali della quota di utenti che sceglie la cabinovia per raggiungerle, diminuendo la quantità di veicoli di una componente di traffico notevole.

Via Commerciale / Strada del Friuli / via Udine / via Pauliana

I quattro archi fanno parte di uno stesso sistema di confluenza dei flussi in arrivo da Nord ed indirizzati verso le zone più prossime al centro. Gli scenari di progetto peggiorano considerevolmente tutti e quattro gli archi, che passano da una condizione di sovrasaturazione / critica ad una completamente satura e alle soglie della sovrasaturazione. Lo Scenario di Progetto migliora il deflusso fino al 10% circa nello scenario incrementale maggiore su via Commerciale, e di oltre il 15% su via Pauliana nello Scenario incrementale del 20%.

Riva Tre Novembre / Corso Cavour / Piazza Duca degli Abruzzi

Si tratta del sistema di distribuzione delle Rive con provenienza da Miramare, Pauliana e Piazza Libertà. Il sistema è oggi relativamente stabile grazie al coordinamento semaforico che consente elevata capacità su tutto l'asse. In questo contesto il progetto della Cabinovia migliora l'accessibilità all'area grazie alle minori congestioni a monte viste in precedenza (via Pauliana, via Udine, via Commerciale).

Via Milano

Via Milano oggi vede un deflusso critico in alcune fasce orarie di punta e resta stabile come capacità sia negli Scenari di Riferimento che in quelli di Progetto, anche se in questi ultimi migliora comunque del 10%, lasciando spazio quindi ad un deflusso meno critico proprio negli orari di maggiore sofferenza.

Strada Costiera / viale Miramare

Il sistema della Strada Costiera non è influenzato notevolmente dal sistema della Cabinovia in quanto l'utente di largo raggio interessato all'interscambio modale preferisce l'itinerario "alto" (Provinciale del Carso e/o Autostrada) in direzione della stazione di Monte della Cabinovia. Le analisi confermano tale ipotesi in quanto le riserve di capacità sono notevoli in tutti gli Scenari. Da notare che, comunque, nella stagione estiva la Strada Costiera presenta notevoli problemi di capacità e di accessibilità dovuti agli accessi al mare e al turismo. In questo contesto la Cabinovia non carica ulteriormente l'asse di flussi.

Il tratto di viale Miramare da Barcola verso Roiano è interessato da un miglioramento dei flussi dovuti all'interscambio modale presso Park Bovedo con la Cabinovia, che interessa prevalentemente l'utenza locale residente nei rioni di Barcola, Gretta e Strada del Friuli destinata al centro città. Gli Scenari di Progetto migliorano comunque l'asse che, da una capacità residua critica passa a stabile in tutti le ipotesi incrementali.

2 CONCLUSIONI

Nell'ottica di considerare la possibile evoluzione turistico/attrattiva di Trieste, anche alla luce delle evoluzioni dell'area del Porto Vecchio, è stata effettuata un'analisi di sensitività della capacità degli archi critici in funzione dell'aumento percentuale dei flussi da Nord.

Sono stati considerati sei scenari evolutivi, tre senza la Cabinovia di Progetto e tre con la Cabinovia in esercizio. Le analisi dimostrano come la Cabinovia sia una infrastruttura di supporto fondamentale allo sviluppo della domanda in quanto stabilizza le riserve di capacità degli archi più saturi negli Scenari di Riferimento. L'elevata capacità residua della Cabinovia, associata alle possibilità di interscambio modale, consente al sistema viario di assorbire la quota parte dei flussi viari che, senza l'intervento dell'infrastruttura di progetto, farebbe collassare il sistema viario in ingresso Nord a Trieste.

Accanto ai benefici legati alla fluidità del traffico, è stato calcolato il beneficio in termini di minori emissioni inquinanti da traffico in atmosfera; negli scenari incrementali, il beneficio indiretto (minori emissioni dovute alla minore congestione) cresce di oltre il 45% anche con solo un aumento del 10% del traffico su strada, grazie al miglioramento locale di alcuni assi critici che beneficiano del minore numero di veicoli circolanti dovuti al trasferimento modale auto-Cabinovia presso i nodi di interscambio.