

Committente:



AUTOCAMIONALE DELLA CISA S.P.A.

Via Camboara 26/A - Frazione Ponte Taro - 43015 NOCETO (PR)

Impresa Esecutrice:



**AUTOSTRADA DELLA CISA A15
RACCORDO AUTOSTRADALE A15/A22
CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENO-BRENNERO
RACCORDO AUTOSTRADALE FRA L' AUTOSTRADA DELLA CISA-FONTEVIVO (PR)
E L' AUTOSTRADA DEL BRENNERO-NOGAROLE ROCCA (VR). I LOTTO.**

C.U.P. G61B04000060008

C.I.G. 307068161E

PROGETTO ESECUTIVO

AUTOCAMIONALE DELLA CISA S.p.A.

Il Direttore TIBRE:

Il Responsabile del Procedimento:

Il Presidente:

IMPRESA PIZZAROTTI

IMPRESA PIZZAROTTI & C. s.p.a.
Il Responsabile di Progetto
Ing. Luca Bondanelli

Il Geologo:
N. A.

PROGETTAZIONE DI:



A.T.I.:



Il Progettista:

Ing. Fabio Nigrelli

Ordine degli Ingegneri della Provincia di Palermo n. 3581

Coordinatore per la Sicurezza in fase di Progettazione:

Ing. Giovanni Maria Cepparotti

Ordine degli Ingegneri della Provincia di Viterbo n. 392

Consulenza specialistica a cura di:

N.A.

Progettista Responsabile Ingegneria Prestazioni Specialistiche:
Impresa Pizzarotti & C. S.p.A.
Ing. Pietro Mazzoli
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Parma n. 821

Titolo Elaborato:

**Generale
Generale**

Interconnessione A1-A15

Previsione dei flussi di traffico all'anno 2025

Data Emissione Progetto:

18/03/2014

Scala:

Identif. Elaborato:

N.RO IDENTIFICATIVO	CODICE COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	AMBITO	CAT OPERA	N OPERA	PARTE OP	TIPO DOC	N PROGR. DOC.	REV.
	RAAA	1	E	I	GE	XX	01	G	RE	005	C
C	16/01/2015	Istruttoria ASPI prot. ASPI/RM/17.11.2014/0023104/EU (punto 14) e aggiornamento lunghezza rampe				TORTA		NIGRELLI		MAZZOLI	
B	12/09/2014	ISTRUTTORIA RINA PROT. 730 DEL 08-09-2014				TORTA		NIGRELLI		MAZZOLI	
A	23/06/2014	RIEMMISSIONE PROGETTO ESECUTIVO				TORTA		NIGRELLI		MAZZOLI	
Rev.	Data	DESCRIZIONE REVISIONE				Redatto		Controllato		Approvato	

SOMMARIO

1	Struttura del documento	3
2	Stima della domanda	5
2.1	Analisi dello storico e della domanda attuale	5
2.1.1	A1 Milano – Bologna.....	5
2.1.2	A15 Parma – La Spezia	6
2.2	Stima dei flussi al 2025.....	8
2.3	Diagrammi dei flussi al nodo.....	11
2.3.1	Flussi veicoli leggeri	11
2.3.2	Flussi veicoli pesanti	14
2.3.3	Flussi veicoli Equivalenti	17
3	Analisi di funzionalità del nodo	20
3.1	Valutazione Livello di Servizio	21
3.1.1	Valutazione LoS con rapporto F/C	21
3.1.2	Valutazione LoS con Metodo HCM per rampe e intersezioni autostradali	27
3.1.3	Valutazione LoS in caso di realizzazione della 4° corsia sull’A1.....	33
3.2	Valutazione funzionale delle rampe con modello di microsimulazione	37
4	Conclusioni	45

1 STRUTTURA DEL DOCUMENTO

Il presente documento riporta le previsioni di traffico e l'analisi di funzionalità condotta da TRT – Trasporti e Territorio sul nodo di interconnessione A1 – A15 all'anno di riferimento 2025 in ottemperanza a quanto richiesto nell'allegato C del Capitolato Speciale d'Appalto – Norme Generali del Giugno 2011.

Nella prima parte dello studio si è proceduto alla stima dei flussi previsti al nodo per l'anno 2025 rivedendo le stime precedentemente prodotte nell'ambito della redazione del Progetto Definitivo per il Raccordo Autostradale Autostrada della Cisa A15 – Autostrada del Brennero A22, nonché sulla base di una raccolta di dati puntuali effettuata presso i concessionari autostradali interessati e Aiscat.

La seconda parte dello studio riporta, invece, l'analisi di funzionalità del nodo articolata in due attività distinte:

- stima dei Livelli di Servizio delle rampe d'immissione ed uscita su A1 e delle rampe d'immissione su A15 secondo quanto previsto dalla metodologia Highway Capacity Manual 2000;
- valutazione di funzionalità delle rampe d'immissione su A1 e su A15 attraverso l'utilizzo di un modello di microsimulazione.

Le attività sviluppate e i risultati conseguenti rispondono in particolare alle osservazioni di ASPI in merito alla funzionalità del nodo, così come era stata prospettata nei documenti precedenti.

La lunghezza e il layout delle rampe oggetto di studio hanno subito modifiche nell'ambito del processo di definizione del progetto esecutivo. Il presente studio tiene in considerazione le lunghezze aggiornate e rese disponibili dal progettista.

Per lo sviluppo delle attività indicate si è fatto riferimento ai seguenti documenti riportati nella Tabella 1 seguente, tutti analizzati e verificati, oltre che utilizzati nelle loro parti funzionali e congruenti a quanto richiesto:

Raccordo Autostradale Autostrada della CISA A15 – Autostrada del Brennero A22 Fontevivo (PR) . Nogarole Rocca (VR) Progetto generale	Studio sulla mobilità Relazione	RAAA/GNRL/PD/04.01 .01	Luglio 2005
Raccordo Autostradale Autostrada della CISA A15 – Autostrada del Brennero A22 Fontevivo (PR) . Nogarole Rocca (VR) LOTTO 1 - Da Fontevivo (PR) all'Autostazione "Trecasali-Terre Verdiane" ed opere accessorie Progetto definitivo	Inquadramento dell'intervento Relazione Tecnica	RAAA/ATST/PDG1/01. 01.02	Novembre 2010
Raccordo Autostradale Autostrada della CISA A15 – Autostrada del Brennero A22 Fontevivo (PR) . Nogarole Rocca (VR) LOTTO 1 - da Fontevivo (PR) all'Autostazione "Trecasali-Terre Verdiane" ed opere accessorie Progetto definitivo	Studio sulla mobilità Relazione integrata in conformità al quadro prescrittivo	RAAA/ATST/PDG1/08. 01.01	Giugno 2011
Raccordo Autostradale Autostrada della CISA A15 – Autostrada del Brennero A22 Fontevivo (PR). Nogarole Rocca (VR) LOTTO 1 - da Fontevivo (PR) all'Autostazione "Trecasali-Terre Verdiane" ed opere accessorie Progetto definitivo	Studio sulla mobilità Appendice	RAAA/ATST/PDG1/08. APPE	Giugno 2011

<p>Raccordo Autostradale Autostrada della CISA A15 – Autostrada del Brennero A22 Fontevivo (PR). Nogarole Rocca (VR) LOTTO 1 - da Fontevivo (PR) all'Autostazione "Trecasali-Terre Verdiane" ed opere accessorie Progetto definitivo</p>	<p>Inquadramento dell'intervento Relazione Descrittiva</p>	<p>RAAA/ATST/PDG1/01.01.01</p>	<p>Giugno 2011</p>
<p>Raccordo Autostradale Autostrada della CISA A15 – Autostrada del Brennero A22 Fontevivo (PR). Nogarole Rocca (VR) LOTTO 1 - da Fontevivo (PR) all'Autostazione "Trecasali-Terre Verdiane" ed opere accessorie Progetto definitivo</p>	<p>Caitolato Speciale d'Appalto - Norme Generali Allegato C – Prescrizioni ASPI</p>	<p>RAAA/AMM/PDG1/03.01.01</p>	<p>Giugno 2011</p>
<p>Raccordo Autostradale Autostrada della CISA A15 – Autostrada del Brennero A22 Fontevivo (PR) . Nogarole Rocca (VR) LOTTO 1 - da Fontevivo (PR) all'Autostazione "Trecasali-Terre Verdiane" ed opere accessorie</p>	<p>Interconnessione A1 – A15 Compatibilità con il futuro ampliamento all' 4^a corsia dell'autostrada A1 Relazione Tecnica</p>	<p>RAAA/ASPI/01</p>	

Tabella 1 - Storico TGM A1 Milano–Bologna – fonte Aiscat

2 STIMA DELLA DOMANDA

2.1 ANALISI DELLO STORICO E DELLA DOMANDA ATTUALE

La ricostruzione del traffico al nodo autostradale A1 – A15 è stata sviluppata attraverso fonti e dati diversi sia di tipo statistico - storico che previsionale.

Nel primo ambito si segnalano fra gli altri i dati AISCAT relativi all'andamento del traffico lungo la A1 Milano - Bologna e la A15 Parma - La Spezia e, nello specifico, i dati che sono stati messi a disposizione dal gestore dell'A15 relativi al traffico annuale per categoria tariffaria di interscambio con la A1.

Nel secondo ambito si segnalano i dati degli studi di traffico sviluppati all'interno delle diverse fasi di progettazione del TiBre, dove pure si riportano dati statistici o rilevati nel corso degli anni, ma anche le previsioni per diversi anni di riferimento.

2.1.1 A1 MILANO – BOLOGNA

Nella Tabella 2 seguente viene riportato il TGM rilevato dal 2002 al 2012 sull'A1, per veicoli leggeri e pesanti assieme alla variazione rispetto all'anno precedente.

TGM - A1 Milano - Bologna						
Anno	Leggeri		Pesanti		Totale	
	TGM	Var. vs anno precedente	TGM	Var. vs anno precedente	TGM	Var. vs anno precedente
2002	56,412		21,041		77,453	
2003	57,165	1.33%	21,551	2.42%	78,716	1.63%
2004	56,527	-1.12%	21,807	1.19%	78,334	-0.49%
2005	56,121	-0.72%	21,685	-0.56%	77,806	-0.67%
2006	58,506	4.25%	22,322	2.94%	80,828	3.88%
2007	60,650	3.66%	22,994	3.01%	83,644	3.48%
2008	61,136	0.80%	22,598	-1.72%	83,734	0.11%
2009	62,243	1.81%	20,791	-8.00%	83,034	-0.84%
2010	62,502	0.42%	21,381	2.84%	83,883	1.02%
2011	61,689	-1.30%	21,441	0.28%	83,130	-0.90%
2012	57,541	-6.72%	19,821	-7.56%	77,362	-6.94%

Tabella 2 - Storico TGM A1 Milano-Bologna – fonte Aiscat

Il Grafico 1 seguente evidenzia l'andamento del traffico (indicizzato al 2002) rilevato sull' A1 dal 2002 al 2012.

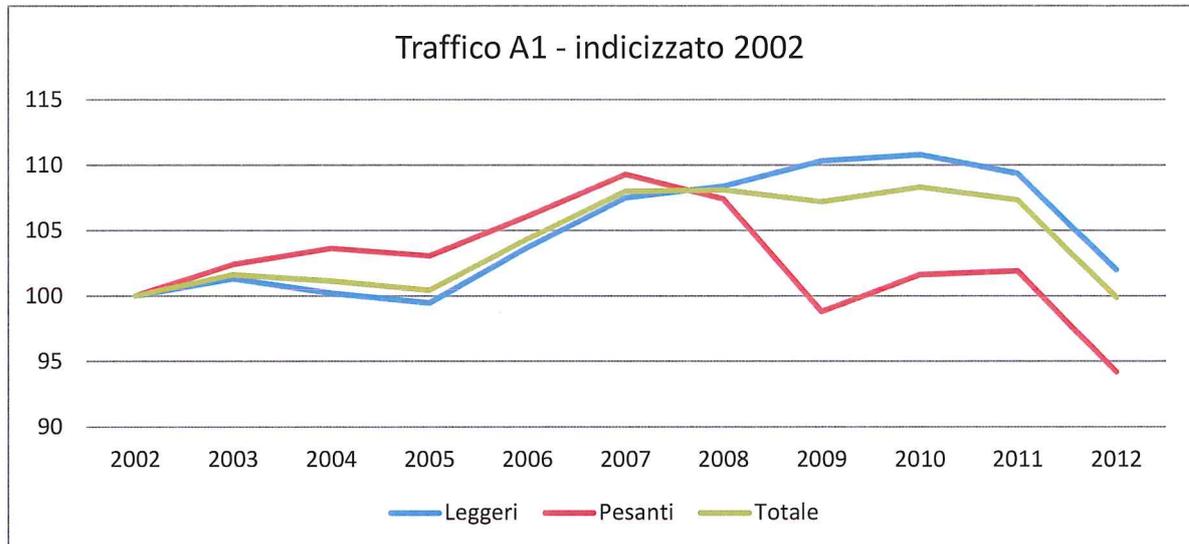


Grafico 1 - Andamento traffico indicizzato - A1 Milano-Bologna – fonte Aiscat

2.1.2 A15 PARMA – LA SPEZIA

Nella Tabella 3 seguente viene riportato il TGM rilevato dal 2002 al 2012 sull'A15, per veicoli leggeri e pesanti assieme alla variazione rispetto all'anno precedente.

TGM - A15 Parma - La Spezia						
Anno	Leggeri		Pesanti		Totale	
	TGM	Var. vs anno precedente	TGM	Var. vs anno precedente	TGM	Var. vs anno precedente
2002	16,523		5,563		22,086	
2003	17,112	3.56%	5,602	0.70%	22,714	2.84%
2004	16,676	-2.55%	5,760	2.82%	22,436	-1.22%
2005	16,836	0.96%	5,839	1.37%	22,675	1.07%
2006	17,449	3.64%	5,924	1.46%	23,373	3.08%
2007	17,989	3.09%	5,951	0.46%	23,940	2.43%
2008	17,804	-1.03%	5,688	-4.42%	23,492	-1.87%
2009	18,099	1.66%	5,362	-5.73%	23,461	-0.13%
2010	17,878	-1.22%	5,612	4.66%	23,490	0.12%
2011	17,881	0.02%	5,651	0.69%	23,532	0.18%
2012	16,296	-8.86%	5,178	-8.37%	21,474	-8.75%

Tabella 3 - Storico TGM A15 Parma-La Spezia – fonte Aiscat

Il Grafico 2 seguente evidenzia l'andamento del traffico (indicizzato al 2002) rilevato sull' A1 dal 2002 al 2012.

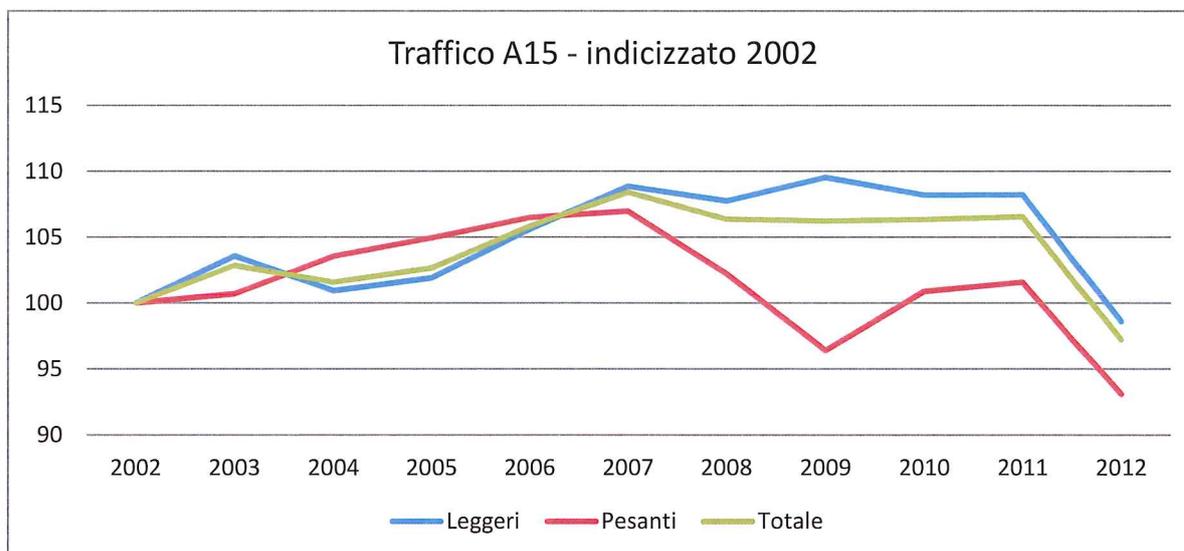


Grafico 2 - Andamento traffico indicizzato - A15 Parma-La Spezia – fonte Aiscat

Di seguito in Tabella 4 e Tabella 5 si riportano i valori annuali del traffico rilevato sull'A15 Parma – La Spezia in corrispondenza del nodo di connessione con l'A1 Milano - Bologna per gli anni 2009-2011 e 2013. I flussi sono distinti per origine (rispetto all'A1) in caso di direzione Sud o per destinazione (rispetto all'A1) in caso di direzione Nord.

Traffico annuale rilevato - A15 Parma - La Spezia - Direzione Sud								
Categoria veicolare	2009		2010		2011		2013	
	Da Milano	Da Bologna	Da Milano	Da Bologna	Da Milano	Da Bologna	Da Milano	Da Bologna
A	2,177,222	1,151,788	2,149,924	1,116,541	2,143,457	1,108,373	1916623	968,247
B	232,438	153,647	235,098	152,802	230,019	151,512	196740	130,427
3	57,014	32,880	55,393	32,092	53,624	32,004	45068	27,134
4	31,004	27,289	30,755	30,423	28,893	28,129	24351	22,178
5	306,220	193,796	319,211	204,887	319,253	203,810	279706	177,076
Totale	2,803,898	1,559,400	2,790,381	1,536,745	2,775,246	1,523,828	2462488	1,325,062

Tabella 4 - Traffico rilevato per categoria dir Sud - A15 Parma-La Spezia – fonte Autocamionale della Cisa

Traffico annuale rilevato - A15 Parma - La Spezia - Direzione Nord								
Categoria veicolare	2009		2010		2011		2013	
	Per Milano	Per Bologna						
A	2,116,991	1,112,969	2,089,974	1,092,256	2,063,369	1,075,485	1,855,559	897,572
B	212,751	151,224	210,635	148,310	216,282	151,743	184,877	121,784
3	52,442	31,118	51,583	30,663	48,917	30,703	41,444	25,159
4	33,088	23,980	32,853	25,531	31,740	23,717	25,749	18,487
5	320,199	220,961	339,338	243,305	334,577	240,102	296,628	183,843
Totale	2,735,471	1,540,252	2,724,383	1,540,065	2,694,885	1,521,750	2,404,257	1,246,845

Tabella 5 - Traffico rilevato per categoria dir Nord - A15 Parma-La Spezia – fonte Autocamionale della Cisa

2.2 STIMA DEI FLUSSI AL 2025

Due sono state le ipotesi di crescita del traffico adottate nell'analisi previsionale al 2025:

- la prima basata sugli studi di traffico del TiBre, ormai consolidati nelle loro previsioni, in particolare all'anno di riferimento 2042, ma in revisione per il medio periodo, che l'anno 2025 ben rappresenta, a valle della crisi economica che ha visto ridurre i traffici autostradali, anche pesantemente, in particolare nel 2012, con qualche accenno di ripresa nell'anno in corso (2014);
- la seconda basata su studi a carattere internazionale europeo, in grado di trarre tendenze generali che tengano conto oltre che dei trend economici, anche delle politiche di trasporto in via di consolidamento nell'UE.

Per quanto riguarda gli studi di traffico sul TiBre si sono selezionati gli scenari di crescita della domanda pari a 1,09% annuo per i veicoli leggeri e 1,07% per i veicoli pesanti relativamente al periodo 2015 – 2025.

Per quanto riguarda gli studi europei, due sono gli studi recenti che hanno prodotto previsioni di domanda di trasporto in Europa. Il primo è l'aggiornamento dello scenario di riferimento "EU Energy, Transport and GHG Emissions Trends to 2050" prodotto dalla Commissione Europea. L'ultimo aggiornamento "Reference Scenario 2013" è stato pubblicato a inizio 2014 (disponibile all'indirizzo: http://ec.europa.eu/energy/observatory/trends_2030/index_en.htm).

Il secondo studio è il progetto ASSIST, nel corso del quale è stato realizzato il modello ASTRA-EC per la valutazione strategica di politiche di trasporto. Parte integrante del modello è uno scenario di riferimento. Questo scenario tiene conto delle previsioni economiche e trasportistiche e produce endogenamente le stime di domanda futura.

Nella Tabella 6 successiva sono riassunte le previsioni di domanda stradale merci e passeggeri in Europa (Unione Europea) all'orizzonte del 2025.

	Valori assoluti (miliardi di pkm/tkm)				Tasso di crescita
	2010	2015	2020	2025	2025/2015
Trends to 2050					
Passeggeri	4893.5	5052.9	5195.6	5455.5	0.80%
Merci	1764.4	1923.1	2076.4	2232.6	1.50%
ASSIST					
Passeggeri	4764.1	4923.9	5214.7	5446.5	1.00%
Merci	2152.9	2371.7	2479.4	2577.6	0.80%

Tabella 6 - Previsioni di domanda stradale merci e passeggeri in Europa

Entrambi gli studi prevedono una crescita della domanda nel periodo considerato tralasciando il 2025. Le previsioni sono simili per ciò che riguarda la domanda stradale passeggeri, con il trend dello studio "Trends to 2050" che è lievemente più conservativo (tasso di crescita medio nel periodo 2015-2025 pari a 0.8% a confronto del 1.0% di ASSIST). Viceversa, per ciò che riguarda le merci, ASSIST propone una crescita molto più prudente, pari a circa la metà di quella prevista da "Trends to 2050". Un motivo per questa discrepanza è che lo scenario di ASSIST include anche il traffico con veicoli merci leggeri, mentre "Trends to 2050" considera i soli veicoli pesanti.

Alla base di queste previsioni vi sono innanzitutto le ipotesi sulla crescita economica. Le assunzioni usate dallo studio "Trends to 2050" prevedono che l'economia dell'UE cresca a un tasso medio dell'1.5% annuo tra il 2010 e il 2020 e dell'1.6% tra il 2020 e il 2030 (non sono disponibili le ipotesi per gli anni intermedi). ASSIST è più ottimista riguardo al primo decennio (2.2% per anno) e in linea per il secondo decennio (1.5% per anno). Questi dati suggeriscono che entrambi gli studi assumono che la crisi economica possa essere rapidamente superata per ripristinare un sentiero di crescita stabile anche se con tassi non elevati. Inoltre, si può notare che ASSIST ritiene che il legame tra crescita economica e traffico stradale sia meno intenso di quanto assuma "Trends to 2050".

L'adozione delle due diverse fonti (TiBre e Studi Europei) per la stima del traffico 2025 al nodo ha portato a due livelli di traffico non molto diversi l'uno dall'altro, con le stime derivanti da studi europei leggermente più basse di quelle derivanti dalle previsioni degli studi di fonte TiBre.

Si è ritenuto di selezionare il traffico 2025 maggiore fra i due (di seguito riportato in dettaglio nella Tabella 7 seguente), al fine di stare "on the safe side" nelle analisi successive relative alle prestazioni del nodo (LoS e microsimulazione). La relativa prudenza nell'adozione dei tassi di crescita più elevati è rafforzata dal fatto che le analisi di traffico e le relative previsioni al 2025, considerano sempre il TiBre realizzato nella sua interezza, causa

di incremento di traffico rispetto all'eventuale occorrenza di non completamento dell'infrastruttura e attestamento dell'autostrada al Casello di Trecasali, a sud del Po.

La Tabella 7 a seguire riporta i valori di traffico (massimi) previsti al nodo per lo scenario 2025.

Traffico 2025					
Flussi ora di punta - giorno medio					
Etichetta Elaborato RAAA/ASPI/01	Manovra al nodo	Leggeri	Pesanti	Totale veicoli	Veicoli equivalenti
Ramo A	Milano - La Spezia	400	170	570	740
Ramo B	Milano - Verona	100	40	150	180
Ramo C	La Spezia - Milano	390	170	560	730
Ramo D	La Spezia - Bologna	190	110	290	410
Ramo E	Bologna - Verona	220	90	310	400
Ramo F	Bologna - La Spezia	170	110	280	390
Ramo G	Verona - Milano	100	40	140	180
Ramo H	Verona - Bologna	210	90	300	390
-	Milano - Bologna	2,350	1,000	3,360	4,350
-	Bologna - Milano	2,280	970	3,260	4,220
-	La Spezia - Verona	320	130	450	580
-	Verona - La Spezia	310	130	440	570
	Sezioni esterne al Nodo				
-	A1 - Da Milano	2,850	1,210	4,080	5,270
-	A1 - Per Milano	2,770	1,180	3,960	5,130
-	A1 - Da Bologna	2,670	1,170	3,850	5,010
-	A1 - Per Bologna	2,750	1,200	3,950	5,150
-	A15 - Da La Spezia	900	410	1,300	1,720
-	A15 - Per La Spezia	880	410	1,290	1,700
-	A15 - Da Verona	620	260	880	1,140
-	A15 - Per Verona	640	260	910	1,160

Tabella 7 - Traffico 2025 – Flussi ora di punta giorno medio

La valutazione del carico veicolare nell'ora di punta è stata effettuata considerando un fattore dell'ora di punta pari al 7%. Nella Tabella 8 seguente si riporta, per completezza, il traffico giornaliero medio TGM al 2025.

Traffico 2025 TGM			
Etichetta Elaborato RAAA/ASPI/01	Manovra al nodo	Totale veicoli	Pesanti
Ramo A	Milano - La Spezia	8,100	30%
Ramo B	Milano - Verona	2,100	27%
Ramo C	La Spezia - Milano	8,000	30%
Ramo D	La Spezia - Bologna	4,100	38%
Ramo E	Bologna - Verona	4,400	29%
Ramo F	Bologna - La Spezia	4,000	39%
Ramo G	Verona - Milano	2,000	29%
Ramo H	Verona - Bologna	4,300	30%
-	Milano - Bologna	48,000	30%
-	Bologna - Milano	46,600	30%
-	La Spezia - Verona	6,400	29%
-	Verona - La Spezia	6,300	30%
	Sezioni esterne al Nodo		
-	A1 - Da Milano	58,300	30%
-	A1 - Per Milano	56,600	30%
-	A1 - Da Bologna	55,000	30%
-	A1 - Per Bologna	56,400	30%
-	A15 - Da La Spezia	18,600	32%
-	A15 - Per La Spezia	18,400	32%
-	A15 - Da Verona	12,600	30%
-	A15 - Per Verona	13,000	29%

Tabella 8 - Traffico 2025 – Traffico giornaliero medio e quota pesanti

2.3 DIAGRAMMI DEI FLUSSI AL NODO

Di seguito si riportano i diagrammi (una visione d'insieme e 4 diagrammi di dettaglio) con la rappresentazione grafica dei flussi per l'ora di punta del giorno medio previsti per lo scenario 2025 e precedentemente riportati in tabella 5 per le seguenti tipologie veicolari:

- veicoli leggeri;
- veicoli pesanti;
- veicoli equivalenti.

2.3.1 FLUSSI VEICOLI LEGGERI

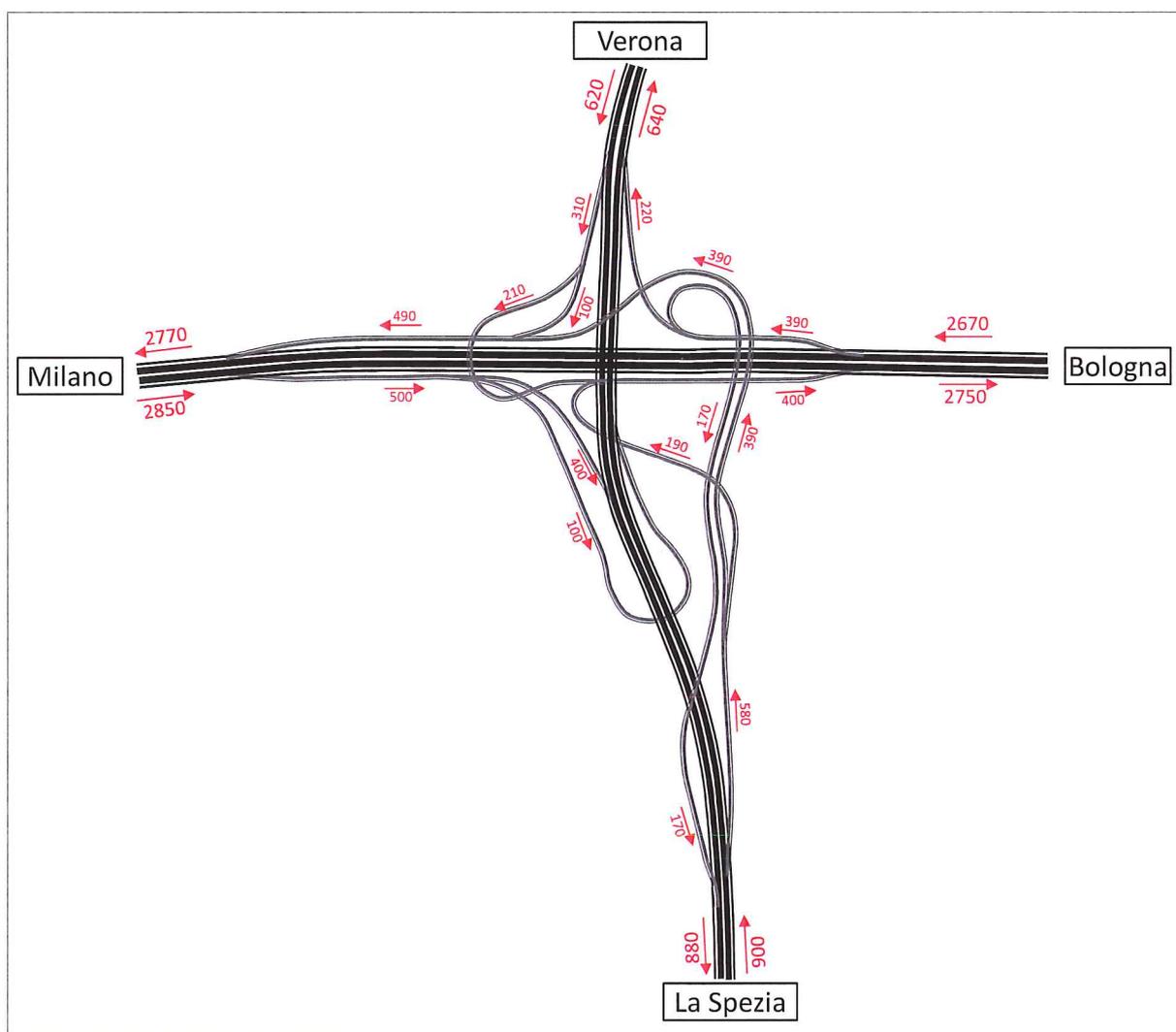


Figura 1 - Visione d'insieme – Flussi 2025 - ora di punta giorno medio – Veicoli leggeri

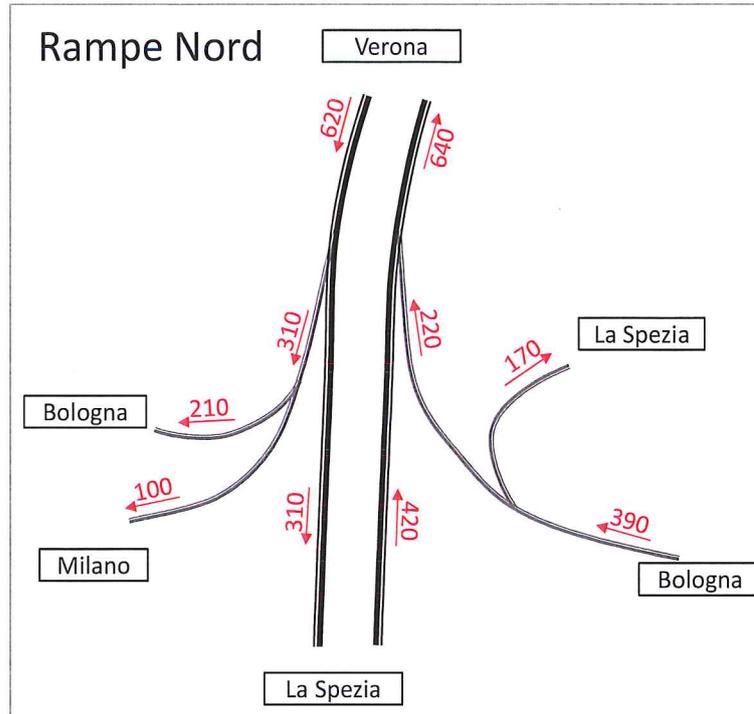


Figura 2 - Rampe Nord – Flussi 2025 - ora di punta giorno medio – Veicoli leggeri

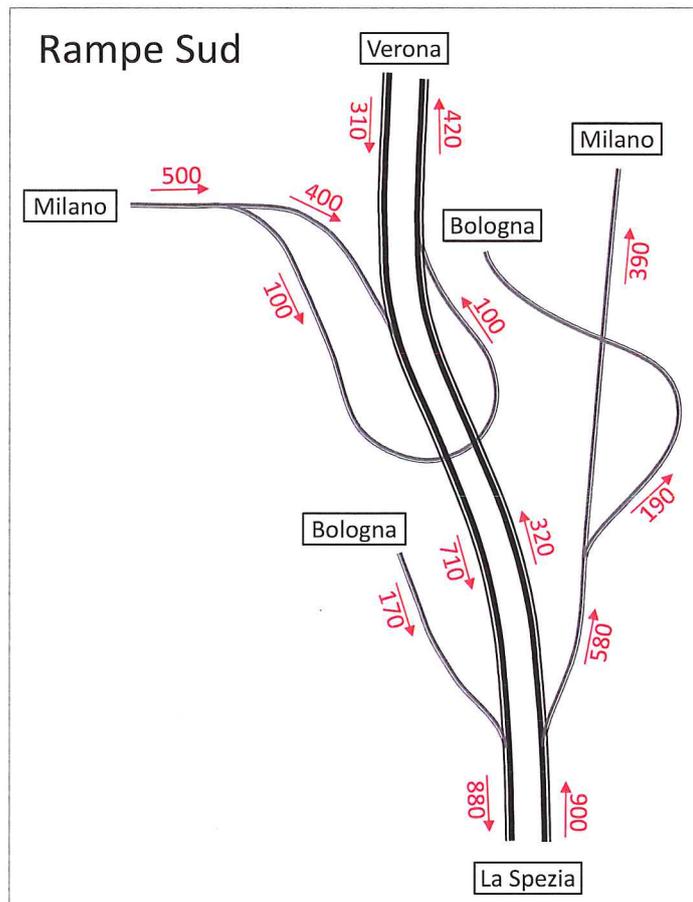


Figura 3 - Rampe Sud – Flussi 2025 - ora di punta giorno medio – Veicoli leggeri

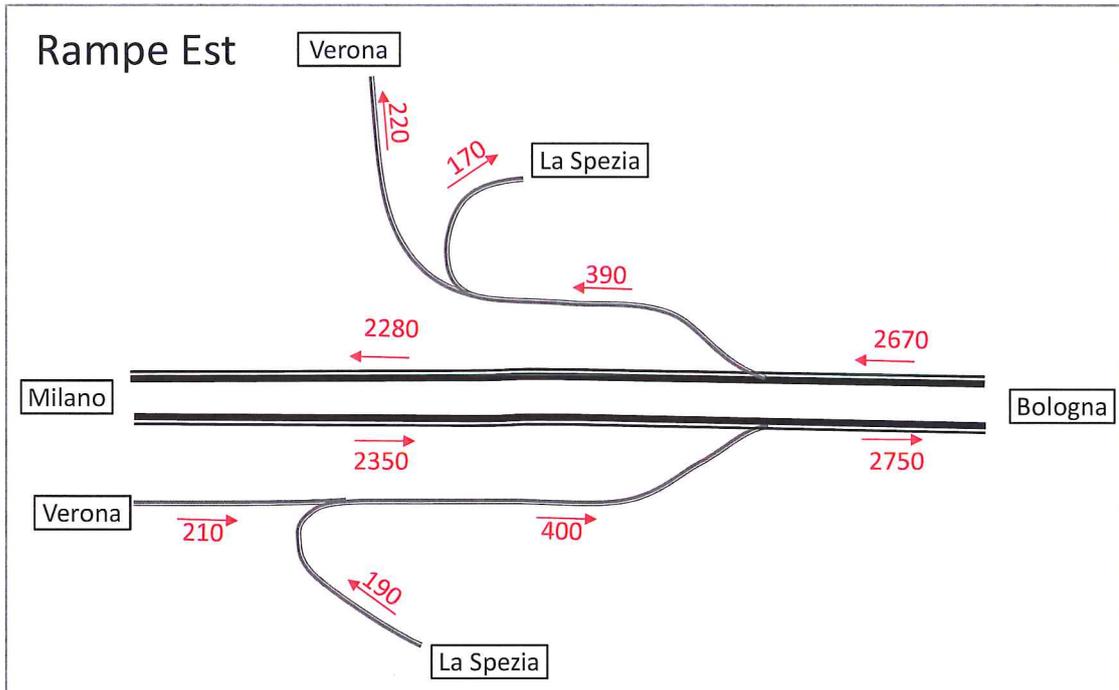


Figura 4 - Rampe Est - Flussi 2025 - ora di punta giorno medio - Veicoli leggeri

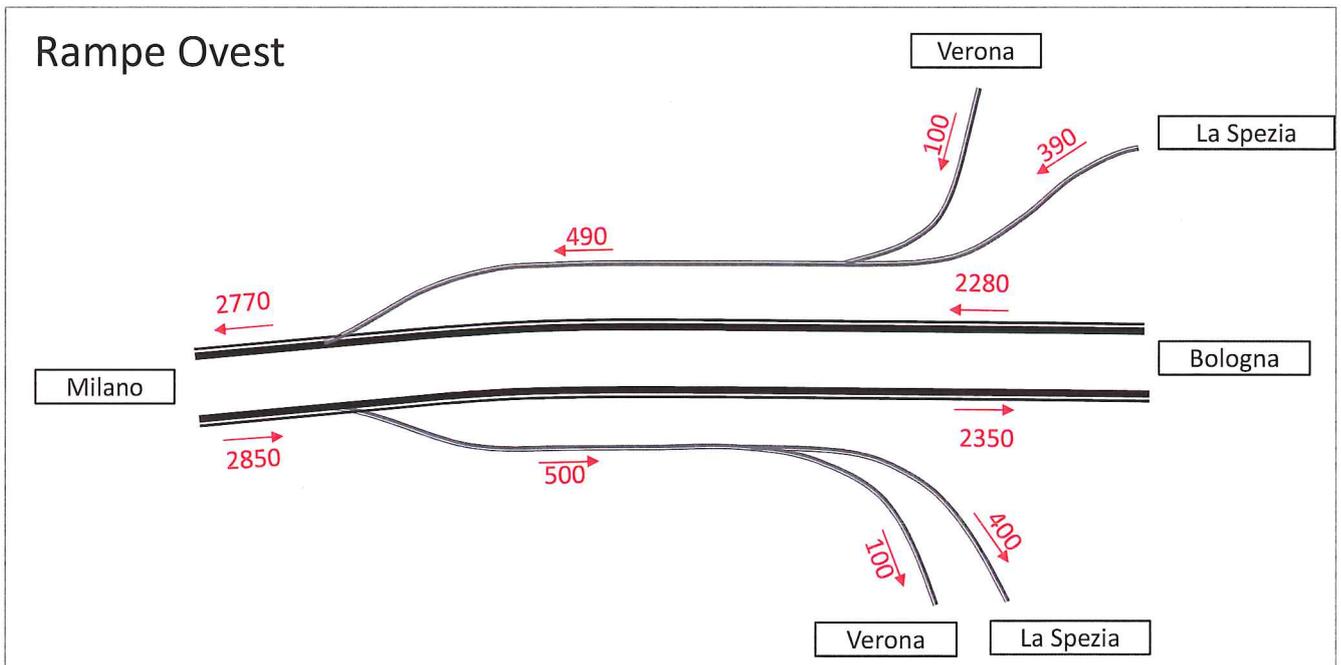


Figura 5 - Rampe Ovest - Flussi 2025 - ora di punta giorno medio - Veicoli leggeri

2.3.2 FLUSSI VEICOLI PESANTI

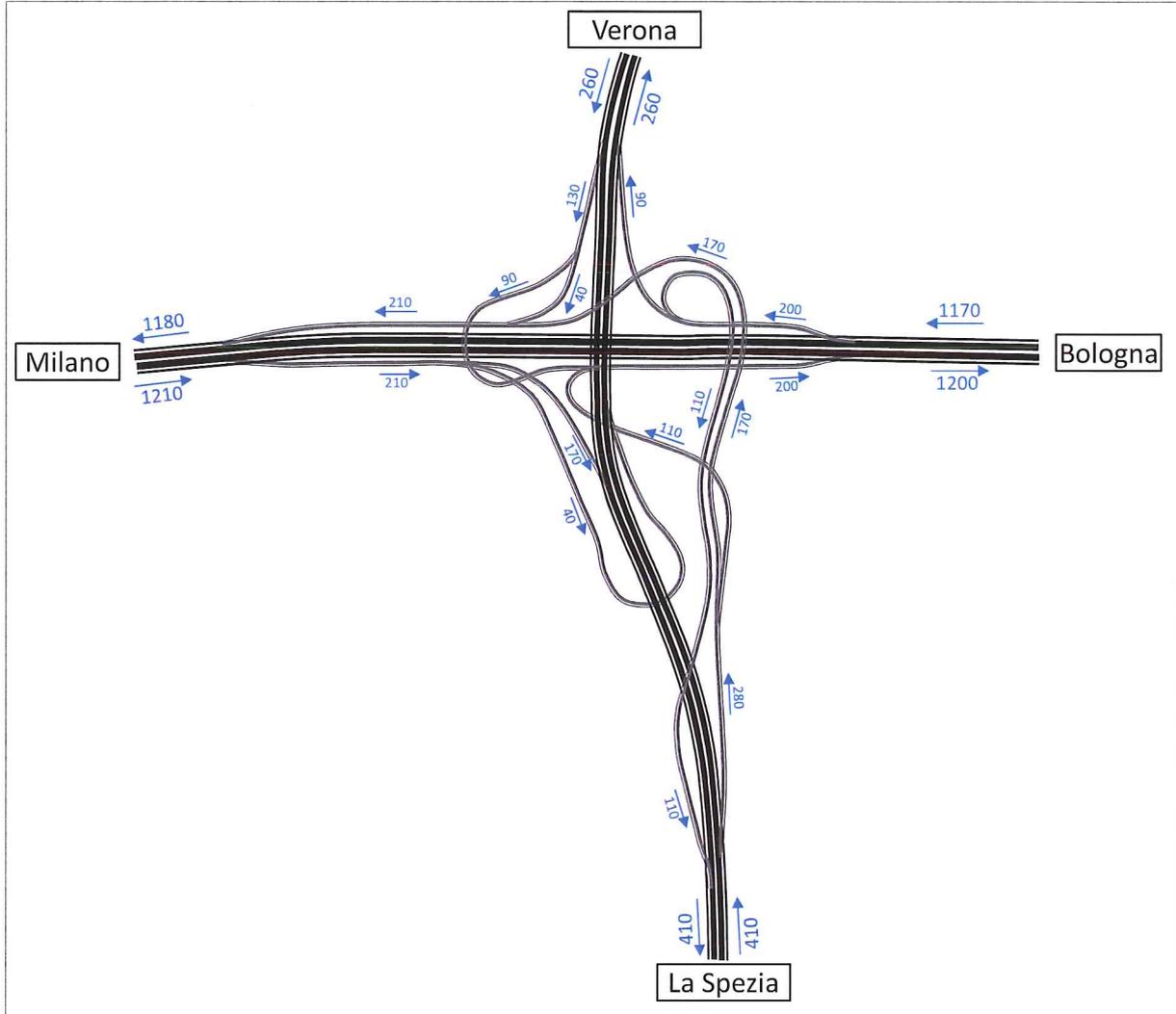


Figura 6 - Visione d'insieme – Flussi 2025 - ora di punta giorno medio – Veicoli pesanti

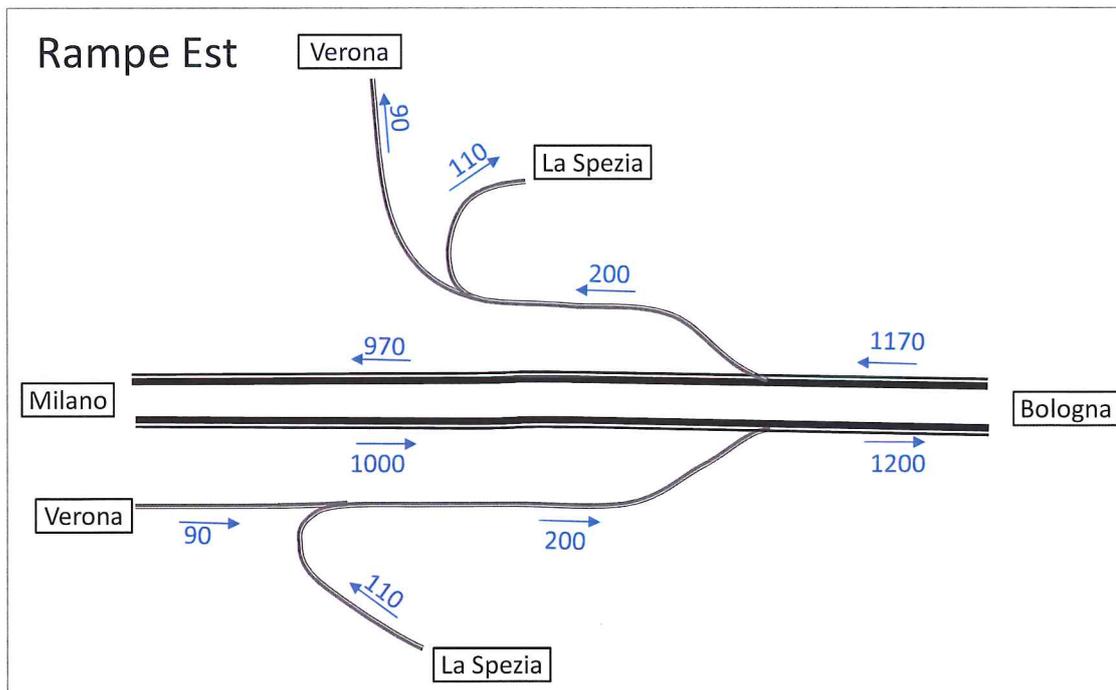


Figura 9 - Rampe Est – Flussi 2025 - ora di punta giorno medio – Veicoli pesanti

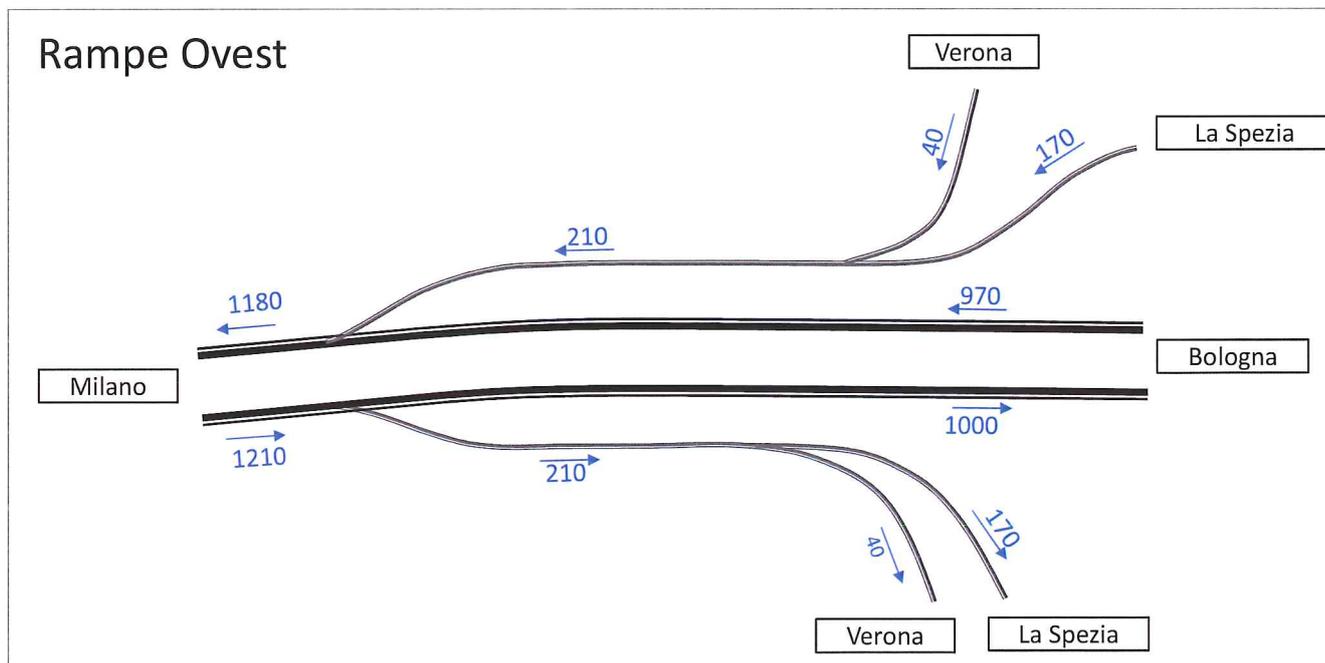


Figura 10 - Rampe Ovest – Flussi 2025 - ora di punta giorno medio – Veicoli pesanti

2.3.3 FLUSSI VEICOLI EQUIVALENTI

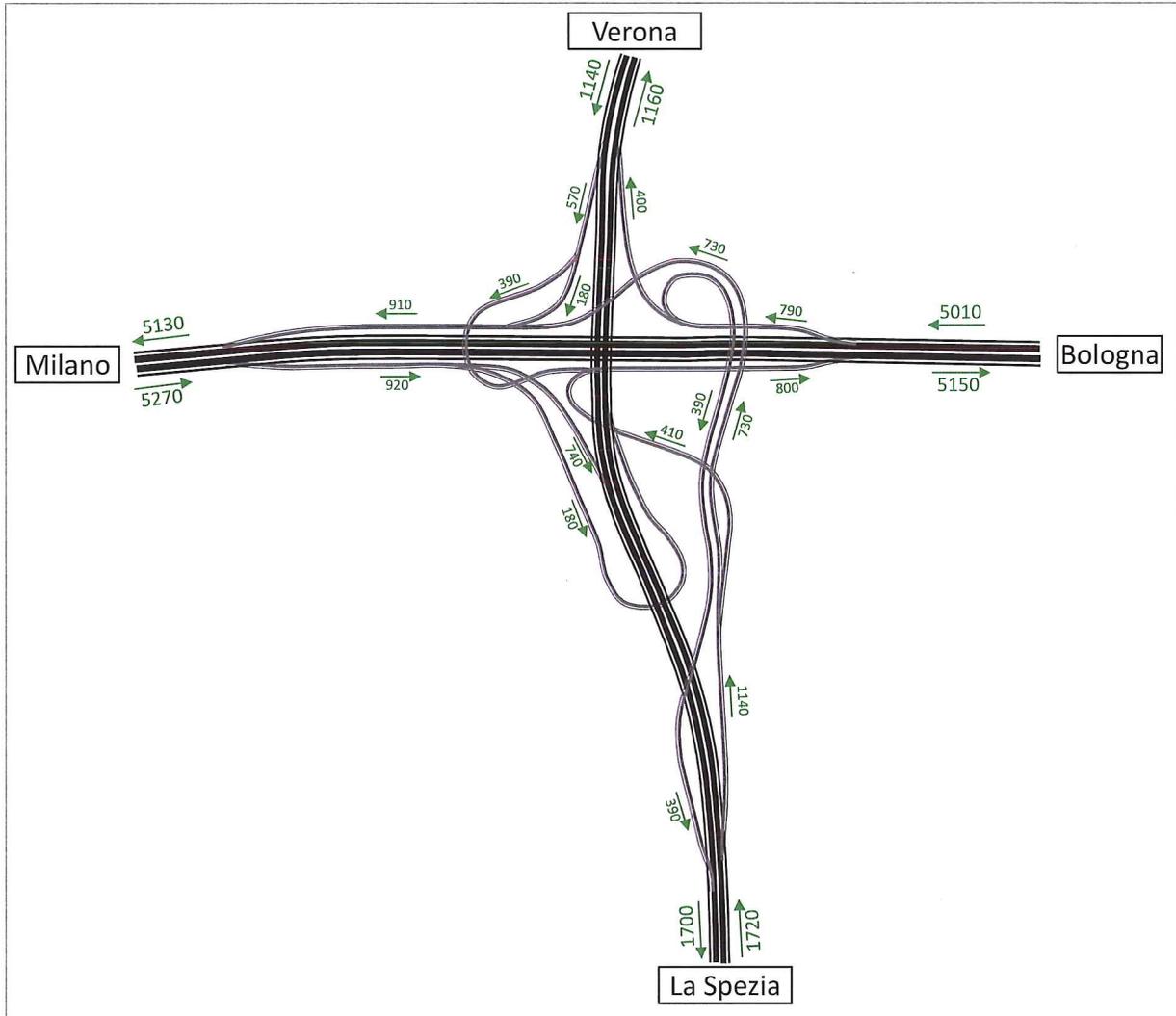


Figura 11 - Visione d'insieme – Flussi 2025 - ora di punta giorno medio – Veicoli equivalenti

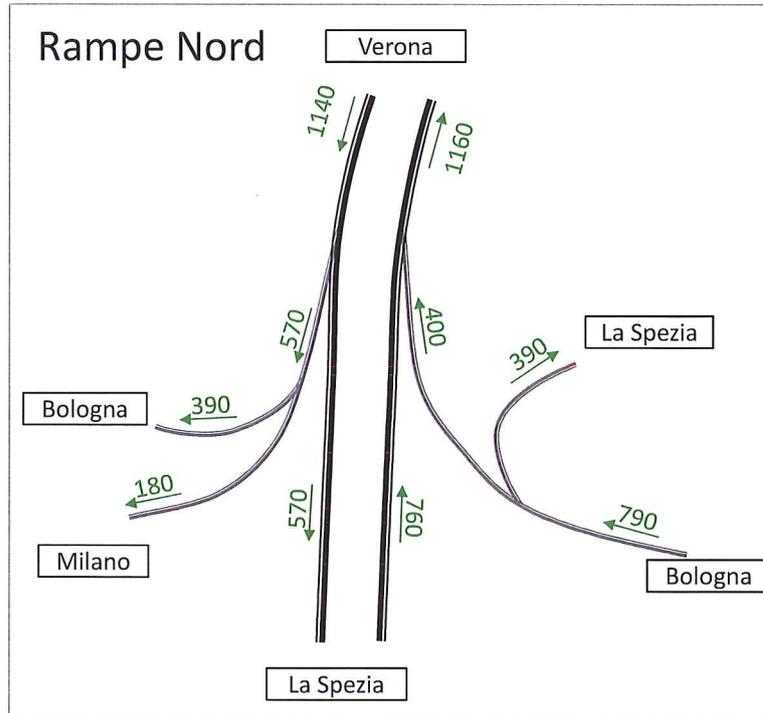


Figura 12 - Rampe Nord – Flussi 2025 - ora di punta giorno medio – Veicoli equivalenti

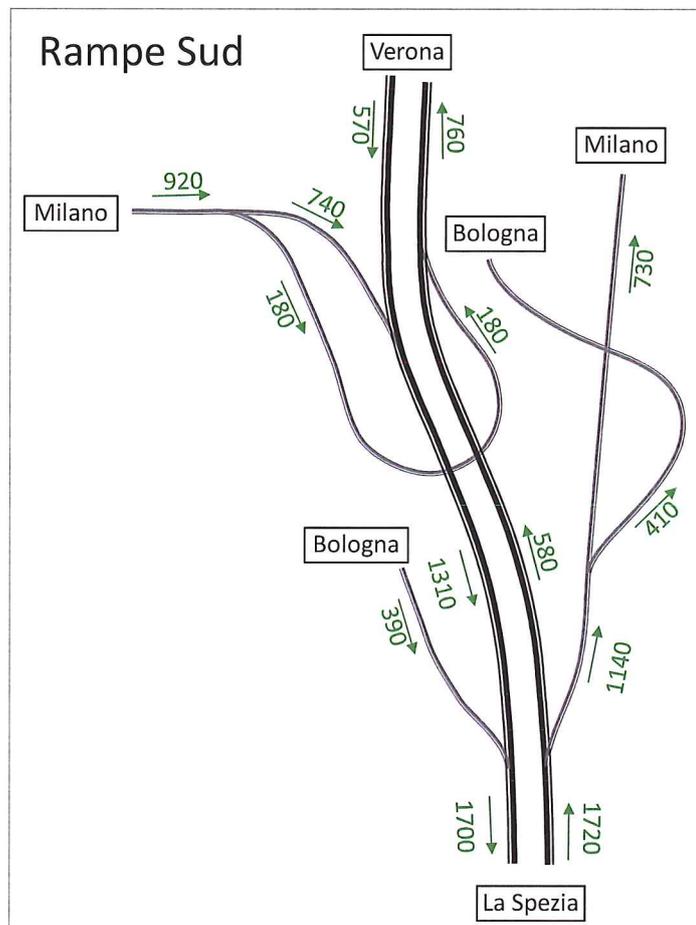


Figura 13 - Rampe Sud – Flussi 2025 - ora di punta giorno medio – Veicoli equivalenti

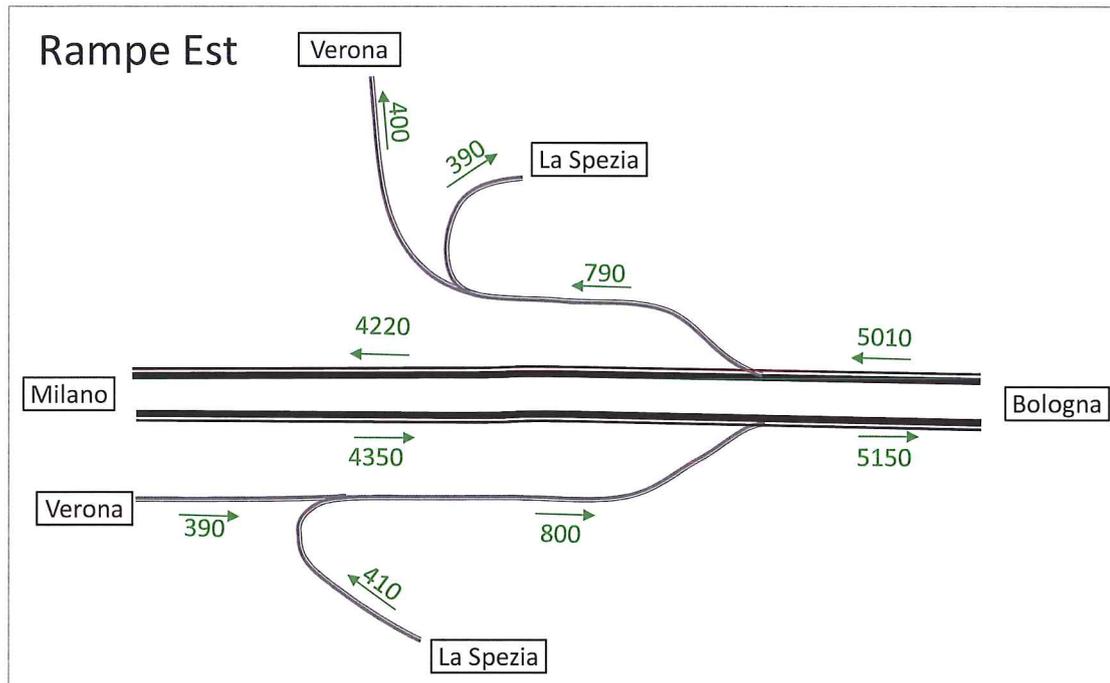


Figura 14 - Rampe Est - Flussi 2025 - ora di punta giorno medio - Veicoli equivalenti

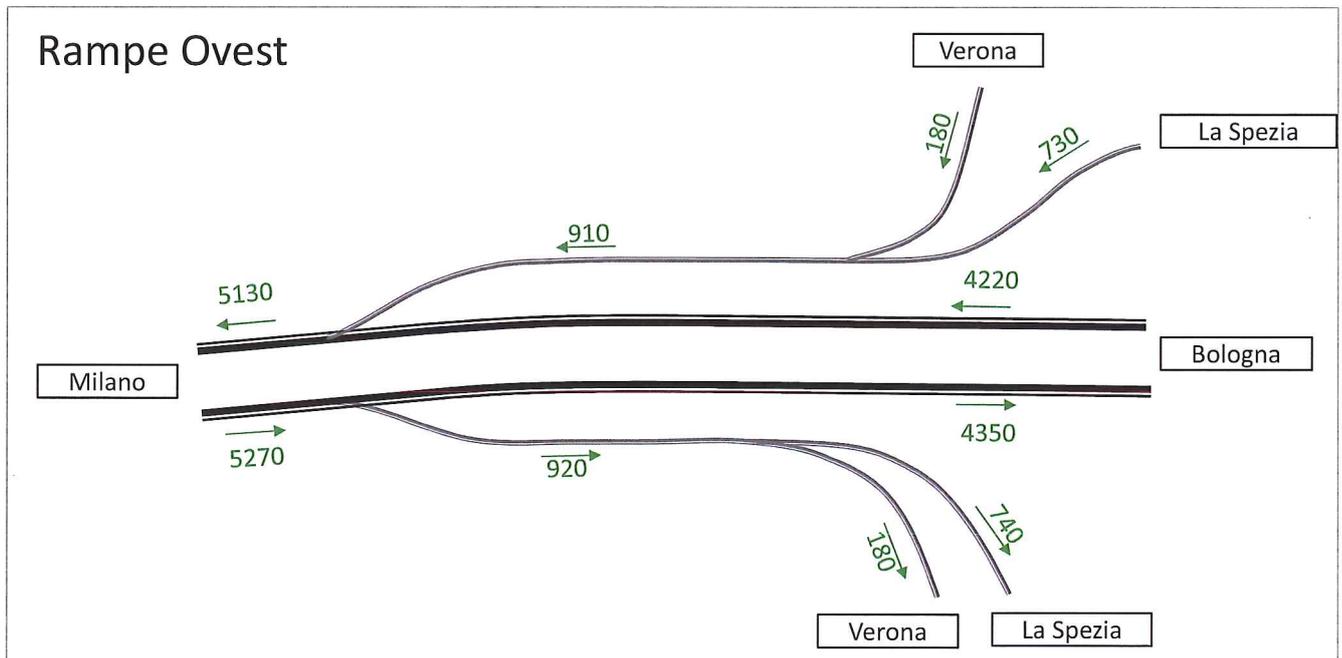


Figura 15 - Rampe Ovest - Flussi 2025 - ora di punta giorno medio - Veicoli equivalenti

3 ANALISI DI FUNZIONALITÀ DEL NODO

Per l'analisi di funzionalità del nodo è stato seguito un approccio che prevede l'utilizzo di più metodologie abbinate al fine di fornire una valutazione delle performance di servizio il più possibile completa e relativa alle diverse sezioni ed elementi stradali che compongono l'intersezione. Da un lato si è proceduto al calcolo dei Livelli di Servizio secondo due metodologie proposte dall'Highway Capacity Manual edizione 2000, dall'altro ci si è avvalsi di un apposito modello di microsimulazione per la valutazione funzionale delle rampe che ha permesso un'analisi dettagliata dei parametri di velocità e densità rilevati nelle diverse sezioni infrastrutturali e nelle diverse corsie autostradali.

Le rampe per le quali sono state effettuate le valutazioni di funzionalità sono riportate nella Figura 16 seguente. Le rampe in uscita dall'A1 sono state valutate solo ai fini del calcolo del LoS e non sono state oggetto di analisi attraverso modello di micro simulazione, che in questo caso si configura come uno strumento di controllo meno significativo.

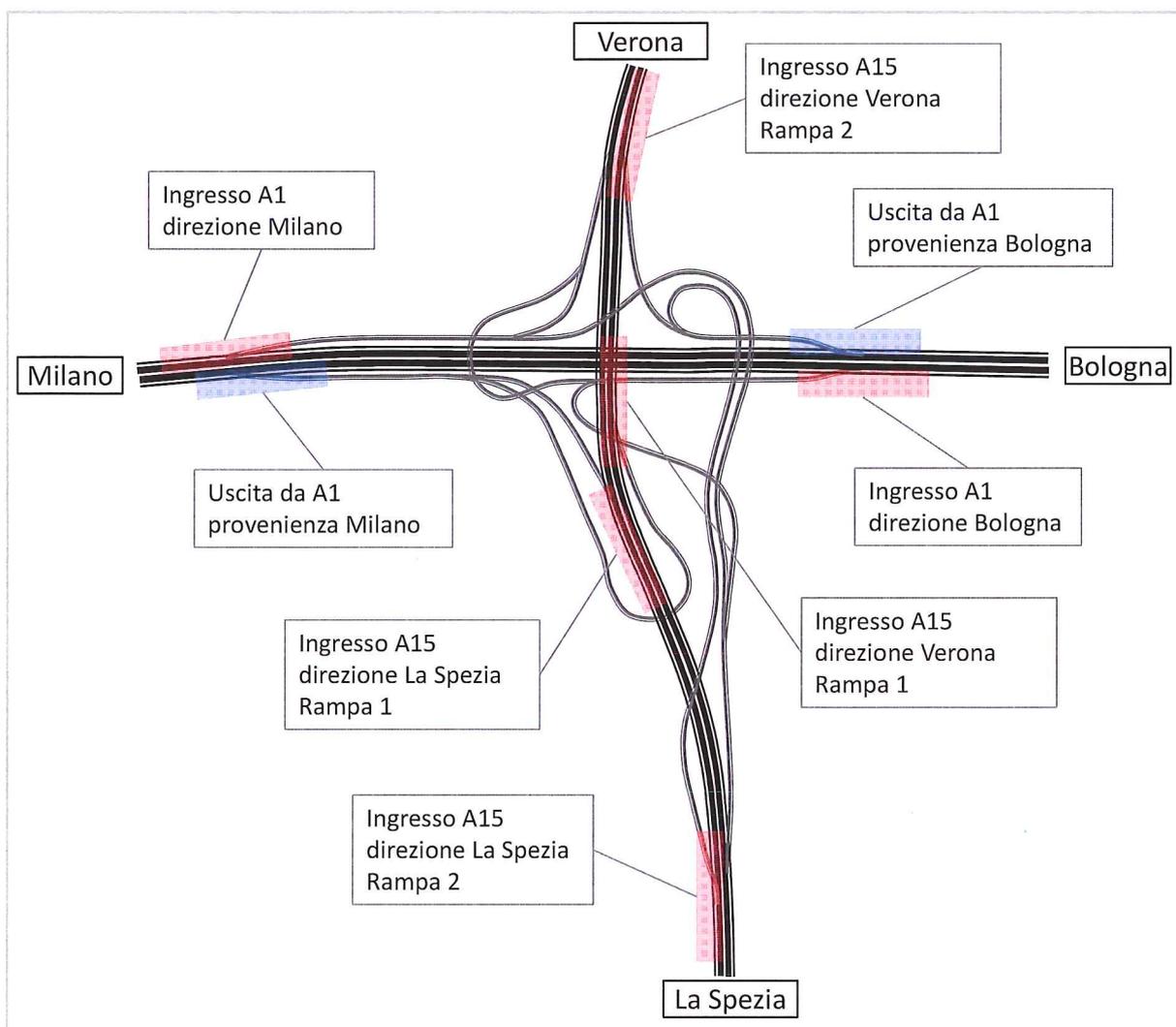


Figura 16 - Rampe analizzate

3.1 VALUTAZIONE LIVELLO DI SERVIZIO

Il Livello di Servizio delle rampe su A1 e su A15 è stato valutato sulla base delle indicazioni contenute nell' Highway Capacity Manual edizione 2000 attraverso una doppia metodologia :

- valutazione del LoS in funzione del rapporto flusso atteso / capacità di deflusso oraria per le diverse sezioni omogenee d'infrastruttura;
- valutazione del LoS con metodo HCM per rampe e intersezioni su segmenti autostradali.

L'utilizzo di una doppia metodologia permette, infatti, di fornire una valutazione circa la funzionalità delle diverse sezioni stradali che compongono lo svincolo. La metodologia flusso atteso / capacità, riportata nel paragrafo 3.1.1 mira a dare un'indicazione del LoS nelle sezioni autostradali a monte e a valle dello svincolo (le valutazioni fornite per rampe e sezioni di merging sono da assumersi come elemento indicativo). Il calcolo dei LoS su quest'ultime sezioni dell'infrastruttura è, invece, stato effettuato secondo la metodologia HCM per rampe e intersezioni su segmenti autostradali, come riportato nel paragrafo 3.1.2.

La verifica è stata effettuata sulla base dei volumi di traffico previsti nell'ora di punta del giorno medio e riportati nel precedente capitolo mentre per le capacità di deflusso delle infrastrutture autostradali si è fatto riferimento a quanto riportato dall' Highway Capacity Manual edizione 2000.

3.1.1 VALUTAZIONE LOS CON RAPPORTO F/C

La metodologia applicata in questo paragrafo mira a dare un'indicazione del LoS nelle sezioni autostradali a monte e a valle dello svincolo e a fornire valori indicativi per rampe e sezioni di merging (per la cui valutazione di dettaglio si rimanda al paragrafo 3.1.2).

L'HCM definisce i Livelli di Servizio per una corsia autostradale assumendo come valore di riferimento, invariante rispetto alla velocità di flusso libero, la densità veicolare espressa in veicoli equivalenti per chilometro per corsia [veq/km/corsia].

Nella Figura 17 seguente si riporta il grafico velocità/capacità con evidenziate le aree corrispondenti ai diversi Livelli di Servizio di una corsia autostradale; queste sono determinate dal fascio di segmenti centrati nell'origine e aventi pendenze legate ai rispettivi valori di densità veicolare.

L'intersezione di ciascun segmento con le curve di deflusso determina la portata massima di ciascun livello di servizio così come i valori massimi del rapporto F/C come rapporto tra il massimo flusso per ciascun intervallo di densità e il flusso massimo per LoS E (corrispondente a densità di 28 veq/km/corsia).

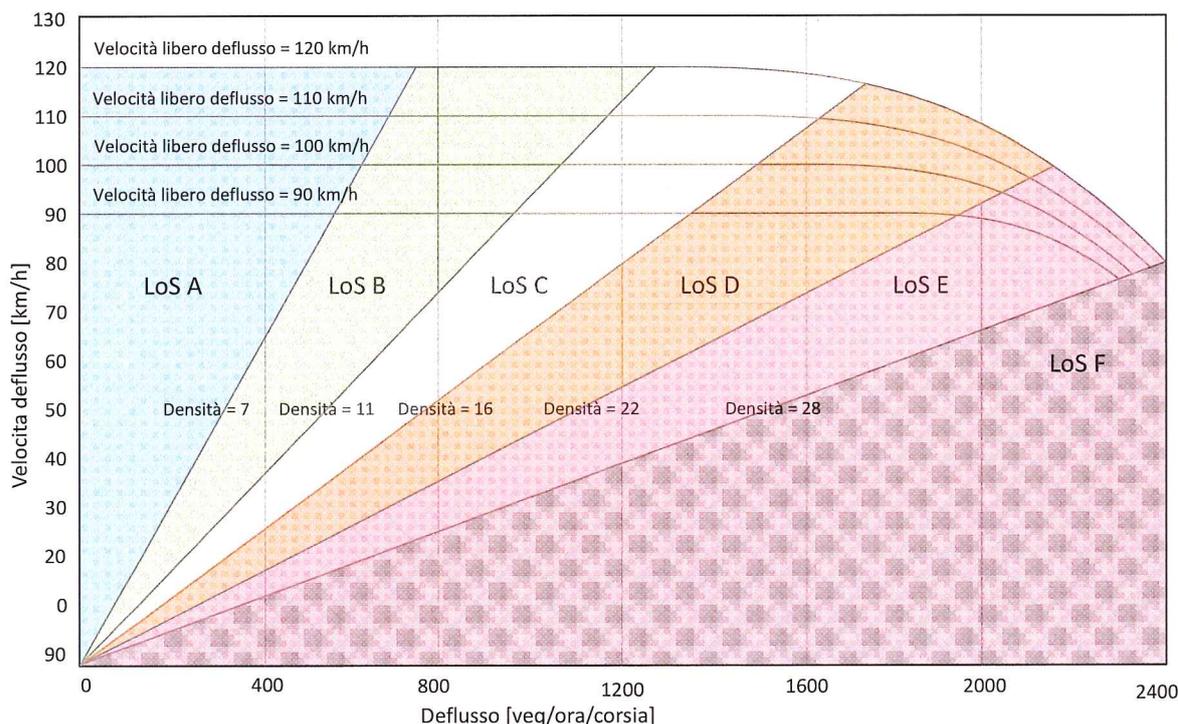


Figura 17 - Diagramma Velocità/Flusso/Densità per una corsia autostradale

Nella Tabella 9 a seguire vengono riportati i diversi parametri prestazionali per i diversi Livelli di Servizio con velocità di libero deflusso ≥ 120 km/h.

Parametri prestazionali	Livelli di Servizio				
	A	B	C	D	E
Velocità libero deflusso [km/h] ≥ 120					
Max densità [veq/km/corsia]	7	11	16	22	28
Max rapporto F/C	0.35	0.55	0.77	0.92	1
Max flusso [veq/ora/corsia]	840	1320	1840	2200	2400

Tabella 9 - Livelli di Servizio e parametri prestazionali per una corsia autostradale

Nella valutazione del Livello di Servizio con rapporto F/C sulle sezioni omogenee è stata assunta una capacità oraria per corsia pari a:

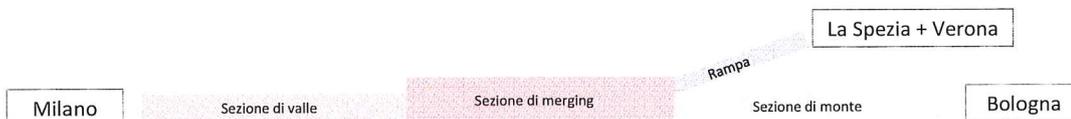
- 2300 veq per le sezioni autostradali;
- 1400 veicoli per le rampe e le corsie di accelerazione.

Tali valori risultano cautelativi rispetto ai valori massimi di capacità suggeriti dall'HCM e tengono conto della riduzione di capacità legate ad elementi quali:

- andamento planimetrico dell'infrastruttura (assunzione cautelativa vista la natura pianeggiante del tratto considerato);
- fattore di esperienza dei guidatori;
- fattore dell'ora di punta.

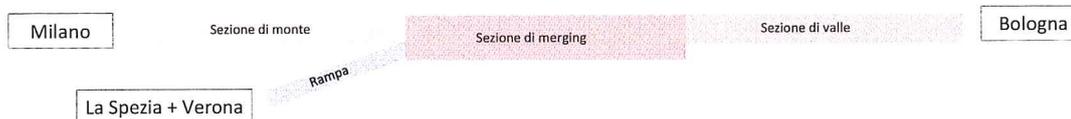
Il fattore di equivalenza tra veicoli pesanti e leggeri è stato assunto pari a 2 in favore di sicurezza (l'HCM suggerisce, in condizioni planimetriche pianeggianti anche valori minori).

Di seguito vengono riportati i risultati ottenuti per le diverse rampe di immissione analizzate.

Ingresso A1 direzione Milano


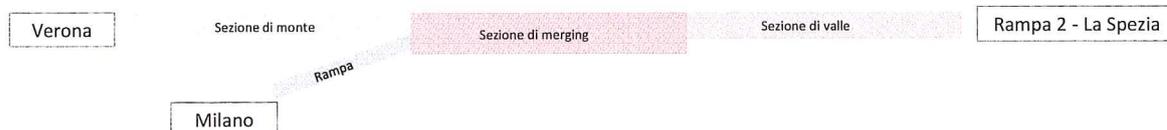
Ingresso A1 direzione Milano				
LoS - Capacità sezioni				
	Sezione di monte	Rampa	Sezione di merging	Sezione di valle
N° corsie	3	1	4	3
Capacità sezione PCUs/h	6900	1400	8300	6900
Flusso leggeri	2280	490	2770	2770
Flusso pesanti	970	210	1180	1180
Flusso equivalenti	4220	910	5130	5130
F/C	0.61	0.65	0.62	0.74
Los	C	C	C	C

Tabella 10 - Los con metodo F/C - Ingresso A1 direzione Milano

Ingresso A1 direzione Bologna


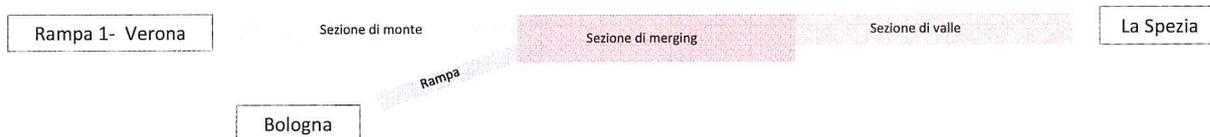
Ingresso A1 direzione Bologna				
LoS - Capacità sezioni				
	Sezione di monte	Rampa	Sezione di merging	Sezione di valle
N° corsie	3	1	4	3
Capacità sezione PCUs/h	6900	1400	8300	6900
Flusso leggeri	2350	400	2750	2750
Flusso pesanti	1000	200	1200	1200
Flusso equivalenti	4350	800	5150	5150
F/C	0.63	0.57	0.62	0.75
Los	C	C	C	C

Tabella 11 - Los con metodo F/C - Ingresso A1 direzione Bologna

Ingresso A15 direzione La Spezia - Rampa 1


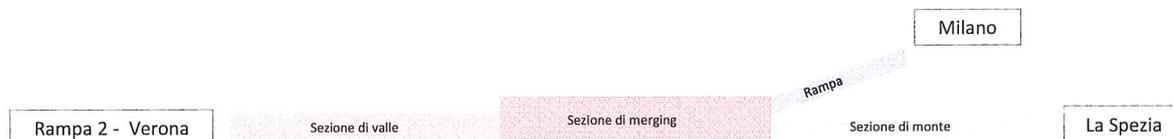
Ingresso A15 direzione La Spezia - Rampa 1				
LoS - Capacità sezioni				
	Sezione di monte	Rampa	Sezione di merging	Sezione di valle
N° corsie	2	1	3	2
Capacità sezione PCUs/h	4600	1400	6000	4600
Flusso leggeri	310	400	710	710
Flusso pesanti	130	170	300	300
Flusso equivalenti	570	740	1310	1310
F/C	0.12	0.53	0.22	0.28
Los	A	B	A	A

Tabella 12 - Los con metodo F/C – Ingresso A15 direzione La Spezia - Rampa 1

Ingresso A15 direzione La Spezia - Rampa 2


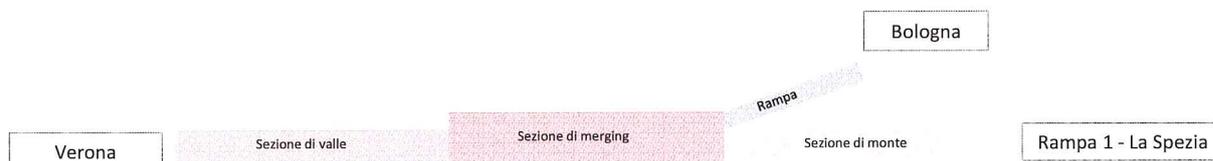
Ingresso A15 direzione La Spezia - Rampa 2				
LoS - Capacità sezioni				
	Sezione di monte	Rampa	Sezione di merging	Sezione di valle
N° corsie	2	1	3	2
Capacità sezione PCUs/h	4600	1400	6000	4600
Flusso leggeri	710	170	880	880
Flusso pesanti	300	110	410	410
Flusso equivalenti	1310	390	1700	1700
F/C	0.28	0.28	0.28	0.37
Los	A	A	A	B

Tabella 13 - Los con metodo F/C – Ingresso A15 direzione La Spezia - Rampa 2

Ingresso A15 direzione Verona - Rampa 1


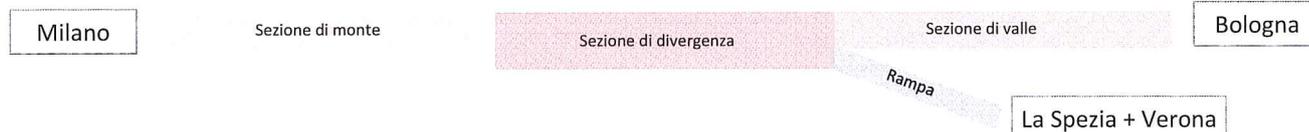
Ingresso A15 direzione Verona - Rampa 1				
LoS - Capacità sezioni				
	Sezione di monte	Rampa	Sezione di merging	Sezione di valle
N° corsie	2	1	3	2
Capacità sezione PCUs/h	4600	1400	6000	4600
Flusso leggeri	320	100	420	420
Flusso pesanti	130	40	170	170
Flusso equivalenti	580	180	760	760
F/C	0.13	0.13	0.13	0.17
Los	A	A	A	A

Tabella 14 - Los con metodo F/C – Ingresso A15 direzione Verona - Rampa 1

Ingresso A15 direzione Verona - Rampa 2


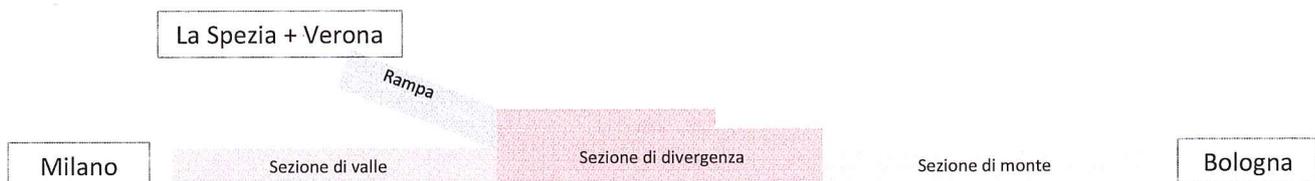
Ingresso A15 direzione Verona - Rampa 2				
LoS - Capacità sezioni				
	Sezione di monte	Rampa	Sezione di merging	Sezione di valle
N° corsie	2	1	3	2
Capacità sezione PCUs/h	4600	1400	6000	4600
Flusso leggeri	420	220	640	640
Flusso pesanti	170	90	260	260
Flusso equivalenti	760	400	1160	1160
F/C	0.17	0.29	0.19	0.25
Los	A	A	A	A

Tabella 15 - Los con metodo F/C – Ingresso A15 direzione Verona - Rampa 2

Uscita da A1 provenienza Milano


Uscita A1 provenienza Milano				
LoS - Capacità sezioni				
	Sezione di monte	Sezione di divergenza	Rampa	Sezione di valle
N° corsie	3	4	1	3
Capacità sezione PCUs/h	6900	8300	1400	6900
Flusso leggeri	2850	2850	500	2350
Flusso pesanti	1210	1210	210	1000
Flusso equivalenti	5270	5270	920	4350
F/C	0.76	0.63	0.66	0.63
Los	C	C	C	C

Tabella 16 - Los con metodo F/C – Uscita A1 provenienza Milano

Uscita da A1 provenienza Bologna


Uscita A1 provenienza Bologna				
LoS - Capacità sezioni				
	Sezione di monte	Sezione di divergenza	Rampa	Sezione di valle
N° corsie	3	4	2	3
Capacità sezione PCUs/h	6900	9000	2800	6900
Flusso leggeri	2670	2670	390	2280
Flusso pesanti	1170	1170	200	970
Flusso equivalenti	5010	5010	790	4220
F/C	0.73	0.56	0.28	0.61
Los	C	C	A	C

Tabella 17 - Los con metodo F/C – Uscita A1 provenienza Bologna

3.1.2 VALUTAZIONE LOS CON METODO HCM PER RAMPE E INTERSEZIONI AUTOSTRADALI

Nella valutazione dei Livelli di Servizio per rampe e intersezioni su segmenti autostradali, la metodologia riportata nell'HCM 2000 per le rampe in ingresso prevede la modellazione delle condizioni operative nelle aree di convergenza dei flussi (merge), tenendo conto di un'area d'influenza di 450m e considerando le condizioni di flusso che si verificano nelle due corsie più esterne della carreggiata autostradale.

I Livelli di Servizio sono quindi definiti in relazione ai valori di densità veicolare. Tali valori di densità variano leggermente nelle tratte autostradali correnti e nelle tratte di scambio (entrate – uscite). La Tabella 18 seguente riporta i valori di densità relativi a questo secondo caso.

Massimo valore densità [veq/km/corsia]	Livello di Servizio
6	A
12	B
17	C
22	D
28	E

Tabella 18 - Densità veicolare e Livelli di Servizio

La Figura 18 seguente illustra le principali variabili previste dalla metodologia per le rampe in ingresso.

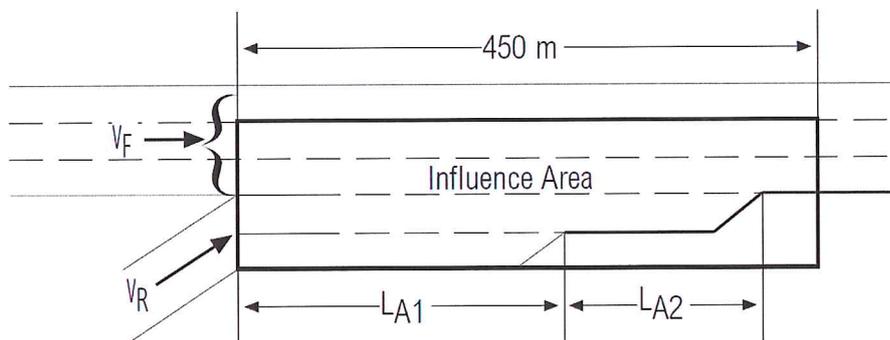


Figura 18 - Variabili per calcolo LoS su rampe autostradali in ingresso

Il flusso autostradale V_F e del flusso sulla rampa V_R che approssimano l'area di influenza devono essere espressi in veicoli equivalenti.

La determinazione del flusso autostradale V_{12} che transita sulla 1° e sulla 2° corsia avviene con le seguenti formule.

In caso di carreggiata autostradale a 2 corsie per senso di marcia:

$$V_{12} = V_F$$

In caso di carreggiata autostradale a 3 corsie per senso di marcia:

$$V_{12} = V_F * (0.5775 + 0.000092 * LA)$$

La densità veicolare D_R si determina quindi con la seguente formula:

$$D_R = 3.402 + 0.00456 * V_R + 0.0048 * V_{12} - 0.01278 * LA.$$

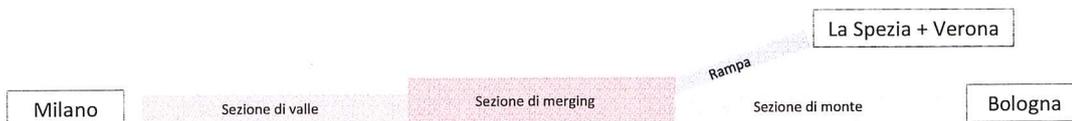
dove LA è la lunghezza della corsia di accelerazione che viene sostituita da $LA_{eff} = 2LA_1 + LA_2$ nel caso (non presente in questo studio) di doppia corsia in ingresso (con riferimento allo schema esemplificativo delle variabili riportato in Figura 18).

Di seguito vengono riportati i risultati ottenuti per le diverse rampe di immissione analizzate.

Ingresso A1 direzione Milano

Lunghezza tratto di accelerazione (Lae) + lunghezza tratto di immissione (Lie) [m]: 532.3

Lunghezza elemento di raccordo (Lve) [m]: 75



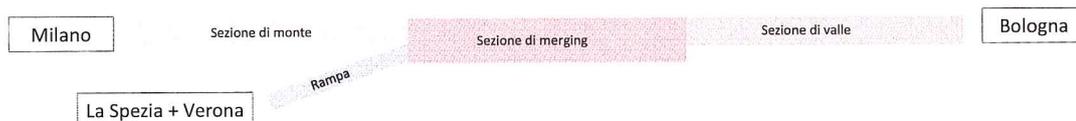
Ingresso A1 direzione Milano					
Los - Densità su area di convergenza					
Flusso in approccio area di convergenza	Flusso su rampa	Flusso su 1° e 2° corsia	Lunghezza corsia accelerazione	Densità veicolare area di convergenza	LoS
Vf [PCU/h]	Vr [PCU/h]	V12 [PCU/h]	La [m]	Dr [PCU/km/ln]	
4220	910	2673	607.3	12.6	C

Tabella 19 - Los HCM per rampe e intersezioni autostradali - Ingresso A1 direzione Milano

Ingresso A1 direzione Bologna

Lunghezza tratto di accelerazione (Lae) + lunghezza tratto di immissione (Lie) [m]: 471.7

Lunghezza elemento di raccordo (Lve) [m]: 75

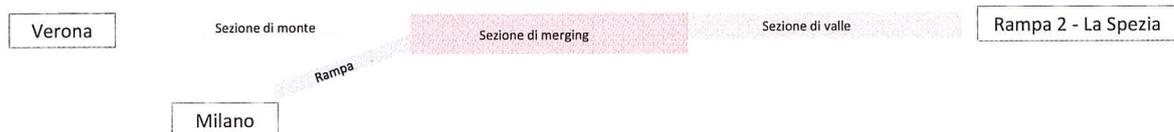


Ingresso A1 direzione Bologna					
Los - Densità su area di convergenza					
Flusso in approccio area di convergenza	Flusso su rampa	Flusso su 1° e 2° corsia	Lunghezza corsia accelerazione	Densità veicolare area di convergenza	LoS
Vf [PCU/h]	Vr [PCU/h]	V12 [PCU/h]	La [m]	Dr [PCU/km/ln]	
4350	800	2731	546.7	13.2	C

Tabella 20 - Los HCM per rampe e intersezioni autostradali - Ingresso A1 direzione Bologna

Ingresso A15 direzione La Spezia - Rampa 1

Lunghezza tratto di accelerazione (Lae) + lunghezza tratto di immissione (Lie) [m]: 335
 Lunghezza elemento di raccordo (Lve) [m]: 75

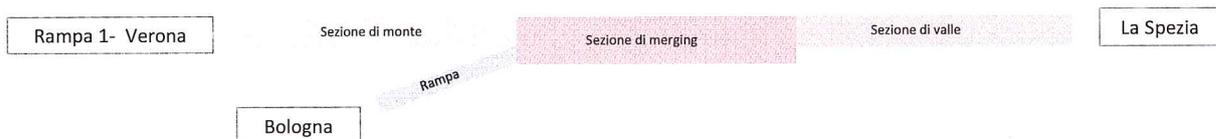


Ingresso A15 direzione La Spezia - Rampa 1					
Los - Densità su area di convergenza					
Flusso in approccio area di convergenza	Flusso su rampa	Flusso su 1° e 2° corsia	Lunghezza corsia accelerazione	Densità veicolare area di convergenza	LoS
Vf [PCU/h]	Vr [PCU/h]	V12 [PCU/h]	La [m]	Dr [PCU/km/ln]	
570	740	570	410	4.3	A

Tabella 21 - Los HCM per rampe e intersezioni autostradali – Ingresso A15 direzione La Spezia - Rampa 1

Ingresso A15 direzione La Spezia - Rampa 2

Lunghezza tratto di accelerazione (Lae) + lunghezza tratto di immissione (Lie) [m]: 507.5
 Lunghezza elemento di raccordo (Lve) [m]: 75

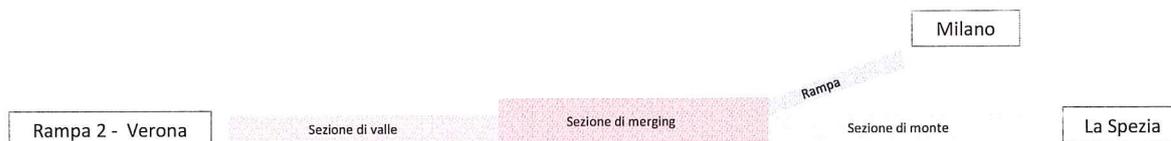


Ingresso A15 direzione La Spezia - Rampa 2					
Los - Densità su area di convergenza					
Flusso in approccio area di convergenza	Flusso su rampa	Flusso su 1° e 2° corsia	Lunghezza corsia accelerazione	Densità veicolare area di convergenza	LoS
Vf [PCU/h]	Vr [PCU/h]	V12 [PCU/h]	La [m]	Dr [PCU/km/ln]	
1310	390	1310	582.5	4.0	A

Tabella 22 - Los HCM per rampe e intersezioni autostradali – Ingresso A15 direzione La Spezia - Rampa 2

Ingresso A15 direzione Verona - Rampa 1

Lunghezza tratto di accelerazione (Lae) + lunghezza tratto di immissione (Lie) [m]: 256
 Lunghezza elemento di raccordo (Lve) [m]: 40

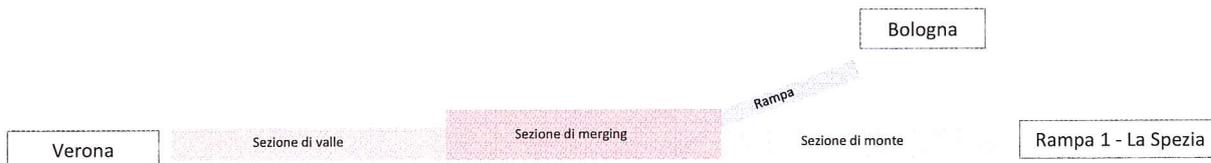


Ingresso A15 direzione Verona - Rampa 1					
Los - Densità su area di convergenza					
Flusso in approccio area di convergenza	Flusso su rampa	Flusso su 1° e 2° corsia	Lunghezza corsia accelerazione	Densità veicolare area di convergenza	LoS
Vf [PCU/h]	Vr [PCU/h]	V12 [PCU/h]	La [m]	Dr [PCU/km/ln]	
580	180	580	296	3.2	A

Tabella 23 - Los HCM per rampe e intersezioni autostradali – Ingresso A15 direzione Verona - Rampa 1

Ingresso A15 direzione Verona - Rampa 2

Lunghezza tratto di accelerazione (Lae) + lunghezza tratto di immissione (Lie) [m]: 301
 Lunghezza elemento di raccordo (Lve) [m]: 75



Ingresso A15 direzione Verona - Rampa 2					
Los - Densità su area di convergenza					
Flusso in approccio area di convergenza	Flusso su rampa	Flusso su 1° e 2° corsia	Lunghezza corsia accelerazione	Densità veicolare area di convergenza	LoS
Vf [PCU/h]	Vr [PCU/h]	V12 [PCU/h]	La [m]	Dr [PCU/km/ln]	
760	400	760	376	4.1	A

Tabella 24 - Los HCM per rampe e intersezioni autostradali – Ingresso A15 direzione Verona - Rampa 2

Per la valutazione delle rampe in uscita l'HCM propone una metodologia apposita che viene riportata di seguito.

La Figura 19 seguente illustra le principali variabili previste dalla metodologia HCM per le rampe in uscita.

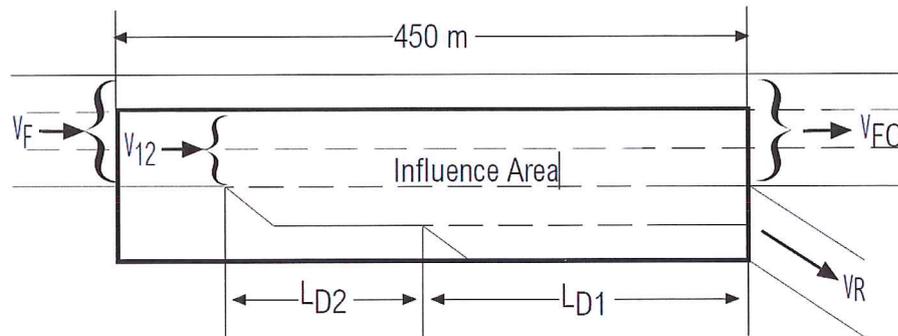


Figura 19 - Variabili per calcolo LoS su rampe autostradali in uscita

Il flusso autostradale V_F e del flusso sulla rampa V_R che approssimano l'area di influenza devono essere espressi in veicoli equivalenti.

La determinazione del flusso autostradale V_{12} che transita sulla 1° e sulla 2° corsia avviene con le seguenti formule.

In caso di carreggiata autostradale a 3 corsie per senso di marcia (unica configurazione analizzata) e singola corsia in uscita:

$$V_{12} = V_R + (V_F - V_R) * (0.760 - 0.000025 * V_F - 0.000046 * V_R)$$

In caso di carreggiata autostradale a 3 corsie per senso di marcia (unica configurazione analizzata) e doppia corsia in uscita:

$$V_{12} = V_R + (V_F - V_R) * 0.45$$

La densità veicolare D_R si determina quindi, sia in caso di uscita a singola corsia che di uscita a doppia corsia, con la seguente formula:

$$D_R = 2.642 + 0.0053 * V_{12} - 0.0183 * L_D$$

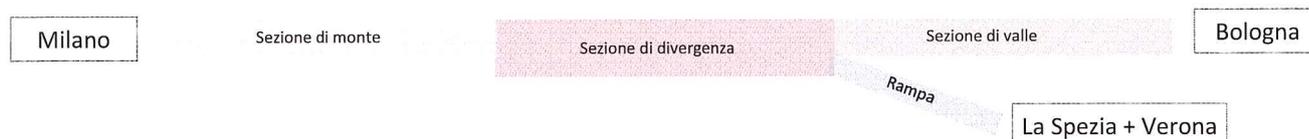
dove L_D è la lunghezza della corsia di decelerazione che viene sostituita da $L_{D\text{eff}} = 2L_{D1} + L_{D2}$ nel caso di doppia corsia in uscita (con riferimento allo schema esemplificativo delle variabili riportato in Figura 19).

Di seguito vengono riportati i risultati ottenuti per le diverse rampe di uscita analizzate.

Uscita da A1 provenienza Milano

Lunghezza tratto di manovra (Lmu) [m]: 90

Lunghezza tratto di decelerazione (Ldu) [m]: 395



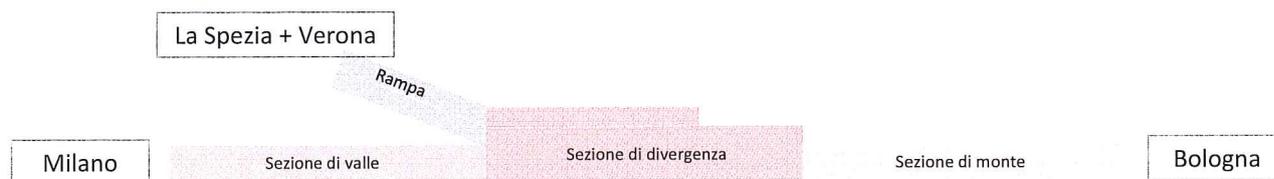
Uscita A1 provenienza Milano					
Los - Densità su area di divergenza					
Flusso in approccio area di divergenza	Flusso su rampa	Flusso su 1° e 2° corsia	Lunghezza corsia decelerazione	Densità veicolare area di divergenza	LoS
Vf [PCU/h]	Vr [PCU/h]	V12 [PCU/h]	Ld [m]	Dr [PCU/km/ln]	
5270	920	3469	440	13.0	C

Tabella 25 - Los HCM per rampe e intersezioni autostradali – Uscita A1 provenienza Milano

Uscita da A1 provenienza Bologna

Lunghezza tratto di manovra (Lmu) [m]: 186.2

Lunghezza tratto di decelerazione (Ldu) [m]: 216.2



Uscita A1 provenienza Bologna					
Los - Densità su area di divergenza					
Flusso in approccio area di divergenza	Flusso su rampa	Flusso su 1° e 2° corsia	Lunghezza corsia decelerazione	Densità veicolare area di divergenza	LoS
Vf [PCU/h]	Vr [PCU/h]	V12 [PCU/h]	Ldeff [m]	Dr [PCU/km/ln]	
5010	790	2689	525.5	7.3	B

Tabella 26 - Los HCM per rampe e intersezioni autostradali – Uscita A1 provenienza Bologna

3.1.3 VALUTAZIONE LOS IN CASO DI REALIZZAZIONE DELLA 4° CORSIA SULL'A1

Il Livello di Servizio delle rampe di immissione ed uscita su A1 è stato calcolato, a titolo di verifica ed analisi di sensitività, anche in caso di realizzazione della 4° corsia sull'A1.

Le metodologie e le modalità utilizzate sono le medesime illustrate nei paragrafi 3.1.1 e 3.1.2 ad eccezione delle seguenti formule specifiche suggerite dall'HCM per le configurazioni autostradali a 4 corsie per senso di marcia:

V₁₂ per rampe in ingresso In caso di carreggiata autostradale a 4 corsie per senso di marcia:

$$V_{12} = V_F * (0.2178 - 0.000125 * V_R + 0.05887 L_A / S_{FR})$$

dove S_{FR} = velocità di libero deflusso sulla rampa = 80 km/h

V₁₂ per rampe in uscita in caso di carreggiata autostradale a 4 corsie per senso di marcia e singola corsia in uscita:

$$V_{12} = V_R + (V_F - V_R) * 0.43$$

V₁₂ per rampe in uscita in caso di carreggiata autostradale a 4 corsie per senso di marcia e doppia corsia in uscita:

$$V_{12} = V_R + (V_F - V_R) * 0.26$$

Di seguito si riportano i risultati ottenuti sia con il metodo di valutazione F/C sia con il metodo HCM per rampe e intersezioni autostradali.

Ingresso A1 direzione Milano

Metodo F/C

Ingresso A1 direzione Milano				
LoS - Capacità sezioni				
	Sezione di monte	Rampa	Sezione di merging	Sezione di valle
N° corsie	4	1	5	4
Capacità sezione PCUs/h	9200	1400	10600	9200
Flusso leggeri	2280	490	2770	2770
Flusso pesanti	970	210	1180	1180
Flusso equivalenti	4220	910	5130	5130
F/C	0.46	0.65	0.48	0.56
Los	B	C	B	C

Tabella 27 - Los con metodo F/C test 4° corsia A1 – Ingresso A1 direzione Milano

Metodo HCM per rampe e intersezioni autostradali.

Lunghezza tratto di accelerazione (L_{ae}) + lunghezza tratto di immissione (L_{ie}) [m]: 519.9

Lunghezza elemento di raccordo (L_{ve}) [m]: 75

Ingresso A1 direzione Milano					
Los - Densità su area di convergenza					
Flusso in approccio area di convergenza	Flusso su rampa	Flusso su 1° e 2° corsia	Lunghezza corsia accelerazione	Densità veicolare area di convergenza	LoS
V _f [PCU/h]	V _r [PCU/h]	V ₁₂ [PCU/h]	L _a [m]	D _r [PCU/km/ln]	
4220	910	2286	594.9	10.9	B

Tabella 28 - Los HCM per rampe e intersezioni autostradali test 4° corsia A1 – Ingresso A1 direzione Milano

Ingresso A1 direzione Bologna

Metodo F/C

Ingresso A1 direzione Bologna				
LoS - Capacità sezioni				
	Sezione di monte	Rampa	Sezione di merging	Sezione di valle
N° corsie	4	1	5	4
Capacità sezione PCUs/h	9200	1400	10600	9200
Flusso leggeri	2350	400	2750	2750
Flusso pesanti	1000	200	1200	1200
Flusso equivalenti	4350	800	5150	5150
F/C	0.47	0.57	0.49	0.56
Los	B	C	B	C

Tabella 29 - Los con metodo F/C test 4° corsia A1 – Ingresso A1 direzione Bologna

Metodo HCM per rampe e intersezioni autostradali.

Lunghezza tratto di accelerazione (Lae) + lunghezza tratto di immissione (Lie) [m]: 464.1

Lunghezza elemento di raccordo (Lve) [m]: 75

Ingresso A1 direzione Bologna					
Los - Densità su area di convergenza					
Flusso in approccio area di convergenza	Flusso su rampa	Flusso su 1° e 2° corsia	Lunghezza corsia accelerazione	Densità veicolare area di convergenza	LoS
Vf [PCU/h]	Vr [PCU/h]	V12 [PCU/h]	La [m]	Dr [PCU/km/ln]	
4350	800	2238	539.1	10.9	B

Tabella 30 - Los HCM per rampe e intersezioni autostradali test 4° corsia A1 – Ingresso A1 direzione Bologna

Uscita da A1 provenienza Milano
Metodo F/C

Uscita A1 provenienza Milano				
LoS - Capacità sezioni				
	Sezione di monte	Sezione di divergenza	Rampa	Sezione di valle
N° corsie	4	5	1	4
Capacità sezione PCUs/h	9200	10600	1400	9200
Flusso leggeri	2850	2850	500	2350
Flusso pesanti	1210	1210	210	1000
Flusso equivalenti	5270	5270	920	4350
F/C	0.57	0.50	0.66	0.47
Los	C	B	C	B

Tabella 31 - Los con metodo F/C test 4° corsia A1 – Uscita A1 provenienza Milano

Metodo HCM per rampe e intersezioni autostradali.

Lunghezza tratto di manovra (Lmu) [m]: 90

Lunghezza tratto di decelerazione (Ldu) [m]: 395

Uscita A1 provenienza Milano					
Los - Densità su area di divergenza					
Flusso in approccio area di divergenza	Flusso su rampa	Flusso su 1° e 2° corsia	Lunghezza corsia decelerazione	Densità veicolare area di divergenza	LoS
Vf [PCU/h]	Vr [PCU/h]	V12 [PCU/h]	Ld [m]	Dr [PCU/km/ln]	
5270	920	2817	440	9.5	B

Tabella 32 - Los HCM per rampe e intersezioni autostradali test 4° corsia A1 – Uscita A1 provenienza Milano

Uscita da A1 provenienza Bologna
Metodo F/C

Uscita A1 provenienza Bologna				
LoS - Capacità sezioni				
	Sezione di monte	Sezione di divergenza	Rampa	Sezione di valle
N° corsie	4	5	2	4
Capacità sezione PCUs/h	9200	11300	2800	9200
Flusso leggeri	2670	2670	390	2280
Flusso pesanti	1170	1170	200	970
Flusso equivalenti	5010	5010	790	4220
F/C	0.54	0.44	0.28	0.46
Los	B	B	A	B

Tabella 33 - Los con metodo F/C test 4° corsia A1 – Uscita A1 provenienza Bologna

Metodo HCM per rampe e intersezioni autostradali.

Lunghezza tratto di manovra (Lmu) [m]: 180

Lunghezza tratto di decelerazione (Ldu) [m]: 213.5

Uscita A1 provenienza Bologna					
Los - Densità su area di divergenza					
Flusso in approccio area di divergenza	Flusso su rampa	Flusso su 1° e 2° corsia	Lunghezza corsia decelerazione	Densità veicolare area di divergenza	LoS
Vf [PCU/h]	Vr [PCU/h]	V12 [PCU/h]	Ldeff [m]	Dr [PCU/km/ln]	
5010	790	1887	517	3.2	A

Tabella 34 - Los HCM per rampe e intersezioni autostradali test 4° corsia A1 – Uscita A1 provenienza Bologna

3.2 VALUTAZIONE FUNZIONALE DELLE RAMPE CON MODELLO DI MICROSIMULAZIONE

Ai fini della valutazione di funzionalità delle rampe di immissione è stato costruito un apposito modello di microsimulazione con il software Aimsun sviluppato da TSS.

Il modello riproduce nel dettaglio le 6 rampe d' immissione analizzate caratterizzando le infrastrutture con parametri dimensionali, cinematici e comportamentali ai fini di rappresentare fedelmente il comportamento dei veicoli. In particolare è stato considerato:

- tipologia e classe delle infrastrutture;
- numero delle corsie;
- lunghezza delle corsie di accelerazione;
- parametri cinematici dei veicoli;
- composizione della domanda veicolare consistente con quanto presentato nel capitolo 2.

Sono, inoltre, state effettuati numerosi test ai fini di calibrare il modello comportamentale dei veicoli e le condizioni di rilascio degli stessi in rete.

Il modello produce delle simulazioni stocastiche introducendo una variabilità casuale nelle condizioni di rilascio dei veicoli in rete. Per questa ragione i risultati presentati sono il risultato di una media di numerose simulazioni in modo da garantire un risultato il più possibile rappresentativo di una realtà articolata.

Nella Figura 20 seguente sono rappresentati i segmenti di rete modellizzati.

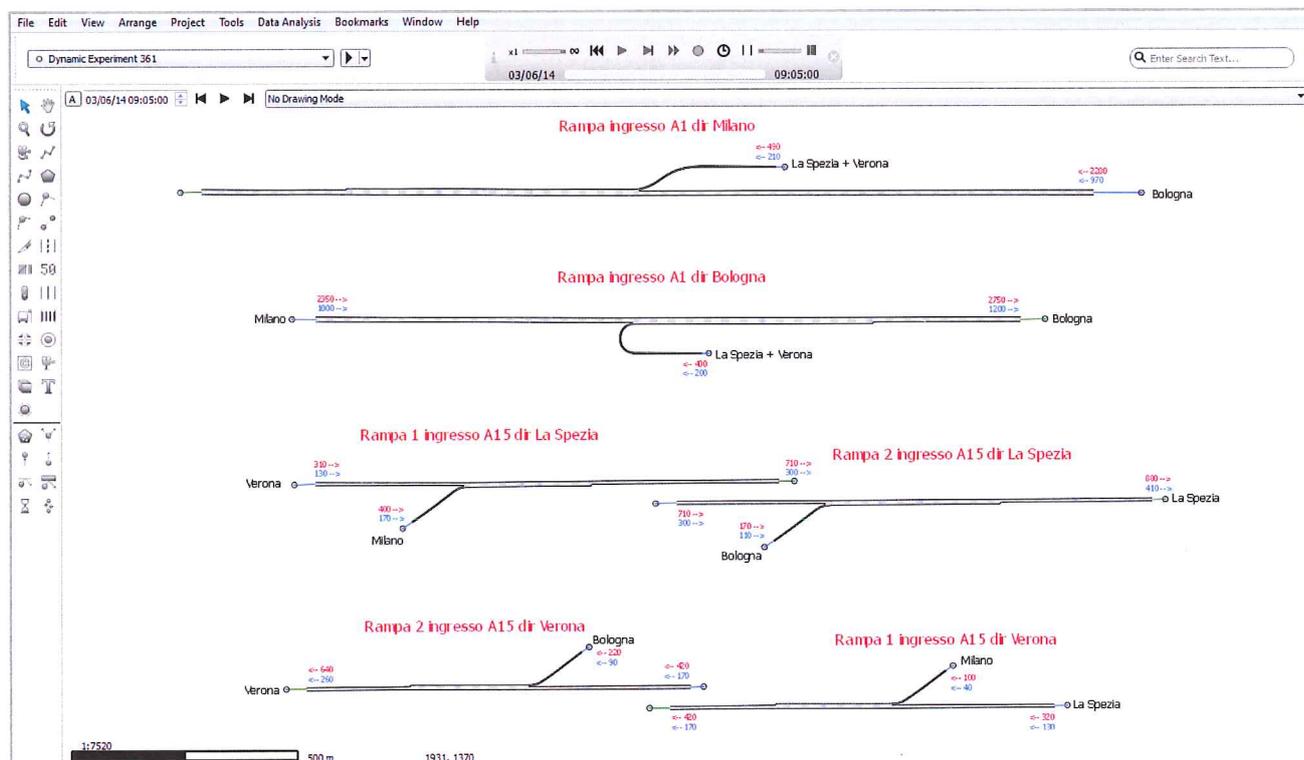


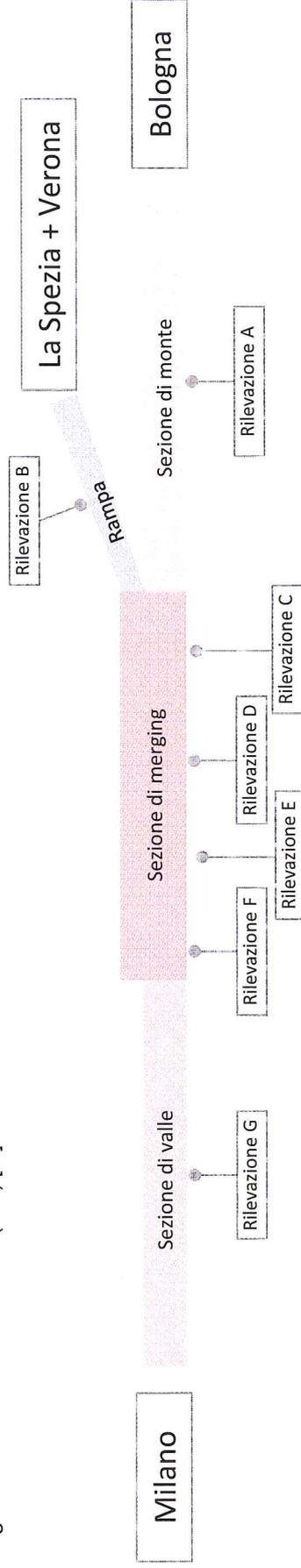
Figura 20 - Rete modellizzata

Di seguito vengono riportati i risultati ottenuti per le diverse rampe di immissione analizzate.

Ingresso A1 direzione Milano

Lunghezza tratto di accelerazione (Lae) + lunghezza tratto di immissione (Lie) [m]: 532.3

Lunghezza elemento di raccordo (Lve) [m]: 75



Ingresso A1 direzione Milano

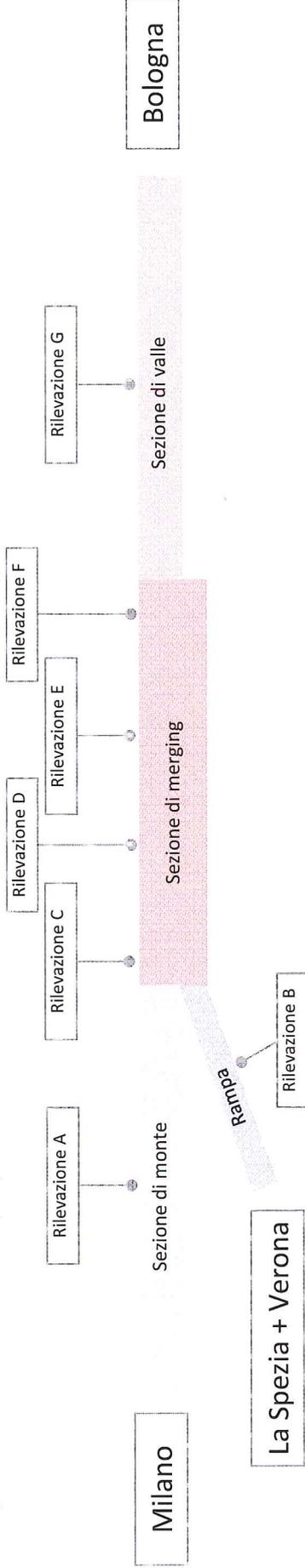
Funzionalità rampa modello di microsimulazione - Velocità media veicoli

	Sezione di valle			Rampa			Sezione di merging						Sezione di valle			
	Rilevazione A	Rilevazione B	Rilevazione C	Rilevazione D	Rilevazione E	Rilevazione F	Rilevazione G	Rilevazione A	Rilevazione B	Rilevazione C	Rilevazione D	Rilevazione E	Rilevazione F	Rilevazione G	Flusso [Veh]	Velocità [km/h]
Corsia accelerazione																
Corsia 1	1062	97.9	700	42.7	700	1092	80.5	81	83.6	25	31	1422	82.5			
Corsia 2	1168	99.5			1194	88.8	80.0	1419	82.9	1359	81	1432	93.8			
Corsia 3	1112	98.6			1103	96.3	95.2	1396	94.9	1351	93	1230	100.9			
Velocità pesata corsia accel. [km/h]							60.3									
Velocità pesata corsia 1 [km/h]		97.9					82.7									
Velocità pesata corsia 2 [km/h]		99.5					94.7									
Velocità pesata corsia 3 [km/h]		98.6					97.7									
Velocità pesata sezione [km/h]		98.7		42.7			89.5									92.0

Tabella 35 - Funzionalità rampa modello di microsimulazione - Ingresso A1 direzione Milano

Ingresso A1 direzione Bologna

- Lunghezza tratto di accelerazione (Lae) + lunghezza tratto di immissione (Lie) [m]: 471.7
- Lunghezza elemento di raccordo (Lve) [m]: 75



Ingresso A1 direzione Bologna

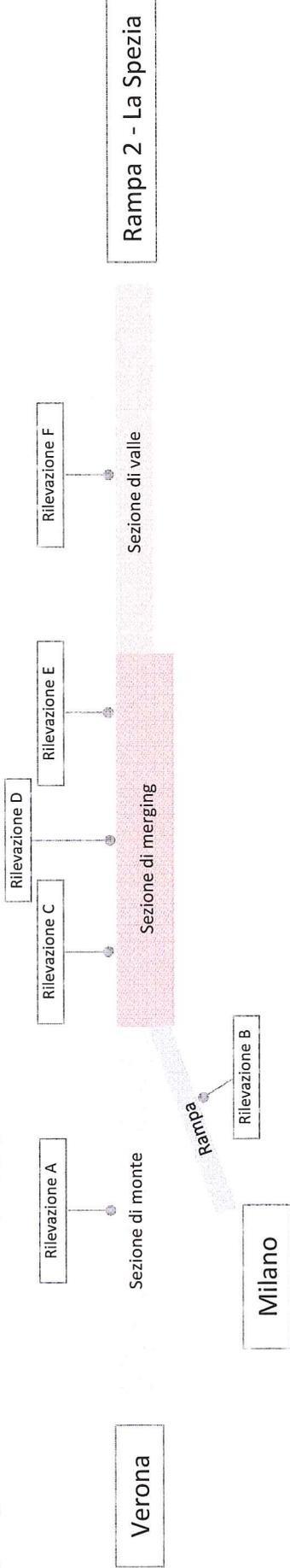
Funzionalità rampa modello di microsimulazione - Velocità media veicoli

	Sezione di monte		Rampa		Sezione di merging						Sezione di valle		
	Rilevazione A	Rilevazione B	Rilevazione A	Rilevazione B	Rilevazione C	Rilevazione D	Rilevazione E	Rilevazione F	Rilevazione G	Flusso [Veh]	Velocità [km/h]	Flusso [Veh]	Velocità [km/h]
Corsia accelerazione													
Corsia 1	1108	97.0	600	43.1	600	54.8	135	80.4	53	83.7	16	31	
Corsia 2	1198	99.3			1128	87.9	1476	80.7	1411	83.4	1359	82	82.8
Corsia 3	1137	98.7			1225	96.0	1386	95.0	1411	94.7	1361	93	93.4
Velocità pesata corsia accel. [km/h]					1130	95.5	1108	97.8	1201	97.7	1221	97	100.1
Velocità pesata corsia 1 [km/h]							60.5						
Velocità pesata corsia 2 [km/h]		97.0					83.2						82.8
Velocità pesata corsia 3 [km/h]		99.3					94.5						93.4
Velocità pesata sezione [km/h]		98.7					96.9						100.1
		98.3		43.1			89.8						91.7

Tabella 36 - Funzionalità rampa modello di microsimulazione - Ingresso A1 direzione Bologna

Ingresso A15 direzione La Spezia - Rampa 1

Lunghezza tratto di accelerazione (Lae) + lunghezza tratto di immissione (Lie) [m]: 335
 Lunghezza elemento di raccordo (Lve) [m]: 75

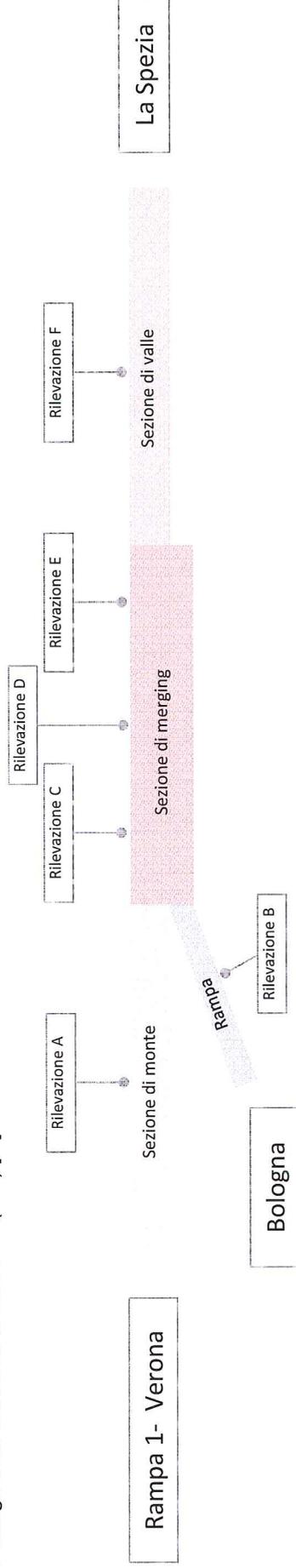


Ingresso A15 direzione La Spezia - Rampa 1												
Funzionalità rampa modello di microsimulazione - Velocità media veicoli												
	Sezione di monte		Rampa		Sezione di merging						Sezione di valle	
	Rilevazione A	Rilevazione B	Rilevazione C	Rilevazione D	Rilevazione E	Rilevazione F	Flusso [Veh]	Velocità [km/h]	Flusso [Veh]	Velocità [km/h]	Flusso [Veh]	Velocità [km/h]
Corsia accelerazione							569	55.8	4	93.7	0	11.8
Corsia 1	220	102.3	570	43.0	572	71.9	570	91.9	518	94.1	605	95.5
Corsia 2	223	103.3			254	103.2	473	102.4	492	104.5	441	107.2
Velocità pesata corsia accel. [km/h]									56.0			
Velocità pesata corsia 1 [km/h]	102.3								85.7			95.5
Velocità pesata corsia 2 [km/h]	103.3								103.4			107.2
Velocità pesata sezione [km/h]	102.8		43.0						87.0			100.4

Tabella 37 - Funzionalità rampa modello di microsimulazione - Ingresso A15 direzione La Spezia - Rampa 1

Ingresso A15 direzione La Spezia - Rampa 2

 Lunghezza tratto di accelerazione (L_{ae}) + lunghezza tratto di immissione (L_{ie}) [m]: 507.5

 Lunghezza elemento di raccordo (L_{ve}) [m]: 75


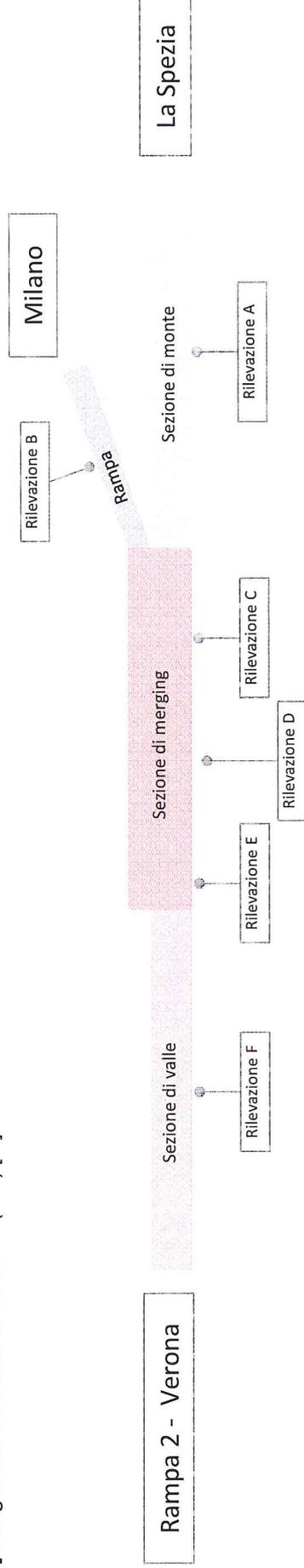
Ingresso A15 direzione La Spezia - Rampa 2												
Funzionalità rampa modello di microsimulazione - Velocità media veicoli												
	Sezione di monte		Rampa		Sezione di merging						Sezione di valle	
	Rilevazione A	Rilevazione B	Rilevazione C	Rilevazione D	Rilevazione E	Rilevazione F	Flusso [Veh]	Velocità [km/h]	Flusso [Veh]	Velocità [km/h]	Flusso [Veh]	Velocità [km/h]
Corsia accelerazione							234	64.4	2	83.3	0	1.7
Corsia 1	511	102.3	280	43.0	727	90.6	672	92.6	618	618	91.8	93.2
Corsia 2	519	102.0			591	102.1	649	105.3	672	672	104.9	105.9
Velocità pesata corsia accel. [km/h]							64.5					
Velocità pesata corsia 1 [km/h]		102.3					91.7					93.2
Velocità pesata corsia 2 [km/h]		102.0					104.2					105.9
Velocità pesata sezione [km/h]		102.1		43.0			95.9					99.0

Tabella 38 - Funzionalità rampa modello di microsimulazione - Ingresso A15 direzione La Spezia - Rampa 2

Ingresso A15 direzione Verona - Rampa 1

Lunghezza tratto di accelerazione (L_{ae}) + lunghezza tratto di immissione (L_{ie}) [m]: 256

Lunghezza elemento di raccordo (L_{ve}) [m]: 40



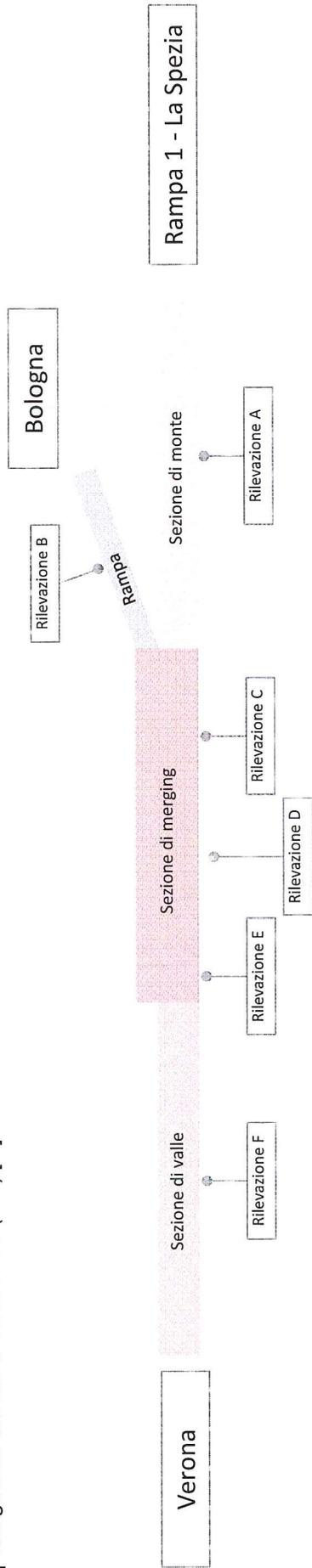
Ingresso A15 direzione Verona - Rampa 1																		
Funzionalità rampa modello di microsimulazione - Velocità media veicoli																		
	Sezione di monte			Rampa			Sezione di merging						Sezione di valle					
	Rilevazione A	Flusso [Veh]	Velocità [km/h]	Rilevazione B	Flusso [Veh]	Velocità [km/h]	Rilevazione C	Flusso [Veh]	Velocità [km/h]	Rilevazione D	Flusso [Veh]	Velocità [km/h]	Rilevazione E	Flusso [Veh]	Velocità [km/h]	Rilevazione F	Flusso [Veh]	Velocità [km/h]
Corsia accelerazione																		
Corsia 1		226	102.6		140	43.3		68	65.3	3	87.4	0	2.5				373	98.4
Corsia 2		228	102.8					343	87.7	333	96.6	323	98.8				238	106.7
Velocità pesata corsia accel. [km/h]													66.0					
Velocità pesata corsia 1 [km/h]			102.6										94.3					98.4
Velocità pesata corsia 2 [km/h]			102.8										103.0					106.7
Velocità pesata sezione [km/h]			102.7			43.3							96.9					101.6

Tabella 39 - Funzionalità rampa modello di microsimulazione - Ingresso A15 direzione Verona - Rampa 1

Ingresso A15 direzione Verona - Rampa 2

Lunghezza tratto di accelerazione (Lae) + lunghezza tratto di immissione (Lie) [m]: 301

Lunghezza elemento di raccordo (Lve) [m]: 75



Ingresso A15 direzione Verona - Rampa 2												
Funzionalità rampa modello di microsimulazione - Velocità media veicoli												
	Sezione di monte			Rampa			Sezione di merging			Sezione di valle		
	Rilevazione A	Rilevazione B	Rilevazione C	Rilevazione D	Rilevazione E	Rilevazione F	Rilevazione A	Rilevazione B	Rilevazione C	Rilevazione D	Rilevazione E	Rilevazione F
	Flusso [Veh]	Velocità [km/h]	Flusso [Veh]	Velocità [km/h]	Flusso [Veh]	Velocità [km/h]	Flusso [Veh]	Velocità [km/h]	Flusso [Veh]	Velocità [km/h]	Flusso [Veh]	Velocità [km/h]
Corsia accelerazione			170	64.4	4	84.5	0	3.8				
Corsia 1	300	102.8	528	83.3	502	94.7	474	97.3	549	96.4		
Corsia 2	297	102.6	339	102.5	418	102.6	426	103.7	384	108.3		
Velocità pesata corsia accel. [km/h]						64.8						
Velocità pesata corsia 1 [km/h]		102.8				91.5						96.4
Velocità pesata corsia 2 [km/h]		102.6				103.0						108.3
Velocità pesata sezione [km/h]		102.7				94.6						101.3

Tabella 40 - Funzionalità rampa modello di microsimulazione - Ingresso A15 direzione Verona - Rampa 2

Come si può osservare dalle tabelle precedenti, l'analisi di funzionalità tramite modello di microsimulazione ha prodotto una misurazione dettagliata dei flussi e delle velocità sulle diverse sezioni e per le diverse corsie delle rampe analizzate.

I valori di velocità risultano compatibili con le valutazioni dei Livelli di Servizio fornite nei paragrafi precedenti.

Le velocità sulle rampe di immissione registrano valori attorno a 40 km/h in virtù delle limitazioni sull'infrastruttura (come da normativa), mentre la velocità sulle sezioni a monte della rampa di immissione risulta compatibile con le condizioni di traffico che caratterizzano l'intervallo di simulazione (ora di punta del giorno medio).

In particolare i flussi e le velocità registrate sulle corsie di immissione in A1 evidenziano una performance adeguata con 25 veicoli nell'ora di punta che vengono costretti a percorrere l'intera lunghezza della corsia d'immissione in direzione Milano (su 700 vedi Tabella 35 – rilevazione F – corsia di accelerazione) e solo 16 veicoli in direzione Bologna (su 600 vedi Tabella 36 – rilevazione F – corsia di accelerazione).

L'impatto dei veicoli in immissione sui flussi in transito sull'autostrada risulta contenuto nell'ordine di 10-15 km/h per i veicoli sulla 1° corsia nei casi peggiori (immissioni in A1).

L'analisi dell'andamento delle velocità lungo il segmento d'infrastruttura autostradale analizzato evidenzia come il massimo decremento della velocità per i flussi in transito si abbia, in molti casi, sulla parte iniziale della sezione immediatamente a valle dell'immissione. Questo risulta spiegabile con il maggiore impatto sui flussi transitanti di quella frazione di veicoli in immissione che è costretta a percorrere l'intera corsia di accelerazione. Questa frazione, infatti, pur essendo di entità limitata, entra nel flusso autostradale (soprattutto nella 1° corsia) a bassa velocità contribuendo ad diminuire la performance dell'intero flusso autostradale, seppur per un tratto limitato.

Questo fenomeno risulta trascurabile sulle rampe con il migliore Livello di Servizio e quindi con un basso numero di veicoli costretti a percorrere l'intera corsia di accelerazione.

La 2° e 3° corsia risultano meno o del tutto insensibili al decremento di velocità.

4 CONCLUSIONI

Le analisi condotte hanno evidenziato un Livello di Servizio nell'ora di punta del giorno medio con la metodologia HCM pari a:

- C per le rampe d'immissione sull'A1;
- A per le rampe d'immissione sull'A15;
- B per la rampa di uscita dall'A1 con provenienza da Bologna;
- C per la rampa di uscita dall'A1 con provenienza da Milano, peraltro con valori di densità veicolare prossimi alla soglia identificativa del LoS B.

Nell'analisi si è tenuto conto di una serie di elementi in favore di sicurezza quali:

- la scelta dello scenario di crescita del traffico al 2025 maggiore fra i due ipotizzati;
- la scelta di un coefficiente di equivalenza mezzi pesanti / mezzi leggeri pari a 2, considerato prudente dall'HCM;
- il mantenimento della sezione dell'A1 a 3 corsie;
- il fatto che le stime di traffico facciano comunque riferimento ad un TiBre completo (fino a Nogarole Rocca) e non terminato a sud del Po.

Questi risultati risultano adeguati anche in considerazione del traffico attualmente passante sull'A1.

A titolo di verifica e analisi di sensitività, è stato testato il Livello di Servizio delle rampe d' immissione in A1 in caso di realizzazione della quarta corsia: tale condizione ha consentito di migliorare il LoS delle immissioni garantendo un valore pari a B.

Tale miglioramento è verificato anche relativamente alle uscite, in particolare, la rampa con provenienza da Bologna raggiunge un LoS pari a A, mentre quella con provenienza da Milano si consolida al LoS B.

L'analisi di funzionalità effettuata con l'ausilio del modello di microsimulazione ha dato risultati confrontabili con quanto emerso dall'analisi dei Livelli di Servizio HCM senza evidenziare condizioni critiche.