



Regione
Lombardia



Comune di Milano



AIPO

Agenzia Interregionale per il fiume Po

Ufficio Periferico di Milano

(MI-E-789)

VASCA DI LAMINAZIONE DEL FIUME SEVESO IN COMUNE DI SENAGO (MI)

PROGETTO ESECUTIVO

CUP. B19H12000270002

PROGETTISTA:



ambiente risorse territorio

strada Pietro Del Prato 15/A 43121 Parma tel. +39 0521 090911 fax +39 0521 090933
www.artambiente.it info@artambiente.it



via Pomba 23 - 10123 Torino Tel. +39 011 5592811 - Fax +39 011 5620620
www.hydrodata.it hydrodata@hydrodata.it



Il Progettista - Responsabile di progetto e delle integrazioni e prestazioni specialistiche:

Dott. Ing. Ivo FRESIA



Il Coordinatore per la sicurezza in fase di progettazione:

Dott. Ing. Giuseppe CAMPI

Il Geologo:

Dott. Geol. Marco BERSANO

VISTO: Il Responsabile del procedimento

Dott. Ing. Marco La Veglia

02					
01	REVISIONE PER VALIDAZIONE	Aprile 2019	G. CAMPI	G. CAMPI	I. FRESIA
00	EMISSIONE	Dicembre 2018	G. CAMPI	G. CAMPI	I. FRESIA
rev.	descrizione	data	redatto	verificato	approvato

**DOCUMENTAZIONE TECNICA
OPERE D'ARTE - I STRALCIO
NUOVA BRETELLA DI COLLEGAMENTO TRA VIA STATI UNITI
E LA SP175
RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO**

elaborato **01.05.04.08**

INDICE

1	Premessa.....	2
2	I riferimenti normativi.....	3
3	Il tracciato piano-altimetrico.....	4
4	La sezione tipo della bretella stradale.....	6
5	La sezione tipo della rotatoria.....	8
6	Il dimensionamento funzionale della rotatoria	9
6.1	<i>Stima della domanda di traffico.....</i>	9
6.2	<i>Calcolo della capacità</i>	11
6.3	<i>Il livello di servizio</i>	16
7	Il calcolo della pavimentazione stradale	17
7.1	<i>Il metodo di calcolo</i>	17
7.2	<i>Calcolo della sovrastruttura stradale.....</i>	23
7.3	<i>Conclusioni</i>	24
8	I dispositivi di ritenuta stradale.....	25
9	La verifica grafica della deflessione delle traiettorie in rotatoria	27
10	La verifica grafica dei campi di visibilità in rotatoria	29
11	La verifica grafica delle manovre dei veicoli in rotatoria.....	31
	APPENDICE: la verifica grafica delle manovre dei veicoli in rotatoria	32

1 Premessa

Nell'ambito del Progetto Esecutivo della "Vasca di laminazione sul fiume Seveso in comune di Senago (MI)", è prevista la realizzazione di una nuova bretella di collegamento stradale tra la S.P. 175 e via Stati Uniti d'America in Senago.

L'innesto sulla strada provinciale sarà ottenuto aggiungendo un nuovo ramo alla rotatoria esistente a sud del centro abitato, tra S.P. 119, S.P. 175 e via De Gasperi, mentre l'attuale intersezione tra via Stati Uniti d'America e via Francia sarà riorganizzata mediante la costruzione di nuova rotatoria compatta.

La nuova strada in progetto appartiene alla categoria "F – Locale Urbana", con corsie di marcia larghe 3.50 m, come richiesto dal Comune.

Nel proseguo della presente relazione vengono trattati i seguenti argomenti, in risposta alle richieste di integrazione progettuale ricevute per l'ottenimento della validazione del progetto:

- I riferimenti normativi
- Il tracciato plano-altimetrico
- La sezione tipo della bretella stradale
- La sezione tipo della rotatoria
- Il dimensionamento funzionale della rotatoria
- Il calcolo della pavimentazione stradale
- I dispositivi di ritenuta stradale
- La verifica grafica della deflessione delle traiettorie in rotatoria
- La verifica grafica dei campi di visibilità in rotatoria
- La verifica grafica delle manovre dei veicoli in rotatoria

2 I riferimenti normativi

Il presente progetto , relativamente agli aspetti stradali, è stato redatto sulla base dei seguenti riferimenti normativi:

- D.Lgs. 30-04-92, n. 285 e s.m.i.: “Nuovo Codice della Strada”;
- D.P.R. 16-12-1992 n. 495 e s.m.i.: “Regolamento di esecuzione e di attuazione del Codice della Strada”;
- DM 05-11-01, n. 6792 e s.m.i.: “Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade”, così come modificato dal DM 22-04-04;
- DM 19-04-06 “Norme funzionali e Geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali”, pubblicato sulla G.U. n. 170 del 24-07-06;
- DM 18-02-92, n. 223: “Regolamento recante istruzioni tecniche per la progettazione, l'omologazione e l'impiego delle barriere stradali di sicurezza”, così come aggiornato dal DM 21/06/04: “Aggiornamento delle istruzioni tecniche per la progettazione, l'omologazione e l'impiego delle barriere stradali di sicurezza”;
- DM 28-06-2011 “Disposizioni sull'uso e l'installazione dei dispositivi di ritenuta stradale”, pubblicato sulla G.U. n. 233 del 06-10-2011;
- Circolare del Ministero dei Trasporti 21.07.2010 prot. 0062032 “Uniforme applicazione delle norme in materia di progettazione, omologazione e impiego dei dispositivi di ritenuta nelle costruzioni stradali”;
- Regolamento Regionale della Lombardia 24/04/2006 n.7 – “Norme tecniche per la costruzione delle strade”.

In merito alla nuova rotatoria si fa presente che trattasi di adeguamento di intersezione esistente, per la quale il D.M. 19-04-06 all'art. 2 comma 3 riporta quanto segue:

“Nel caso di interventi di adeguamento di intersezioni esistenti le norme allegate costituiscono il riferimento cui la progettazione deve tendere.”

Pertanto, per la situazione attuale in cui si inserisce la rotatoria, è ammissibile che qualche verifica possa non rispettare completamente la normativa e di ciò verrà data evidenza nelle pagine seguenti.

3 Il tracciato plano-altimetrico

Il tracciato planimetrico dell'asse stradale in progetto è composto da una sequenza di rettili e curve circolari.

L'asse presenta un numero di quattro curve sinistrorse, con raggio planimetrico minimo pari a 15.00 m, mentre i rettili sono in numero di cinque. Il primo e l'ultimo rappresentano segmenti di appoggio per la costruzione dei rami d'innesto nelle rotatorie di inizio e fine intervento.

Di seguito si riporta un riepilogo tabellare dei dati di tracciamento e delle caratteristiche geometriche.

Dati di tracciamento	
Progressiva Iniziale (m): 0.00	Lunghezza (m) : 376.45
Progressiva Finale (m): 376.45	
Strada Tipo : F Strada locale urbana	
Intervallo di Velocità di progetto (Km/h): 25 <= Vp <= 60	

Rettilifilo 1 ProgI 0.00 - ProgF 41.07	
Coordinate P.to Iniziale X:	509118.32
Coordinate P.to Iniziale Y:	5045605.40
Coordinate P.to Finale X:	509159.40
Coordinate P.to Finale Y:	5045605.43
Lunghezza :	41.07
Azimut :	89.9576

Curva 2 Sinistra ProgI 41.07 - ProgF 65.91	
Coordinate vertice X:	509171.95
Coordinate vertice Y:	5045605.44
Coordinate I punto Tg X:	509159.40
Coordinate I punto Tg Y:	5045605.43
Coordinate II punto Tg X:	509183.71
Coordinate II punto Tg Y:	5045609.81
Tangente Prim. 1:	12.55
Tangente Prim. 2:	12.55
Alfa Ang. al Vert.:	290.3293
TT1 Tangente 1:	12.55
TT2 Tangente 2:	12.55
Numero Archi :	1

Arco ProgI 41.07 - ProgF 65.91	
Coordinate vertice X:	509171.95
Coordinate vertice Y:	5045605.44
Coordinate I punto Tg X:	509159.40
Coordinate I punto Tg Y:	5045605.43
Coordinate II punto Tg X:	509183.71
Coordinate II punto Tg Y:	5045609.81
Raggio :	70.00
Tangente :	12.55
Saetta :	1.10
Angolo al vertice :	69.6707
Sviluppo :	24.84
Corda :	24.71

Rettilifilo 3 ProgI 65.91 - ProgF 139.93	
Coordinate P.to Iniziale X:	509183.71
Coordinate P.to Iniziale Y:	5045609.81
Coordinate P.to Finale X:	509253.10
Coordinate P.to Finale Y:	5045635.58
Lunghezza :	74.02
Azimut :	69.6284

Curva 4 Sinistra ProgI 139.93 - ProgF 273.35	
Coordinate vertice X:	509316.23
Coordinate vertice Y:	5045659.02
Coordinate I punto Tg X:	509253.10
Coordinate I punto Tg Y:	5045635.58
Coordinate II punto Tg X:	509368.20
Coordinate II punto Tg Y:	5045701.83
Tangente Prim. 1:	67.34
Tangente Prim. 2:	67.34
Alfa Ang. al Vert.:	289.1110
TT1 Tangente 1:	67.34
TT2 Tangente 2:	67.34
Numero Archi :	1

Arco ProgI 139.93 - ProgF 273.35	
Coordinate vertice X:	509316.23
Coordinate vertice Y:	5045659.02
Coordinate I punto Tg X:	509253.10
Coordinate I punto Tg Y:	5045635.58
Coordinate II punto Tg X:	509368.20
Coordinate II punto Tg Y:	5045701.83

PROGETTO ESECUTIVO VASCA DI LAMINAZIONE DEL FIUME SEVESO IN COMUNE DI SENAGO (MI)

Raggio	:	400.00	Angolo al vertice	:	70.8890
Tangente	:	67.34	Sviluppo	:	133.42
Saetta	:	5.55	Corda	:	132.80

Rettifilo 5 ProgI 273.35 - ProgF 340.77					
Coordinate P.to Iniziale	X:	509368.20	Coordinate P.to Finale	X:	509420.23
	Y:	5045701.83		Y:	5045744.70
Lunghezza	:	67.42	Azimut	:	50.5174

Curva 6 Sinistra ProgI 340.77 - ProgF 347.36					
Coordinate vertice	X:	509422.82	Coordinate I punto Tg	X:	509420.23
			Coordinate I punto Tg	Y:	5045744.70
Coordinate vertice	Y:	5045746.83	Coordinate II punto Tg	X:	509424.25
			Coordinate II punto Tg	Y:	5045749.86
Tangente Prim. 1:	3.35		TT1 Tangente 1:	3.35	
Tangente Prim. 2:	3.35		TT2 Tangente 2:	3.35	
Alfa Ang. al Vert.:	295.1778		Numero Archi	:	1

Arco ProgI 340.77 - ProgF 347.36					
Coordinate vertice	X:	509422.82	Coordinate I punto Tg	X:	509420.23
Coordinate vertice	Y:	5045746.83	Coordinate I punto Tg	Y:	5045744.70
Coordinate centro curva	X:	509410.70	Coordinate II punto Tg	X:	509424.25
Coordinate centro curva	Y:	5045756.28	Coordinate II punto Tg	Y:	5045749.86
Raggio	:	15.00	Angolo al vertice	:	64.8222
Tangente	:	3.35	Sviluppo	:	6.59
Saetta	:	0.36	Corda	:	6.54

Rettifilo 7 ProgI 347.36 - ProgF 349.68					
Coordinate P.to Iniziale	X:	509424.25	Coordinate P.to Finale	X:	509425.25
	Y:	5045749.86		Y:	5045751.96
Lunghezza	:	2.32	Azimut	:	25.3396

Curva 8 Sinistra ProgI 349.68 - ProgF 358.67					
Coordinate vertice	X:	509427.19	Coordinate I punto Tg	X:	509425.25
			Coordinate I punto Tg	Y:	5045751.96
Coordinate vertice	Y:	5045756.06	Coordinate II punto Tg	X:	509427.57
			Coordinate II punto Tg	Y:	5045760.58
Tangente Prim. 1:	4.54		TT1 Tangente 1:	4.54	
Tangente Prim. 2:	4.54		TT2 Tangente 2:	4.54	
Alfa Ang. al Vert.:	290.5894		Numero Archi	:	1

Arco ProgI 349.68 - ProgF 358.67					
Coordinate vertice	X:	509427.19	Coordinate I punto Tg	X:	509425.25
Coordinate vertice	Y:	5045756.06	Coordinate I punto Tg	Y:	5045751.96
Coordinate centro curva	X:	509402.65	Coordinate II punto Tg	X:	509427.57
Coordinate centro curva	Y:	5045762.65	Coordinate II punto Tg	Y:	5045760.58
Raggio	:	25.00	Angolo al vertice	:	69.4106
Tangente	:	4.54	Sviluppo	:	8.98
Saetta	:	0.40	Corda	:	8.94

Rettifilo 9 ProgI 358.67 - ProgF 376.45					
Coordinate P.to Iniziale	X:	509427.57	Coordinate P.to Finale	X:	509429.04
	Y:	5045760.58		Y:	5045778.30
Lunghezza	:	17.78	Azimut	:	4.7502

Dal punto di vista altimetrico il profilo longitudinale presenta una sequenza di livellette raccordate tra loro mediante quattro curve verticali (due raccordi convessi e due concavi), tutte con raggio di 1000 m.

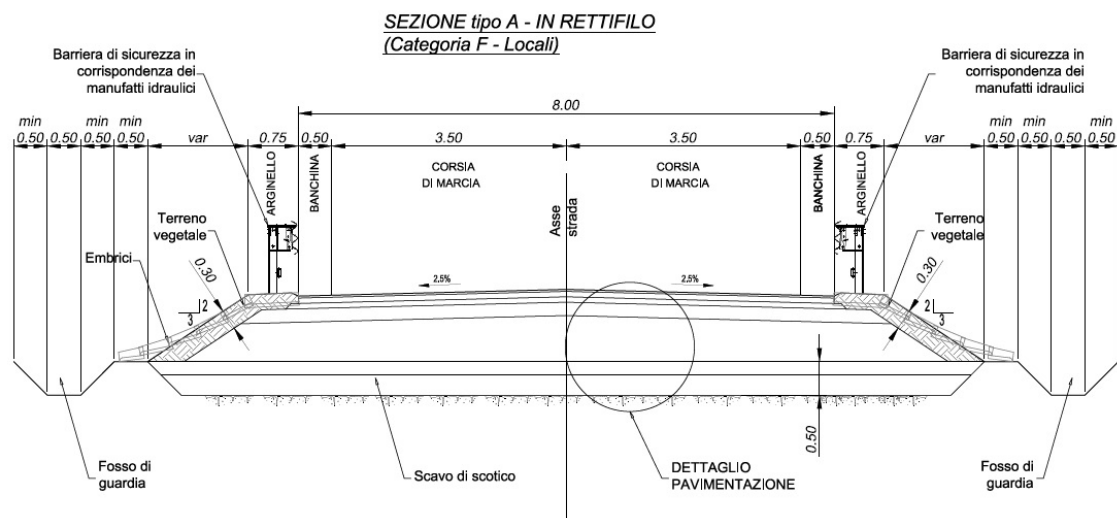
La livelletta che presenta maggiore pendenza è pari a 3.49%, inferiore al valore massimo ammissibile per le strade di tipo F locali urbane, del 10%.

4 La sezione tipo della bretella stradale

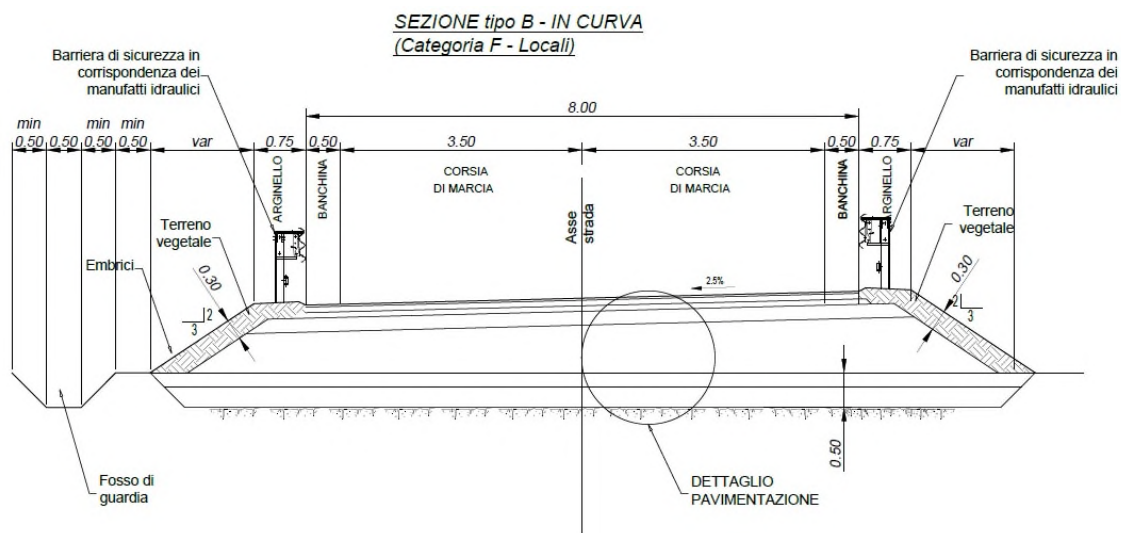
La sezione tipo adottata per la strada di collegamento tra rotonda esistente lungo la S.P. 175 e via Stati Uniti d'America appartiene alla categoria F delle strade locali in ambito urbano.

Con nota del 18/10/2017 il Comune di Senago ha segnalato la necessità di aumentare la larghezza delle corsie di marcia a 3.50m, ipotizzando la possibilità del transito di autobus (la larghezza delle corsie di marcia prevista dalla normativa per la categoria in oggetto sarebbe invece 2.75m).

La piattaforma stradale presenta pertanto una larghezza di 8.00m, costituita da una carreggiata organizzata con due corsie di marcia (una per senso di marcia) di 3.50m ciascuna e due banchine laterali pavimentate di 0.50m ciascuna.



La sezione stradale presenta una pendenza trasversale in rettilineo a doppia falda con pendenza del 2.50% (vedi sezione tipo A), mentre in curva presenta una falda unica inclinata al 2.50% verso l'interno curvatura (vedi sezione tipo B).



Il corpo stradale è realizzato in rilevato, con altezza media pari a circa 1.30m sul piano campagna.

Il piano di posa del rilevato è realizzato mediante scotico della coltre vegetale di 20cm e successivo scavo di bonifica di 30cm. Alla compattazione dello stesso piano d'impasto deve seguire la stesa di un telo in geotessile e di uno strato anticapillare in sabbia di spessore 10cm.

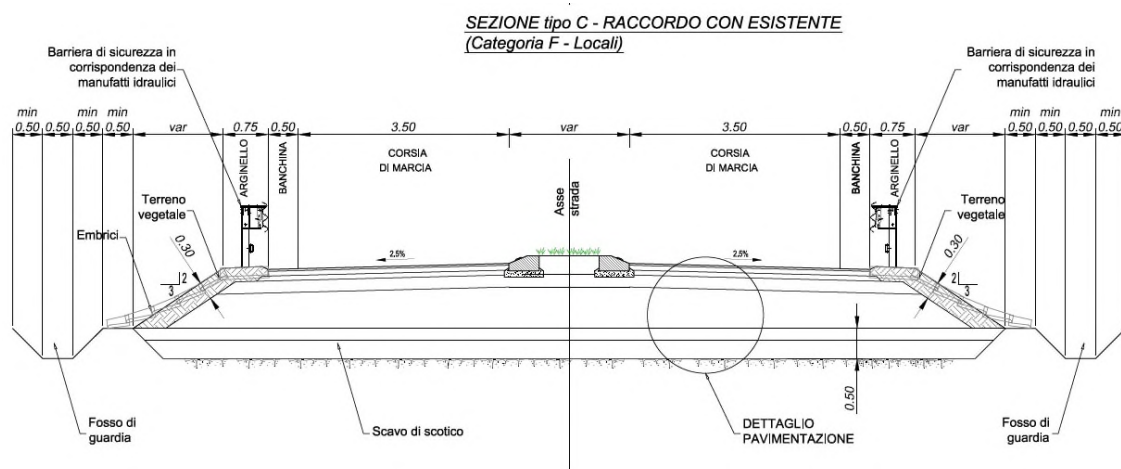
Gli elementi marginali sono costituiti da arginelli in terreno vegetale larghi 0.75m, con spessore 0.20m, dove sono installate le eventuali barriere di sicurezza.

Le scarpate del rilevato sono rivestite sempre in terreno vegetale, con spessore di 0.30m.

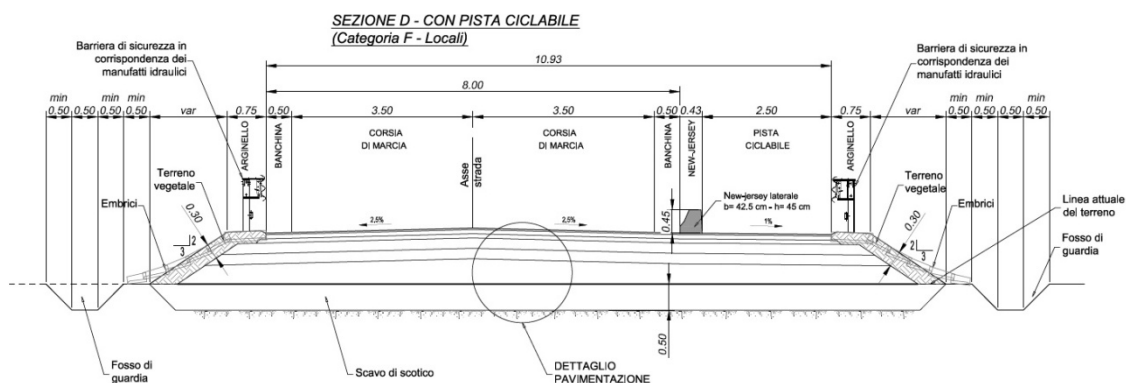
La sovrastruttura stradale è costituita dalla seguente stratigrafia di progetto:

- Strato di usura in conglomerato bituminoso di spessore 3 cm
- Strato di binder in conglomerato bituminoso di spessore 8 cm
- Strato di base in conglomerato bituminoso di spessore 10 cm
- Strato di fondazione in misto granulare stabilizzato di spessore 20 cm

In corrispondenza dell'innesto nella rotatoria tra S.P. 119, S.P. 175 e via De Gasperi è presente un'isola spartitraffico con larghezza variabile, a separazione dei rami di ingresso e di uscita dalla rotatoria stessa (vedi sezione tipo C).



In approccio alla nuova rotatoria in progetto all'intersezione tra via Stati Uniti d'America e via Francia si presenta un'ulteriore sezione tipologica con pista ciclabile di larghezza 2.50m in affiancamento alla strada e separata da questa mediante new jersey prefabbricato in cls (vedi sezione tipo D).



5 La sezione tipo della rotatoria

L'intersezione in progetto tra la nuova bretella stradale, via Stati Unite d'America e via Francia è una rotatoria di tipo compatto, avente un diametro esterno pari a 29m.

Come previsto dal DM 19/04/2006, gli elementi modulari delle rotatorie devono avere le larghezze indicate nella seguente tabella:

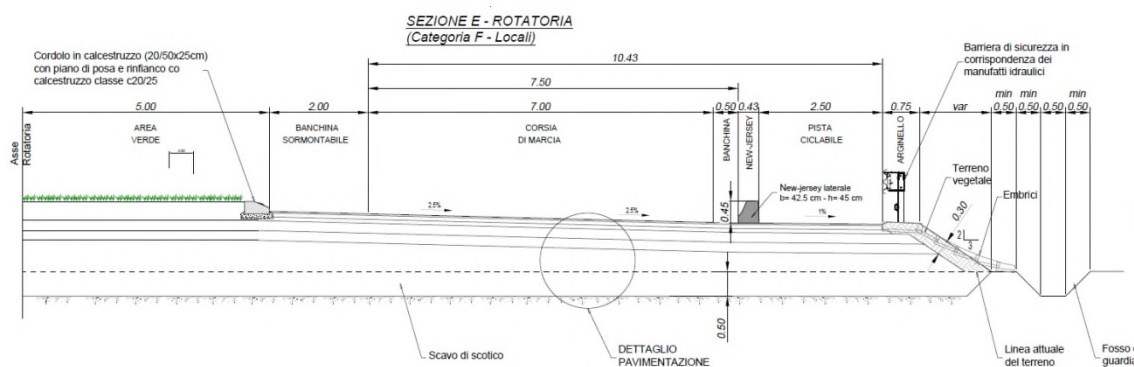
Elemento modulare	Diametro esterno della rotatoria (m)	Larghezza corsie (m)
Corsie nella corona rotatoria (*), per ingressi ad una corsia	≥ 40	6,00
	Compreso tra 25 e 40	7,00
	Compreso tra 14 e 25	7,00 - 8,00
Corsie nella corona rotatoria (*), per ingressi a più corsie	≥ 40	9,00
	< 40	8,50 - 9,00
Bracci di ingresso (**)		3,50 per una corsia 6,00 per due corsie
Bracci di uscita (*)	< 25	4,00
	≥ 25	4,50

(*) deve essere organizzata sempre su una sola corsia.

(**) organizzati al massimo con due corsie.

La piattaforma pavimentata della corona giratoria ha larghezza pari a 9.50m, così composta: banchina in sinistra di larghezza pari a 2.00m, corsia di marcia da 7.00m e banchina in destra da 0.50m (vedi sezione tipo E).

L'aiuola circolare e le isole di traffico sono delimitate da un cordolo di tipo sormontabile in calcestruzzo prefabbricato.



I rami d'ingresso in rotatoria presentano una piattaforma pavimentata avente larghezza pari a 4.50m, così composta: banchina in sinistra di larghezza pari a 0.50m, corsia di marcia da 3.50m e banchina in destra da 0.50m.

I rami di uscita presentano una piattaforma pavimentata avente larghezza pari a 5.50 m, così composta: banchina in sinistra di larghezza pari a 0.50 m, corsia di marcia da 4.50 m e banchina in destra da 0.50 m.

Il piano di posa del rilevato, gli elementi marginali e la sovrastruttura stradale della rotatoria sono i medesimi di quelli dell'asse principale.

6 Il dimensionamento funzionale della rotatoria

Come prescrive il D.M. 19/04/2006 al paragrafo 4.5, una intersezione deve essere dimensionata con riferimento alla domanda di traffico specializzata in relazione alle manovre consentite.

Gli elementi ed i parametri da determinare in funzione della domanda di traffico, riferita al periodo di punta di progetto, per le intersezioni a rotatoria, sono la capacità della rotatoria ed il livello di servizio della soluzione adottata.

6.1 Stima della domanda di traffico

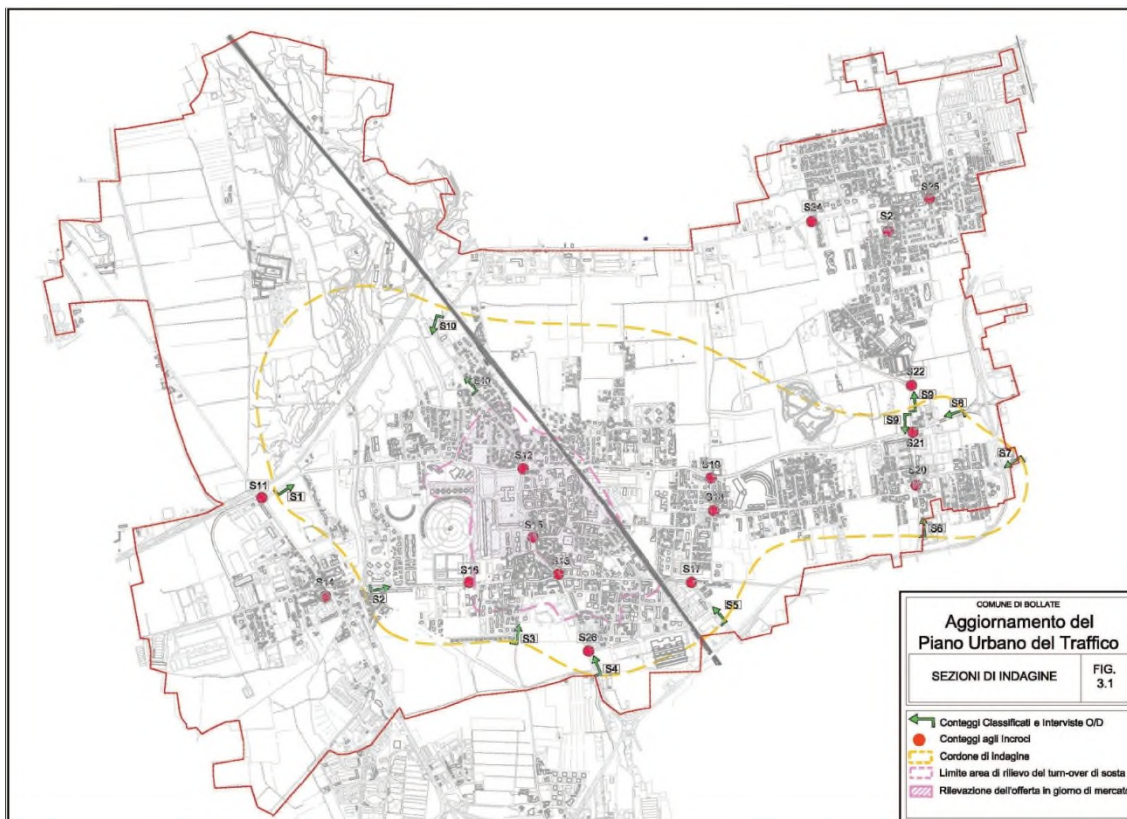
Al fine della valutazione della capacità della rotatoria e del livello di servizio della soluzione adottata si rende necessaria una stima dei flussi di traffico attesi.

Si sono quindi prese in considerazione le indagini effettuate sulla rete stradale della zona.

Il documento di “*Aggiornamento del Piano Generale del Traffico Urbano – Analisi conoscitiva*” del confinante Comune di Bollate riporta varie sezioni di indagine del traffico effettuate nel 2006. Per il nostro scopo è rilevante la sezione S10, che si trova a Bollate su viale Lombardia, alla distanza di solo 1 Km a sud della rotatoria tra S.P. 119, S.P. 175 e via De Gasperi, ove si va ad innestare la nuova bretella in progetto.

Dalla campagna di indagine si ricavano i flussi nelle due direzioni con relativa composizione veicolare.

Di seguito si riportano la localizzazione della sezione di indagine S10 (su mappa del comune di Bollate e su foto aerea) e i dati rilevati, riassumibili in 1071 veicoli equivalenti/ora in direzione Bollate e 629 veicoli equivalenti/ora in direzione Senago.



Sezione:10

Via: **Lombardia**

Giorno: **giovedì 23/02/2006**

Meteo: **nuvoloso**

Direzione:	ingresso		inizio 10		fine 110					
	auto	furgoni	camion	articolati	autobus	biciclette	moto	speciali	tot.gen	Veq.
7,00-7,15	179	16	9	1	1	0	5	0	211	235
7,15-7,30	244	14	9	3	0	0	7	0	277	304
7,30-7,45	255	10	3	0	1	2	14	2	287	293
7,45-8,00	226	8	11	3	2	1	11	0	262	298
8,00-8,15	217	10	9	0	0	0	6	0	242	257
8,15-8,30	179	10	7	2	0	2	6	0	206	224
8,30-8,45	218	6	9	0	0	1	9	0	243	256
8,45-9,00	192	6	12	0	1	0	4	0	215	241
totale	1710	80	69	9	5	6	62	2	1943	2106

hp 7.30-8.30	877	38	30	5	3	5	37	2	997	1071
--------------	-----	----	----	---	---	---	----	---	-----	------

Direzione:	uscita				inizio 110		fine 10			
	auto	furgoni	camion	articolati	autobus	biciclette	moto	speciali	tot.gen	Veq.
7,00-7,15	55	7	6	2	0	0	3	0	73	92
7,15-7,30	75	3	5	0	0	1	3	0	87	95
7,30-7,45	111	4	6	2	0	0	2	0	125	144
7,45-8,00	108	3	6	1	1	0	8	0	127	143
8,00-8,15	122	4	8	3	3	2	1	0	143	181
8,15-8,30	129	8	4	1	1	0	3	0	146	161
8,30-8,45	112	6	3	1	0	1	3	0	126	134
8,45-9,00	120	2	12	2	1	2	2	0	141	175
totale	832	37	50	12	6	6	25	0	968	1123

hp 7.30-8.30	470	19	24	7	5	2	14	0	541	628,6
--------------	-----	----	----	---	---	---	----	---	-----	-------

Se si ipotizza che i flussi di traffico rilevati nella sezione S10 siano circa gli stessi che interessano anche la non lontana rotatoria tra S.P. 119, S.P. 175 e via De Gasperi, significa che la stessa è interessata da un flusso di circa 1700 veic.equiv./ora.

Con la realizzazione della nuova bretella stradale, un'aliquota di questo flusso interesserà il nuovo collegamento diretto tra S.P.175 e via Stati Uniti d'America. Stando a favore di sicurezza, si assume che questa aliquota sia il 25%, quindi pari a 425 veic.equiv./ora.

6.2 Calcolo della capacità

Come indicato dal Regolamento Regionale della Lombardia 24/04/2006 n.7 – “Norme tecniche per la costruzione delle strade”, il metodo di calcolo utilizzato per la capacità è quello francese del SETRA.

La capacità totale della rotatoria è definita come la somma dei flussi in ingresso che, suddivisi tra le diverse uscite tramite la matrice di distribuzione, determinano il raggiungimento contemporaneo della capacità su tutti i bracci. Dal punto di vista matematico il calcolo della capacità totale viene effettuato risolvendo un sistema basato sulle equazioni della capacità dei bracci.

Il metodo si basa pertanto sul calcolo della capacità K del braccio:

$$K = f(Q_c, Q_u, SEP, ANN, ENT)$$

dove:

Q_c = flusso che percorre l'anello all'altezza dell'immissione

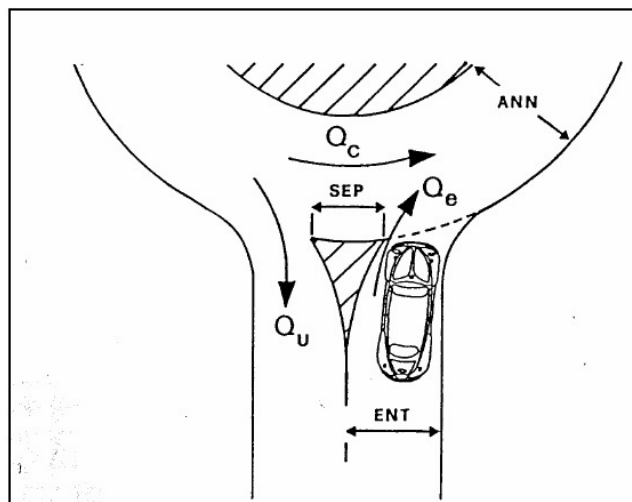
Q_u = flusso uscente

Q_e = flusso uscente

ANN = larghezza dell'anello

SEP = larghezza dell'isola spartitraffico all'estremità del braccio

ENT = la larghezza della semicarreggiata del braccio di entrata misurata dietro il primo veicolo fermo all'altezza della linea del 'dare precedenza'.



Tutti i flussi sono espressi in veicoli equivalenti per ora (eph).

La procedura prevede i seguenti passi.

- 1) Si calcola il traffico uscente equivalente Q_u' come funzione di Q_u e di SEP:

$$Q_u' = Q_u \frac{15 - SEP}{15} \quad (\text{eph})$$

- 2) Si determina il traffico di disturbo Q_d come funzione di Q_c , di Q_u' e di ANN:

$$Q_d = (Q_c + 2/3 Q_u') [1 - 0.085(ANN - 8)] \quad (\text{eph})$$

- 3) Si calcola quindi la capacità K del braccio mediante la relazione (*):

$$K = (1330 - 0.7 Q_d) [1 + 0.1(ENT - 3.5)] \quad (\text{eph})$$

- 4) Si definisce un flusso entrante equivalente Q_e' , il quale eguaglia la capacità di un braccio largo 3.50m quando questa viene raggiunta dal flusso Q_e su un braccio della rotatoria avente la larghezza effettiva ENT:

$$Q_e' = \frac{Q_e}{1 + 0.1(ENT - 3.5)}$$

- 5) Si calcola la capacità semplice ricercando quello scalare δ che dà luogo ad un flusso $\delta i^* Q_{e,i}$ entrante dal braccio i uguale alla capacità K_i del braccio quale si ricava dalla (*) con $K = \delta i^* Q_{e,i}$ e $Q_d = \delta i Q_d, i$.

Sia δ_j il più piccolo dei valori ottenuti fra tutti i bracci, relativo al braccio j .

Risulta $K_j = \delta_j^* Q_e$, j la capacità semplice della rotatoria, la quale viene raggiunta sul solo braccio j quando la matrice M , e quindi i flussi in ingresso, sono moltiplicati per δ_j , mentre i flussi in ingresso dagli altri bracci della rotatoria si mantengono al disotto della capacità;

- 6) La capacità totale della rotatoria si calcola determinando i valori dei flussi in ingresso che, distribuendosi fra le varie uscite secondo la matrice M , determinano il contemporaneo raggiungimento della capacità su tutti i bracci. Questi flussi in ingresso si ricavano risolvendo il sistema di m equazioni lineari nelle m incognite $Q_{e,i}$ ottenuto scrivendo la relazione (*) per i singoli bracci, e ponendo in essa $K = Q_{e,i}$ mentre Q_d viene espressa in funzione di $Q_{e,j} \forall j \neq i$. La capacità totale Q della rotatoria è quindi

$$Q = \sum_{i=1}^m Q_{e,i}$$

- 7) I valori $Q_{e,i}$ di capacità dei singoli bracci che concorrono alla capacità totale vengono posti a base della progettazione di una rotatoria. Poiché però flussi in ingresso di tali entità determinerebbero la presenza permanente di veicoli in attesa ai bracci, si fa riferimento ad una capacità pratica dei singoli bracci data da $K_i = Q_{e,i} - 150$, ovvero $K_i = 0.8^* Q_{e,i}$.

Sono stati pertanto impostati i seguenti input:

- A) Geometria della rotatoria con localizzazione spaziale dei rami e relative misure di SEP e ENT
- B) Matrice di distribuzione e flussi dei vari rami

Per il punto A) è stata definita la giacitura nello spazio dei vari assi:

Nome	Angolo
RAMO_4	105,00
RAMO_3	31,00
RAMO_2	-30,00
RAMO_1	175,00

dove:

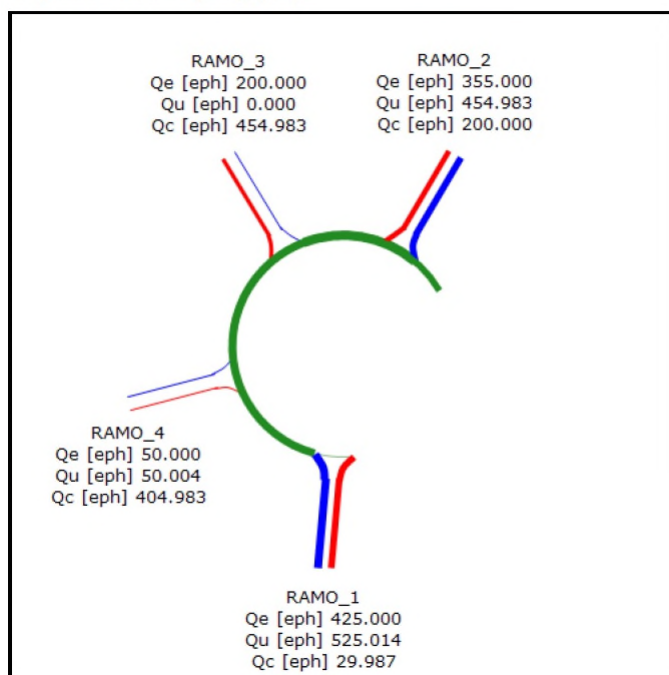
- ramo 1 = bretella stradale in progetto
- ramo 2 = via Stati Uniti d'America a est
- ramo 3 = via Francia
- ramo 4 = via Stati Uniti d'America a ovest (strada chiusa con parcheggio)

Per il punto B) sulla base del valore ipotizzato di 425 veicoli equivalenti/ora per corsia applicato al ramo 1, è stata definita una matrice origine/destinazione e conseguenti flussi analizzando il contesto esistente (imprese, punti di attrazione vari, ecc.).

Rami di entrata					Flussi entranti Qe [eph]	Flussi uscenti Qu [eph]	Flussi anello Qc [eph]
	RAMO_4	RAMO_3	RAMO_2	RAMO_1			
RAMO_4	0,00	5,00	5,63	4,71	50,00	50,00	405,00
RAMO_3	0,00	0,00	0,00	0,00	200,00	0,00	455,00
RAMO_2	60,00	10,00	0,00	95,29	355,00	455,00	200,00
RAMO_1	40,00	85,00	94,37	0,00	425,00	525,00	30,00
Verifica 100%	100,00	100,00	100,00	100,00	1 030,00	1 030,00	

Restituendo il dato numerico sotto forma di flussi, si ha la seguente rappresentazione grafica:

Capacità tot. - Q^*e [eph]



Il software, secondo i passi procedurali precedentemente descritti, restituisce quindi i seguenti tabulati di calcolo.

Capacità dei bracci

Nome	Q'e [eph]	Q'u [eph]	Qd [eph]	K' [eph]	δ	K [eph]	Qe,k [eph]	ΔK [eph]	Capacità totale Q*e [eph]
RAMO_4	50,00	37,30	465,00	1 004,50	3,54	707,30	95,60	611,70	577,00
RAMO_3	184,30	0,00	492,30	1 069,10	2,51	727,80	382,60	345,20	184,90
RAMO_2	355,00	372,10	486,10	989,70	1,91	679,10	679,10	0,00	482,60
RAMO_1	425,00	369,90	301,80	1 118,80	2,09	925,90	813,00	113,00	999,70

Livello di servizio

Nome	x	tm [s]	Lm	Lm [m]	Lmax	Lmax [m]	LOS	SEP [m]	ENT [m]
RAMO_4	0,05	8,80	0,1	0,70	0,20	0,90	A	4,40	3,50
RAMO_3	0,19	9,10	0,5	3,00	0,70	4,10	A	5,30	4,35
RAMO_2	0,36	10,70	1,1	6,30	1,60	9,90	B	2,70	3,50
RAMO_1	0,38	10,20	1,2	7,20	1,80	10,80	B	4,40	3,50

Dati geometrici

dove:

eph	= Autovetture equivalenti / ora
Qe	= Flussi entranti
Qu	= Flussi uscenti
Q'e	= Flussi equivalenti in entrata
Q'u	= Flussi equivalenti in uscita
Qc	= Flussi sull'anello
Qd	= Flussi di disturbo
ANN	= Larghezza dell'anello
SEP	= Distanza tra i vertici dell'isola separatrice
ENT	= Larghezza dell'ingresso
K'	= Capacità del braccio
δ_i	= Fattore moltiplicativo dei flussi per raggiungere la capacità
$\delta_{i,min}$	= Fattore moltiplicativo minimo che individua il braccio critico
K	= Capacità semplice della rotatoria
Qe,k	= Flussi di ingresso a capacità raggiunta su un ramo
Qe,k,tot	= Somma dei flussi entranti a capacità raggiunta su un ramo
δK	= Riserva di capacità
Q*e	= Flussi di entrata che danno luogo al raggiungimento simultaneo della capacità su tutti i bracci
Ctot	= Capacità totale della rotatoria
x	= Grado di saturazione
tm(s)	= Tempo medio di attesa
Lm	= Lunghezza media della coda (in veicoli)
Lm(m)	= Lunghezza media della coda (in metri)
Lmax	= Lunghezza massima della coda (in veicoli)
Lmax(m)	= Lunghezza massima della coda (in metri)
LOS	= Livello di servizio

Si ottiene inoltre il valore della capacità totale della rotatoria (Ctot) come sommatoria dei contributi incorniciati in rosso:

$$\begin{aligned} \delta_{i,min} &= 1,91 \\ Q_{e,k,tot} \text{ (eph)} &= 1970,2 \\ C_{tot} \text{ (eph)} &= 2244,2 \end{aligned}$$

Tramite i dati ottenuti è possibile calcolare la **Riserva di capacità percentuale (RC)**:

$$RC = (Ce - Qe) / Ce$$

dove:

Ce: capacità in ingresso (sommatoria dei flussi d'ingresso a capacità raggiunta su un ramo, dati incorniciati in azzurro)

Qe: flusso in ingresso (sommatoria dei flussi entranti attribuiti come input, dati incorniciati in giallo)

Pertanto si ottiene:

$$RC = (1970.2 - 1030) / 1970.2 = 47.7 \%$$

Tale valore percentuale rientra nell'intervallo di risultati ottimali, come illustra la seguente Tab. 3.A.1. dell'allegato A "Linee guida zone di intersezione" della normativa della Regione Lombardia.

<i>Riserva di capacità</i>	<i>Accorgimenti progettuali</i>
> 80%	Riserva di capacità elevata: verificare se la larghezza dei bracci d'entrata non è sovradimensionata.
Tra 30% e 80%	Riserva di capacità ottimale.
Tra 5% e 30%	Anche sulla base dei flussi di traffico futuri previsti, occorre valutare la possibilità di intervento con le modalità stabilite nel successivo paragrafo 3.A.2.2
< 5%	Occorre intervenire con le modalità stabilite nel successivo paragrafo 3.A.2.2

Tab. 3.A.1 Accorgimento progettuali in relazione ai margini di capacità residua dei singoli bracci della rotatoria.

6.3 Il livello di servizio

La determinazione del livello di servizio per ogni singolo ramo avviene secondo il metodo dell'Highway Capacity Manual (HCM).

Il livello di servizio LOS è “una misura della qualità della circolazione” e viene contraddistinto con lettere che vanno da A, indice di circolazione libera, a F, indice di congestione.

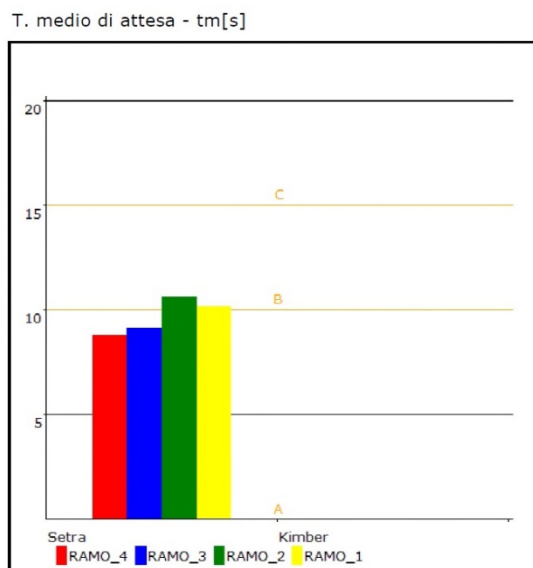
Secondo il DM 19.04.2006 “il livello di servizio dell'intersezione non dovrà essere inferiore a quello prescritto dal DM 5.11.2001 per il tipo di strade confluenti nel nodo”. Il progettista deve quindi confrontare il livello di servizio più basso, ottenuto sul ramo critico, con il livello di servizio ammissibile dal DM 5.11.2001.

La metodica dell'HCM parte dalla determinazione del grado di saturazione di ciascun ramo (x); in seguito viene calcolato il ritardo medio veicolare (o tempo medio di attesa, t_m), la lunghezza media della coda (L_m), la lunghezza massima della coda (L_{max}), ovvero il 95° percentile della distribuzione delle lunghezze delle code. La lunghezza media e la lunghezza massima delle code espresse in metri si ricavano, come previsto dalla norma italiana, moltiplicando per 6m i valori di L_m e L_{max} espresse in numero di veicoli.

Come stabilito dall'HCM il livello di servizio viene associato al tempo medio di attesa secondo quanto indicato nella seguente tabella:

t_m (s)	LOS
< 10	A
10 - 15	B
15 - 25	C
25 - 35	D
35 - 50	E
> 50	F

I livelli di servizio per ciascun ramo risultano graficizzati nella figura seguente:

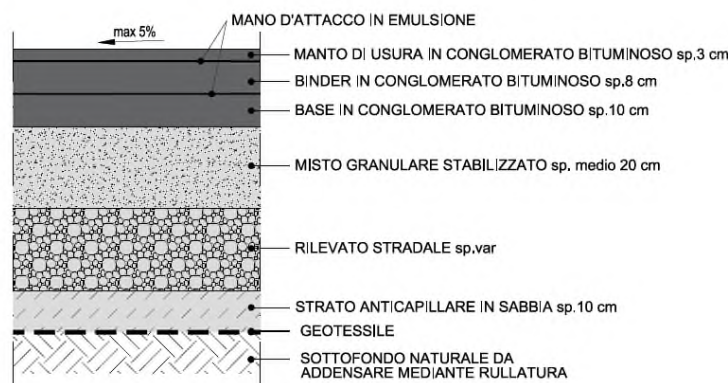


Il livello di servizio risulta pertanto essere di livello A per i rami di via via Stati Uniti d'America a ovest (strada chiusa con parcheggio) e via Francia, mentre risulta essere di livello B per i rami della nuova bretella e di via Stati Uniti d'America a est.

7 Il calcolo della pavimentazione stradale

Il progetto prevede di realizzare la nuova pavimentazione stradale come mostra la seguente figura:

DETTAGLIO PAVIMENTAZIONE



Il pacchetto della pavimentazione sarà sempre costituito da almeno 3 cm di usura, 8 cm di binder, 10 cm di base e 20 cm di misto granulare stabilizzato: il calcolo della sovrastruttura stradale prende, difatti, in considerazione solo questi strati sovrapposti ad un sottofondo compattato, al quale è stata associata una portanza medio-bassa.

7.1 Il metodo di calcolo

Il metodo di calcolo utilizzato per il dimensionamento della sovrastruttura stradale ripercorre le indicazioni del Metodo della AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials). Il metodo è empirico-statistico, basato cioè su osservazioni sperimentali dei parametri in gioco, i quali sono opportunamente correlati da funzioni di regressione in modo che i legami funzionali siano fisicamente corretti.

Esso consiste nel determinare il numero di assi standard (l'asse standard è l'asse singolo con ruote gemelle da 18kips = 80kN = 8,2t) che la pavimentazione può sopportare, indicato con $W_{8,2t}$, raggiungendo un fissato grado di ammaloramento finale (PSI_f). Tale valore è funzione di vari parametri, quali caratteristiche meccaniche dei materiali, spessori degli strati, portanza del sottofondo, grado di ammaloramento finale che, per questioni di comfort e sicurezza, la pavimentazione può raggiungere, coefficiente di sicurezza (fissato attraverso l'affidabilità, ovvero la probabilità che la pavimentazione resista al traffico che transita durante la sua vita utile).

Tali assi devono essere confrontati con il traffico commerciale (veicoli con carico per asse o set di assi superiore a 10 kN) che si stima passerà durante la vita utile della pavimentazione sulla corsia più carica (si dimensiona la corsia più carica, non essendo il traffico pesante equiripartito tra le corsie). Poiché il traffico commerciale che transita su strada è costituito da veicoli che si differenziano per numero di assi, carico per asse e tipologia di asse (singolo, tandem e tridem), è necessario determinare il numero di assi standard equivalenti, ovvero il numero di assi standard che determinano lo stesso danno alla pavimentazione provocato dai veicoli reali, o meglio dagli assi dei veicoli reali. Per determinare il numero di assi standard che transiteranno, indicato con $N_{8,2t}$, è necessario stabilire preliminarmente i coefficienti di equivalenza tra ciascun asse reale e quello standard. Tali coefficienti sono funzione di alcuni parametri, quali caratteristiche meccaniche dei materiali, spessori degli strati, grado di ammaloramento finale (per quanto riguarda la pavimentazione), carico per asse e tipologia di asse (per quanto riguarda gli assi stessi). Noti i coefficienti di equivalenza di ciascun asse dei veicoli che compongono il traffico reale,

bisogna determinare il coefficiente di equivalenza medio, che è funzione della composizione del traffico sulla strada in esame (ovvero dello spettro di traffico, cioè della frequenza relativa dei vari tipi di veicoli).

Infine, per determinare il numero di assi equivalenti che transiteranno sulla corsia più carica basta moltiplicare il coefficiente di equivalenza medio per il numero di veicoli commerciali che si stima transiteranno durante la vita utile della pavimentazione sulla corsia più carica.

In sintesi, la metodologia di dimensionamento proposta dall'AASHTO Guide Design of Pavement Structures si basa sulla quantificazione della capacità strutturale della pavimentazione attraverso il Numero di Struttura (SN, Structural Number) e si fonda su 4 diversi fattori:

1. Traffico di progetto, numero di passaggi sopportabili ($W_{8,2t}$),
2. Grado di Affidabilità del procedimento di dimensionamento,
3. Caratteristiche degli strati, attraverso lo Structural Number (SN),
4. Decadimento limite ammissibile della sovrastruttura.

La relazione fondamentale di dimensionamento vede il termine $W_{8,2t}$ legato a vari parametri attraverso la seguente funzione di regressione:

$$\log(W_{8,2t}) = Z_r \cdot S_o + 9,36 \cdot \log((SN / 2,54) + 1) - 0,20 + \frac{\log\left(\frac{PSI_i - PSI_f}{4,2 - 1,5}\right)}{0,40 + \frac{1094}{((SN / 2,54) + 1)^{5,19}}} + 2,32 \cdot \log(Mr^*) - 3,056$$

Nello specifico i parametri suddetti risultano essere:

Z_r = parametro tabellato in funzione dell'Affidabilità R (%) Reliability, a sua volta tabellata in funzione del tipo di strada (in base alla classificazione secondo il D.M. 5/11/2001).

I valori di Z_R in funzione dell'affidabilità R sono riportati nella tabella seguente:

R[%]	50	60	70	75	80	85	90	92	95	98	99	99.9
Z_R	0.000	-0.253	-0.524	-0.674	-0.841	-1.037	-1.282	-1.405	-1.645	-2.054	-2.327	-3.090

Tabella 1: Valori del parametro Z_R in funzione dell'Affidabilità R (%) Reliability

I valori dell'affidabilità da assumere dipendono dal tipo di strada e dalla sua ubicazione: i valori più alti si adottano per le autostrade urbane e per le corsie preferenziali affinché sia minimo il rischio di interventi di rafforzamento prima del termine della vita utile della pavimentazione con conseguenti gravi intralci alla circolazione. I valori più bassi si adottano per le strade extraurbane a traffico modesto.

Si possono assumere i seguenti valori consigliati dal catalogo delle pavimentazioni stradali:

- 80% per Strade extraurbane secondarie – turistiche;
- 85% per Strade extraurbane secondarie – ordinarie;
- 90% per Autostrade extraurbane, Strade extraurbane principali e secondarie a forte traffico, Strade urbane di quartiere e locali;
- 95% Autostrade urbane e corsie preferenziali, strade urbane di scorrimento.

$S_0 =$ parametro che assume valori compresi nell'intervallo $0.40 \div 0.5$.

$$SN = a_1 \cdot s_1 + a_2 \cdot s_2 + a_3 \cdot s_3 + m_4 \cdot a_4 \cdot s_4$$

$SN [cm] =$ *Structural Number*, dove

- s_i sono gli *spessori* [cm] ipotizzati per gli strati che compongono il pacchetto di pavimentazione,
- a_i sono i *coefficienti strutturali* i cui valori dipendono dalle caratteristiche meccaniche dei materiali costituenti i vari strati,
- m_4 è il *coefficiente di drenaggio* degli strati non legati

I coefficienti strutturali a_1 , a_3 e a_4 si ricavano direttamente dai nomogrammi presenti sull'AASHTO GUIDE, mentre il valore del coefficiente a_2 (relativo allo strato di collegamento) si ricava per interpolazione lineare dei parametri a_1 ed a_3 (ricavati sempre dall'AASHTO GUIDE però con i valori caratteristici relativi allo strato di collegamento).

Al valore di SN va aggiunto il contributo del sottofondo che viene introdotto attraverso la sua capacità portante CRB:

$$SNSG = 3.51 \log_{10} CBR - 0.85 (\log_{10} CBR)^2 - 1.43 \quad \text{per } CBR \geq 3$$

$$SNSG = 0 \quad \text{per } CBR < 3$$

$CBR =$ indice di portanza CBR (California Bearing Ratio) [%].

$PSI_i =$ *Indici di Servizio Iniziale* (Initial Present Serviceability Index), rappresenta una misura del grado di ammaloramento iniziale della sovrastruttura, in termini di sicurezza e comfort (in quanto è una valutazione data alla pavimentazione in funzione del comfort e della sicurezza che l'utente percepisce). È un numero che varia tra 0 e 5. Per tener conto delle inevitabili imperfezioni costruttive si assume 4.8.

$PSI_f =$ *Indici di Servizio Finale* (Final Present Serviceability Index), rappresenta una misura del grado di ammaloramento finale della sovrastruttura, in termini di sicurezza e comfort (in quanto è una valutazione data alla pavimentazione in funzione del comfort e della sicurezza che l'utente percepisce). È un numero che varia tra 0 e 5.

Per le strade caratterizzate da elevate velocità di progetto, quali le autostrade, si richiedono alti valori per assicurare sempre elevati standard prestazionali; i valori minimi consigliati sono i seguenti:

- $PSI_f = 2.5$ per le strade di media importanza (strade extraurbane, urbane di scorrimento e corsie preferenziali),
- $PSI_f = 3$ per le strade di grande comunicazione (autostrade).

M_r^* [MPa] = *Modulo Resiliente del Sottofondo, ottenuto, in mancanza di misure dirette, dalla relazione M_r [Mpa] = $10 \cdot CBR[\%]$, dove CBR (Californian Bearing Ratio) è l'Indice di Portanza del Sottofondo.*

Da sottolineare che il valore di $W_{8,2t}$ aumenta al crescere dei valori di **SN** e **M_r** .

Una volta determinato il valore di $W_{8,2t}$, occorre calcolare il valore dei passaggi previsti, vale a dire il termine **$N_{8,2t}$** . Questo termine deriva dall'Analisi del traffico e viene stimato sulla base di svariati elementi, tra i quali, per esempio:

- I dati di traffico,
- La percentuale di veicoli commerciali prevedibile sulla strada in oggetto,
- Il numero medio degli assi di un generico veicolo commerciale,
- Il tipo di strada in base alla classificazione del D.M. 5/11/2001 ed il conseguente Spettro dei Veicoli Commerciali che si prevede vi possano transitare sul tipo di strada in oggetto.
- Il numero di anni di Vita Utile da assegnare alla pavimentazione in oggetto.
- Il tasso di incremento annuo di motorizzazione prevedibile per la strada in oggetto durante la sua Vita Utile.

Nello specifico, stimato il numero di veicoli commerciali che transiteranno durante la Vita Utile, è necessario calcolare quali siano i tipi di Veicoli Commerciali previsti in base al cosiddetto Spettro dei Veicoli Commerciali che dipende dal tipo di strada in oggetto, come rilevabile dalla seguente tabella estratta dalla Normativa:

TIPO DI STRADA	TIPO DI VEICOLO															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1. Autostrada extraurbana	12.2	-	24.4	14.6	2.4	12.2	2.4	4.9	2.4	4.9	2.4	4.9	0.10	-	-	12.2
2. Autostrada urbana	18.2	18.2	16.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.6	18.2	27.3	-
3. Strade extr. principali e secondarie a forte traffico	-	13.1	39.5	10.5	7.9	2.6	2.6	2.5	2.6	2.5	2.6	2.6	0.5	-	-	10.5
4. Strade extr. secondarie ordinarie	-	-	58.8	29.4	-	5.9	-	2.8	-	-	-	-	0.2	-	-	2.9
5. Strade extr. secondarie turistiche	24.5	-	40.8	16.3	-	4.15	-	2	-	-	-	-	0.05	-	-	12.2
6. Strade urbane di scorrimento	18.2	18.2	16.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.6	18.2	27.3	-
7. Strade urbane di quartiere e locali	80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20	-	-
8. Corsie Preferenziali	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	47	53	-

Tabella 2: Spettro dei Veicoli Commerciali

In base allo spettro dei veicoli commerciali è possibile suddividere il numero totale di passaggi previsti di veicoli pesanti in base alle diverse percentuali di incidenza di ciascuna tipologia di veicolo commerciale stesso.

Per quanto riguarda il numero e il relativo peso degli assi di ciascuno dei 16 tipi di veicoli commerciali ci si deve basare sulla seguente tabella estratta dalla Normativa:

Tipo di veicolo	N° Assi			Carichi per asse o set di assi			
	S	T	Td				
1) AUTOCARRI LEGGERI	2			↓ 10	↓ 20		
2) " "	2			↓ 15	↓ 30		
3) AUTOCARRI MEDI E PESANTI	2			↓ 40	↓ 80		
4) " "	2			↓ 50	↓ 110		
5) AUTOCARRI PESANTI	1			↓ 40	↓ 80+80		
6) " "	1			↓ 60	↓ 100+100		
7) AUTOTRENI E AUTOARTICOLATI	4			↓ 40	↓ 90	↓ 80	↓ 80
8) " "	4			↓ 60	↓ 100	↓ 100	↓ 100
9) " "	1	2		↓ 40	↓ 80+80	↓ 80+80	
10) " "	1	2		↓ 60	↓ 90+90	↓ 100+100	
11) " "	2	1		↓ 50	↓ 100	↓ 80+80+80	
12) " "	2	1		↓ 60	↓ 110	↓ 90+90+90	
13) MEZZI D'OPERA	2	1		↓ 50	↓ 130	↓ 130+130+130	
14) AUTOBUS	2			↓ 40	↓ 80		
15) " "	2			↓ 60	↓ 100		
16) " "	2			↓ 50	↓ 80		

Tabella 3: Numero e relativo peso degli assi di ciascuno dei 16 tipi di veicoli commerciali

Per convertire il peso di ciascun asse da $X[t]$ al peso standard di $8,2[t]$ si considerano i seguenti coefficienti di equivalenza ottenuti attraverso l'espressione di Yoder:

1 [t]	0,0204
1,5 [t]	0,0267
2 [t]	0,0350
3 [t]	0,0601
4 [t]	0,1032
5 [t]	0,1773
6 [t]	0,3044
8 [t]	0,8975
9 [t]	1,5411
10 [t]	2,6463
11 [t]	4,5441
12 [t]	7,8028
13 [t]	13,3985

Tabella 4: Coefficienti di equivalenza ottenuti attraverso l'espressione di Yoder

In seguito occorre compilare una tabella dove per ogni tipo di veicolo si indicano il numero di assi presenti in base al relativo peso. Effettuando il prodotto matriciale tra quest'ultima tabella descritta (matrice 13×16) e la tabella relativa al numero di passaggi per ogni tipo di veicolo commerciale (matrice 16×1), si ricava il numero di passaggi previsti per ogni "classe" di peso d'asse; moltiplicando poi ciascun valore ottenuto per il corrispondente coefficiente d'equivalenza di Yoder si ricava il numero di passaggi previsti per l'Asse Standard da $8,2 [t]$, indicato con $N_{8,2t}$.

7.2 Calcolo della sovrastruttura stradale

Nel caso specifico, la tipologia di strada considerata è una strada locale urbana, categoria F.

Il volume di traffico, di veicoli commerciali, che si prevede transiterà durante il primo anno di vita utile (20 anni) della sovrastruttura è definito da:

$$n_{vca} = TGM_{tot} \times p_c \times p_{sm} \times p_{corsia} \times d \times 365 = 616'704 \text{ veic./anno}$$

dove:

TGM_{tot} = traffico giornaliero medio

$$19'200 \text{ veic./giorno}$$

p_c = percentuale veicoli commerciali

$$0.11 ($$

p_{sm} = percentuale di traffico nel senso di marcia (1)

p_{corsia} = percentuale veicoli commerciali transitanti sulla corsia di calcolo (1)

d = dispersione della traiettoria (0.8)

Possiamo, quindi, calcolare il numero di veicoli commerciali transitanti, nell'arco della vita utile (20 anni) sulla pavimentazione (o meglio sulla corsia più caricata):

$$T^N = n_{vca} \times \frac{(1+R)^N - 1}{R} = 16'571'068 \text{ veic/vita}$$

dove:

N = vita utile della pavimentazione (20 anni)

R = tasso d'incremento annuo del traffico commerciale (3%)

Va precisato che il traffico giornaliero medio (TGM) è stato ricavato in considerazione del valore "Portata di servizio per corsia" definito dal D.M. 05-11-2001 per le strade di categoria F locali urbane, pari a 800 veic/ora per corsia. Mentre la percentuale veicoli commerciali (p_c) è stata dedotta dal documento "Aggiornamento del Piano Generale del Traffico Urbano – Analisi conoscitiva" del vicino Comune di Bollate.

Noto il numero di veicoli commerciali transitanti sulla corsia più lenta, alla fine della vita utile, per calcolare il numero di assi equivalenti, si è fatto ricorso ai coefficienti di equivalenza e allo spettro di traffico suggerito dal "Catalogo delle pavimentazioni", come spiegato precedentemente.

Il Numero di passaggi di Assi standard da 8,2[t] **previsti** nei 20 anni di vita utile della pavimentazione è:

$$N_{8,2t} = 4'050'963 \text{ passaggi di Assi standard previsti}$$

Per quanto riguarda il Numero di passaggi di Assi standard da 8,2[t] **sopportabili** nei 20 anni di vita utile della pavimentazione proposta, si è tenuto conto dei seguenti parametri:

Z_R	-1.282	
S_0	0.45	
SN	11.15	cm
PSI_i	4.8	
PSI_f	2.5	
M_R	50	Mpa
CBR	5	%

	a_i	s_i (cm)	m_i
Strato di usura	0.43	3	1
Strato di binder	0.39	8	1
Strato di base	0.28	10	1
Strato di misto granulare stabilizzato	0.12	20	1

Tabella 5: Parametri relativi alla nuova pavimentazione per il calcolo dello Structural Number (SN)

Il Numero di passaggi di Assi standard da 8,2[t] **sopportabili** nei 20 anni di vita utile, stimato con il metodo descritto al paragrafo 2.1, risulta essere

$$W_{8,2t} = 6'860'005 \text{ passaggi di Assi standard sopportabili}$$

7.3 Conclusioni

In virtù di quanto illustrato nel paragrafo precedente, la sovrastruttura proposta risulta essere:

IDONEA a sopportare il traffico pesante previsto nei 20 anni di vita utile con un fattore di sicurezza minimo pari a **1.69**.

8 I dispositivi di ritenuta stradale

Come è precisato nella Circolare del Ministero dei Trasporti del 21.07.2010, “Sono espressamente escluse dal campo di applicazione della norma in argomento le progettazioni inerenti le strade extraurbane ed urbane con velocità di progetto inferiore a 70 km/h.”

La bretella stradale in progetto, come già detto, appartiene alla categoria F delle strade locali in ambito urbano, per le quali l'intervallo di velocità di progetto è 25 ÷ 60 Km/h. Pertanto si considera il rispetto rigoroso del DM 18 febbraio 1992, n.223 e s.m.i solo per quanto riguarda il metodo di scelta delle tipologie e delle caratteristiche prestazionali dei dispositivi di sicurezza. In particolare, si è fatto riferimento all'ultimo aggiornamento del 21 giugno 2004 e, partendo dai criteri di scelta dei dispositivi in esso contenuti, si sono individuate le zone da proteggere e le tipologie da adottare. Si è altresì tenuto conto delle norme EN 1317 recepite dallo stesso DM 21 giugno 2004, per definire le caratteristiche prestazionali delle barriere.

Il traffico adottato per il progetto delle barriere di sicurezza è stato desunto dal documento “Aggiornamento del Piano Generale del Traffico Urbano – Analisi conoscitiva” del vicino Comune di Bollate. Per la viabilità in progetto si considera un traffico di tipo II, ovvero caratterizzato da un TGM > 1000 e una percentuale di mezzi pesanti $5\% < n < 15\%$.

In riferimento alla categoria di strada ed al tipo di traffico II, ai sensi dell'art.6 del citato DM le caratteristiche prestazionali minime da adottare sono riportate nella penultima riga della seguente tabella:

Tabella A – Barriere longitudinali

Tipo di strada	Tipo di traffico	Barriere spartitraffico	Barriere bordo laterale	Barriere bordo ponte ⁽¹⁾
Autostrade (A) e strade extraurbane principali(B)	I	H2	H1	H2
	II	H3	H2	H3
	III	H3-H4 ⁽²⁾	H2-H3 ⁽²⁾	H3-H4 ⁽²⁾
Strade extraurbane	I	H1	N2	H2
secondarie(C) e Strade urbane di scorrimento (D)	II	H2	H1	H2
	III	H2	H2	H3
Strade urbane di quartiere (E) e strade locali(F).	I	N2	N1	H2
	II	H1	N2	H2
	III	H1	H1	H2

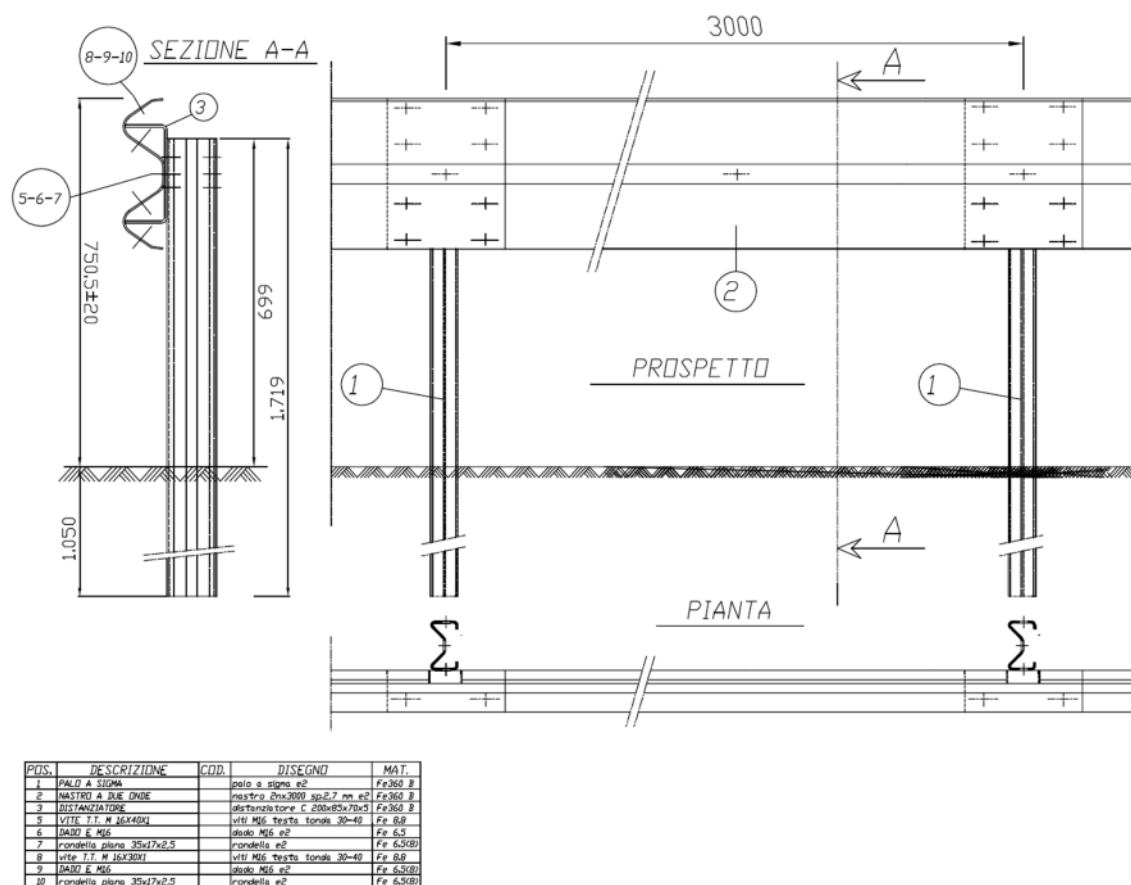
Nei punti di inizio e fine barriera sarà previsto l'utilizzo di idonei dispositivi terminali semplici. Inoltre secondo quanto previsto dall'art.2 del DM 28/06/2011 riguardo l'installazione dei dispositivi di ritenuta stradali, essi dovranno essere muniti di marcatura CE in conformità alla norma europea, mentre l'appaltatore dovrà fornire in originale o in copia conforme i rapporti dei certificati delle prove al vero. Tale verifica di rispondenza, da parte della D.L., non si deve tradurre in un mero riscontro formale dell'esistenza dei rapporti di crash redatti secondo le EN 1317, ma deve consistere in un esame tecnico dei loro contenuti congiunto alla valutazione dei relativi eventuali certificati della previgente normativa, e in particolare alle indicazioni, prescrizioni e limitazioni in essi contenuti.

Per le tipologie di barriere di sicurezza da installare si dovrà fare riferimento a dispositivi da reperire sul mercato, da individuare mediante indicazione delle caratteristiche prestazionali di equivalenza, in modo che si possa installare qualsiasi dispositivo soddisfi i requisiti richiesti. Per tal motivo si indicano delle caratteristiche prestazionali consone per l'installazione, ma riscontrabili nel parco barriere esistente.

Di seguito si riportano le caratteristiche prestazionali delle barriere di sicurezza da utilizzare.

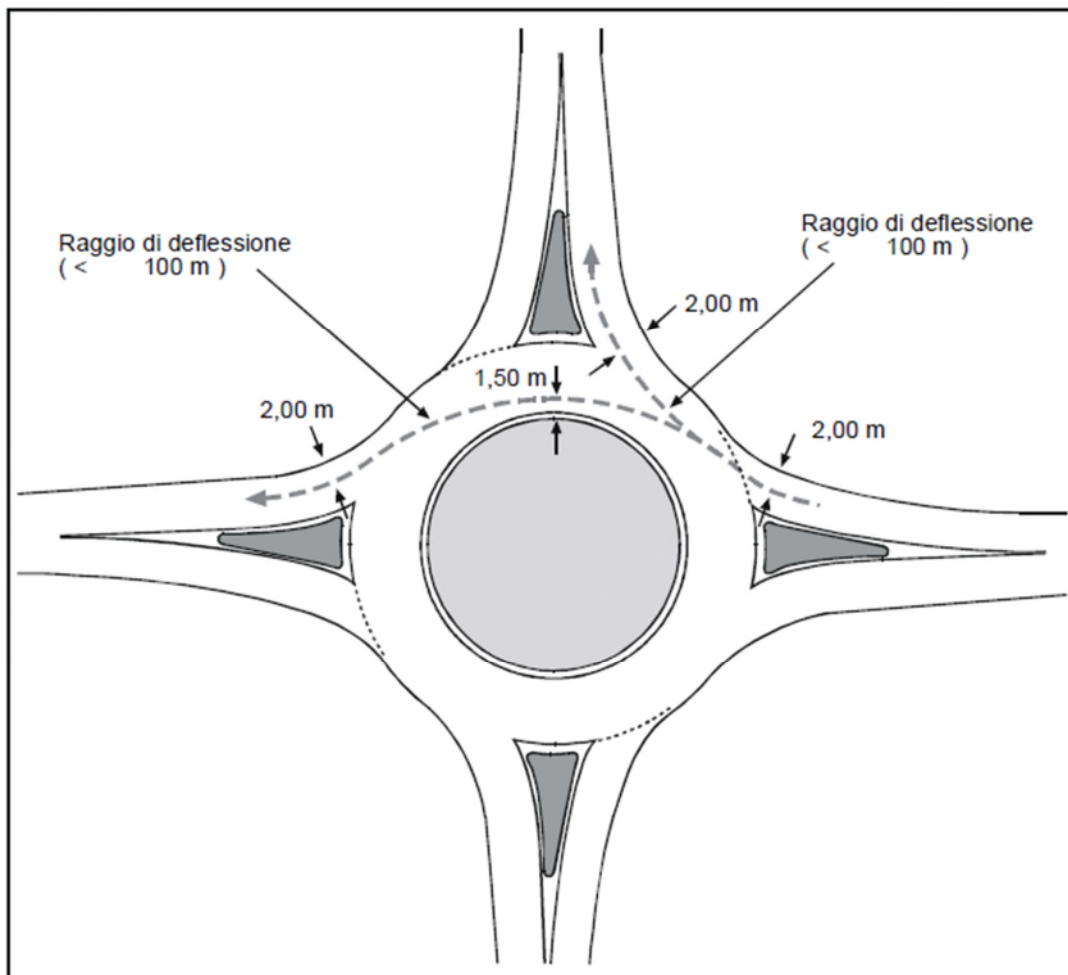
- destinazione: bordo rilevato
- livello di contenimento: N2
- tipo di vincolo: infisso nell'arginello
- materiale: acciaio
- severità dell'urto: A
- larghezza operativa max: W5 ($W < 1.70\text{m}$)
- deflessione dinamica max: 1.40 m

Di seguito si riporta, a scopo puramente indicativo, un esempio di barriera di sicurezza metallica di classe N2 da bordo laterale.



9 La verifica grafica della deflessione delle traiettorie in rotatoria

La regola principale per definire la geometria delle rotatorie riguarda il controllo della deflessione delle traiettorie in attraversamento del nodo, ed in particolare le traiettorie che interessano due rami opposti o adiacenti rispetto all'isola centrale. Essendo scopo primario delle rotatorie un assoluto controllo delle velocità all'interno dell'incrocio risulta essenziale che la geometria complessiva sia compatibile con velocità non superiori a 50 km/h.



Si definisce in particolare deflessione di una traiettoria il raggio dell'arco di cerchio che passa a 1,50 m dal bordo dell'isola centrale e a 2,00 m dal ciglio delle corsie di entrata e uscita (vedi fig. soprastante). Tale raggio non deve superare il valore di 100 m.

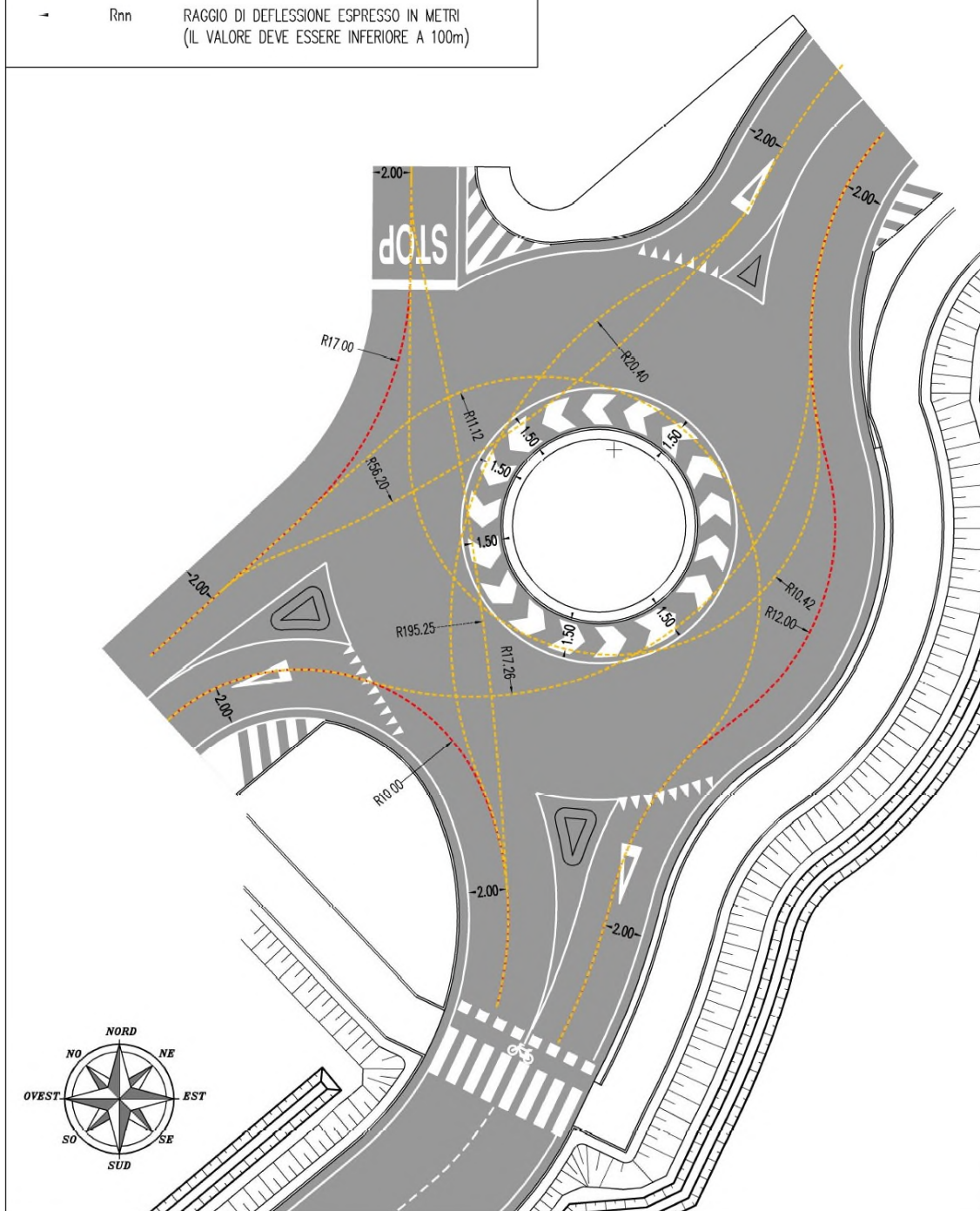
Come è possibile notare nella seguente figura, i valori dei raggi di deflessione sono tutti inferiori al limite massimo di 100 m, con eccezione della traiettoria da via Francia in direzione della S.P.175.

Come già premesso nel capitolo 2, la rotatoria in progetto rappresenta l'adeguamento di una intersezione esistente, per cui le norme costituiscono il riferimento cui la progettazione deve tendere. Si considera quindi accettabile che qualche verifica possa non essere soddisfatta completamente.

VERIFICA DEFLESSIONE TRAIETTORIE

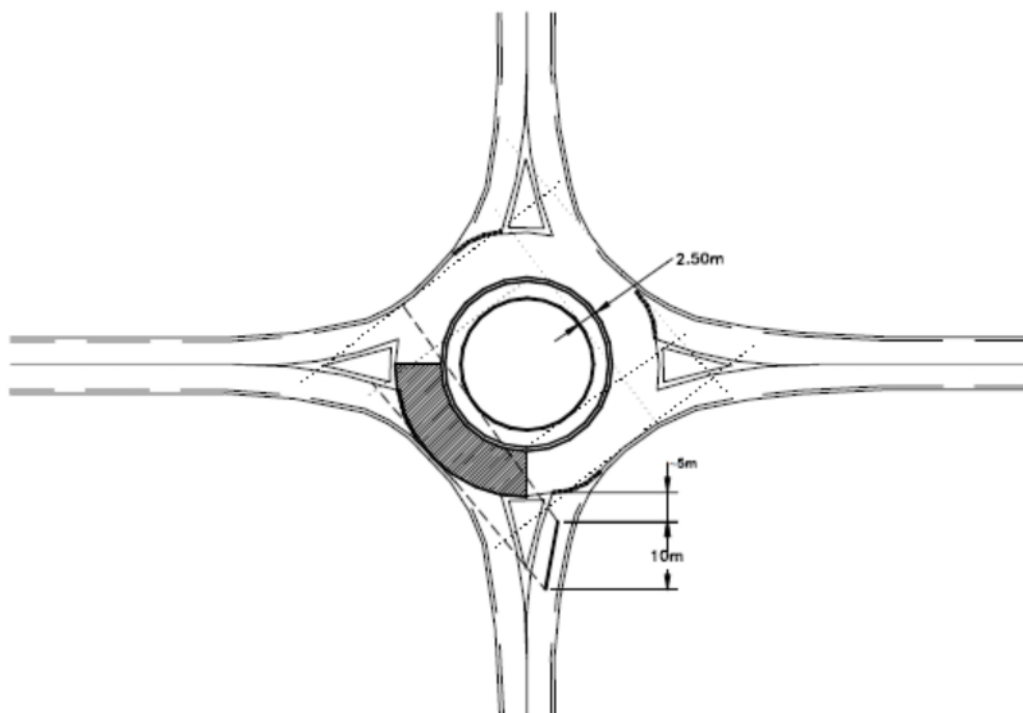
LEGENDA

- TRAIETTORIA TRA RAMI CONSECUTIVI
- TRAIETTORIA TRA RAMI NON CONSECUTIVI
- Rnn RAGGIO DI DEFLESSIONE ESPRESSO IN METRI
(IL VALORE DEVE ESSERE INFERIORE A 100m)



10 La verifica grafica dei campi di visibilità in rotatoria

I conducenti che si approssimano ad una rotatoria devono vedere i veicoli che percorrono l'anello centrale al fine di cedere ad essi la precedenza o eventualmente arrestarsi; sarà sufficiente una visione completamente libera sulla sinistra per un quarto dello sviluppo dell'intero anello (vedi fig. successiva), posizionando l'osservatore a 15 metri dalla linea che delimita il bordo esterno dell'anello giratorio.



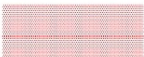
Una visione completa al disopra dell'isola centrale può indurre i conducenti a diminuire la loro attenzione verso sinistra e a non rispettare la precedenza. Per questo motivo è opportuno che la vista al disopra dell'isola centrale sia interdetta dalla presenza di piante o di altre attrezzature; è però comunque importante che l'isola centrale non presenti ostacoli alla vista (piante di alto fusto) a meno di 2 metri dal ciglio non sormontabile sagomato che delimita l'isola stessa (in assenza di quest'ultimo, 2.50 metri).

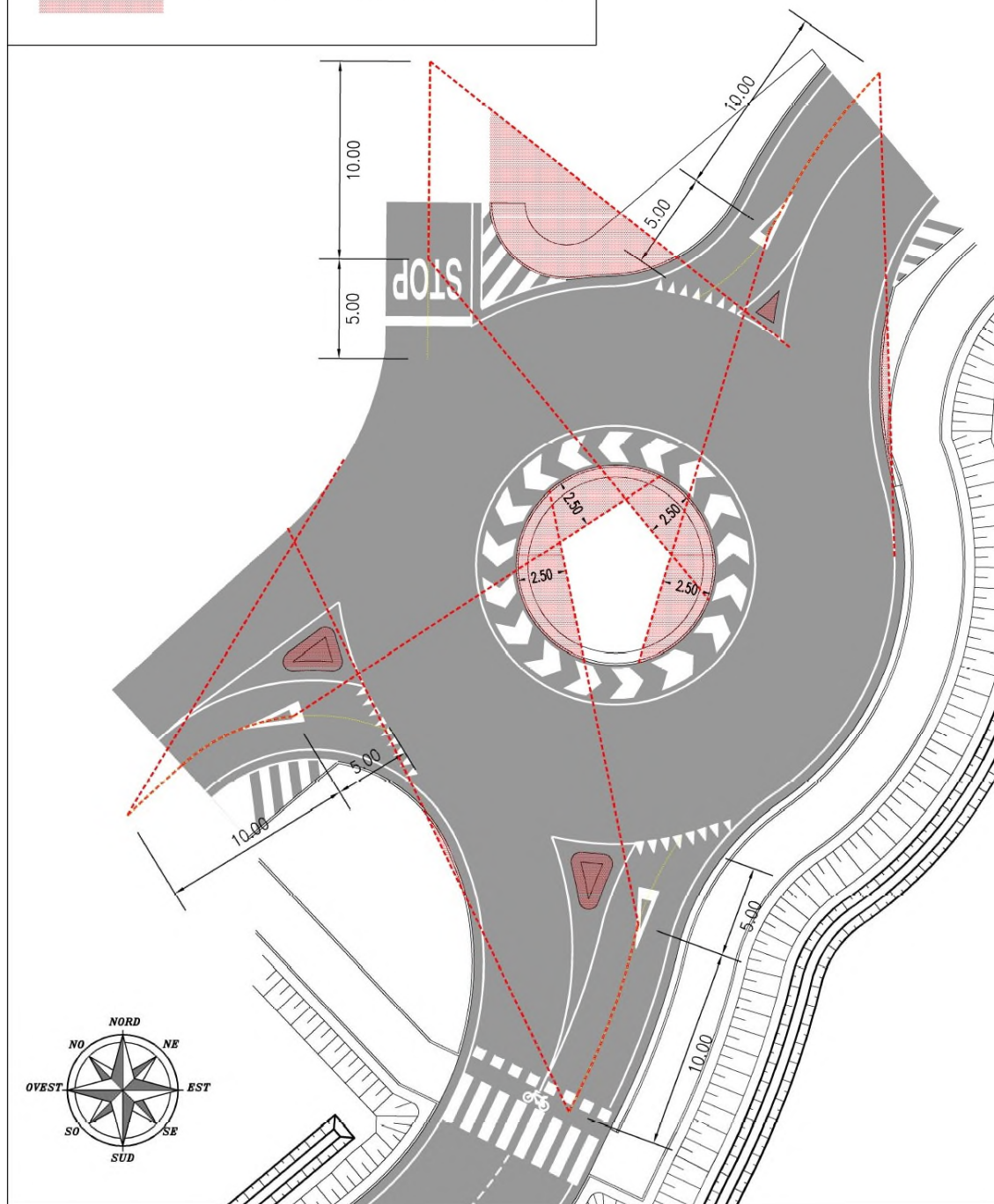
Al fine di garantire ai conducenti la visibilità necessaria in approccio alla rotatoria, nella figura seguente sono state graficizzate tutte le aree che devono rimanere sgombre da ostacoli.

Come è possibile notare, la verifica è soddisfatta: l'area principale evidenziata tra via Francia e via Stati Uniti d'America e tutte le restanti zone campite ricadono su aiuole a verde e isole spartitraffico, nelle quali il progetto non prevede presenza di piante o altri ostacoli alla visibilità.

VERIFICA CAMPI DI VISIBILITA'

LEGENDA

- RAGGI DI VISUALE OTTICA
-  CAMPO DI VISIBILITA' DA MANTENERSI LIBERO DA OSTACOLI



11 La verifica grafica delle manovre dei veicoli in rotatoria

Per la rotatoria in progetto sono state condotte verifiche sulle manovre dei veicoli, graficizzate nell'appendice seguente.

Visto il carattere industriale del quartiere ove la rotatoria si va ad inserire, è stato adottato l'autoarticolato come mezzo pesante più impattante per le valutazioni (verifiche dalla n.1 alla n.9).

La verifica è stata condotta partendo da ciascun ramo d'ingresso in rotatoria, verso tutte le possibili altre destinazioni in uscita e si può constatare che la manovra è sempre garantita. Per il solo ramo di via Stati Uniti d'America a ovest (strada chiusa con parcheggio) non si ha svolta diretta verso la S.P.175, ma si richiede agli autoarticolati di percorrere l'anello della rotatoria prima di effettuare la svolta.

Nella ipotesi che la nuova arteria sia percorsa anche da autobus, ne sono state verificate le possibili manovre. I risultati sono illustrati nelle verifiche allegate, dalla n.10 alla n.13.

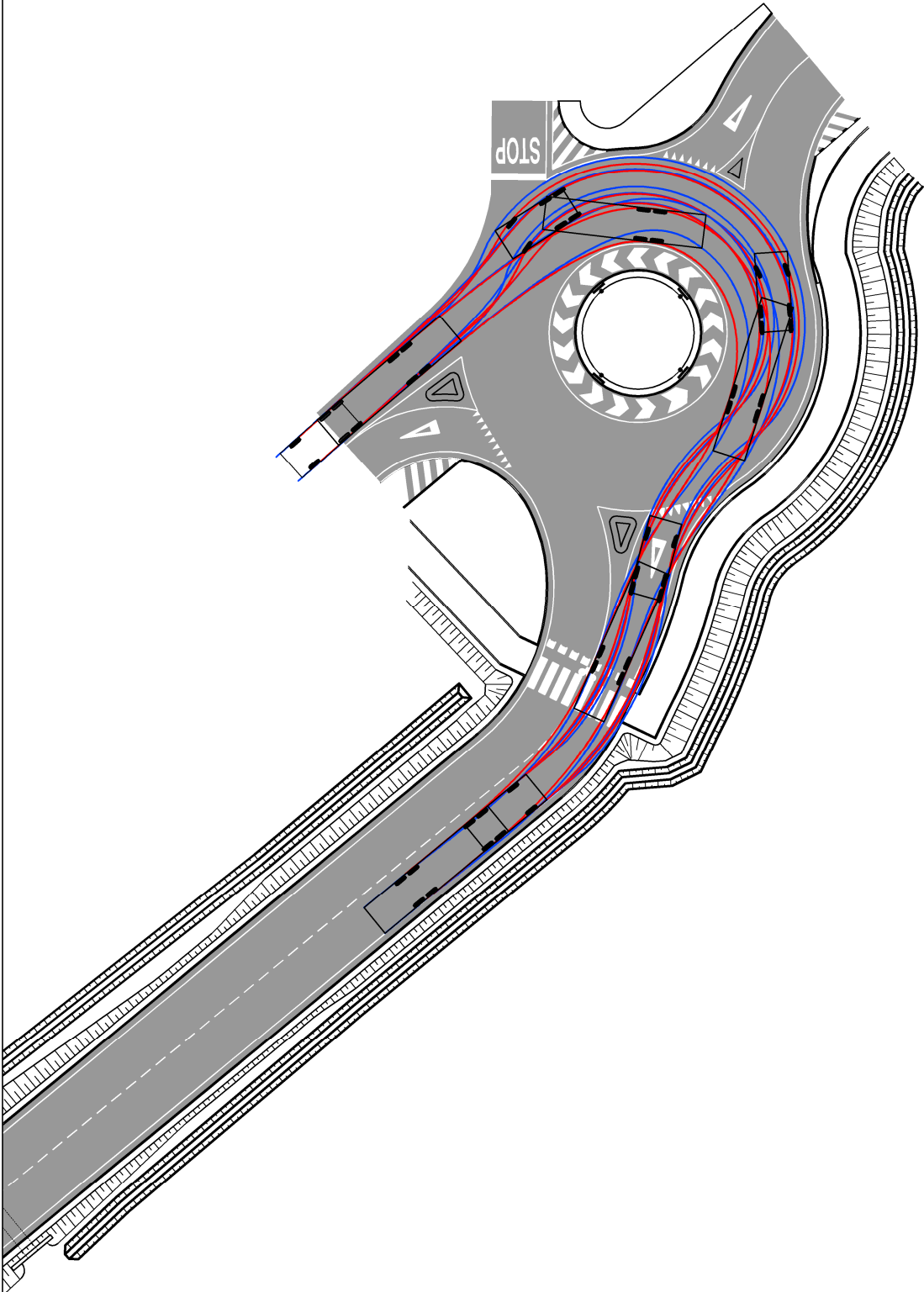
Anche con questa tipologia di automezzo si ha riscontro positivo nell'esecuzione delle manovre.

APPENDICE: la verifica grafica delle manovre dei veicoli in rotatoria

VERIFICA 01 MANOVRA AUTOARTICOLATO

LEGENDA

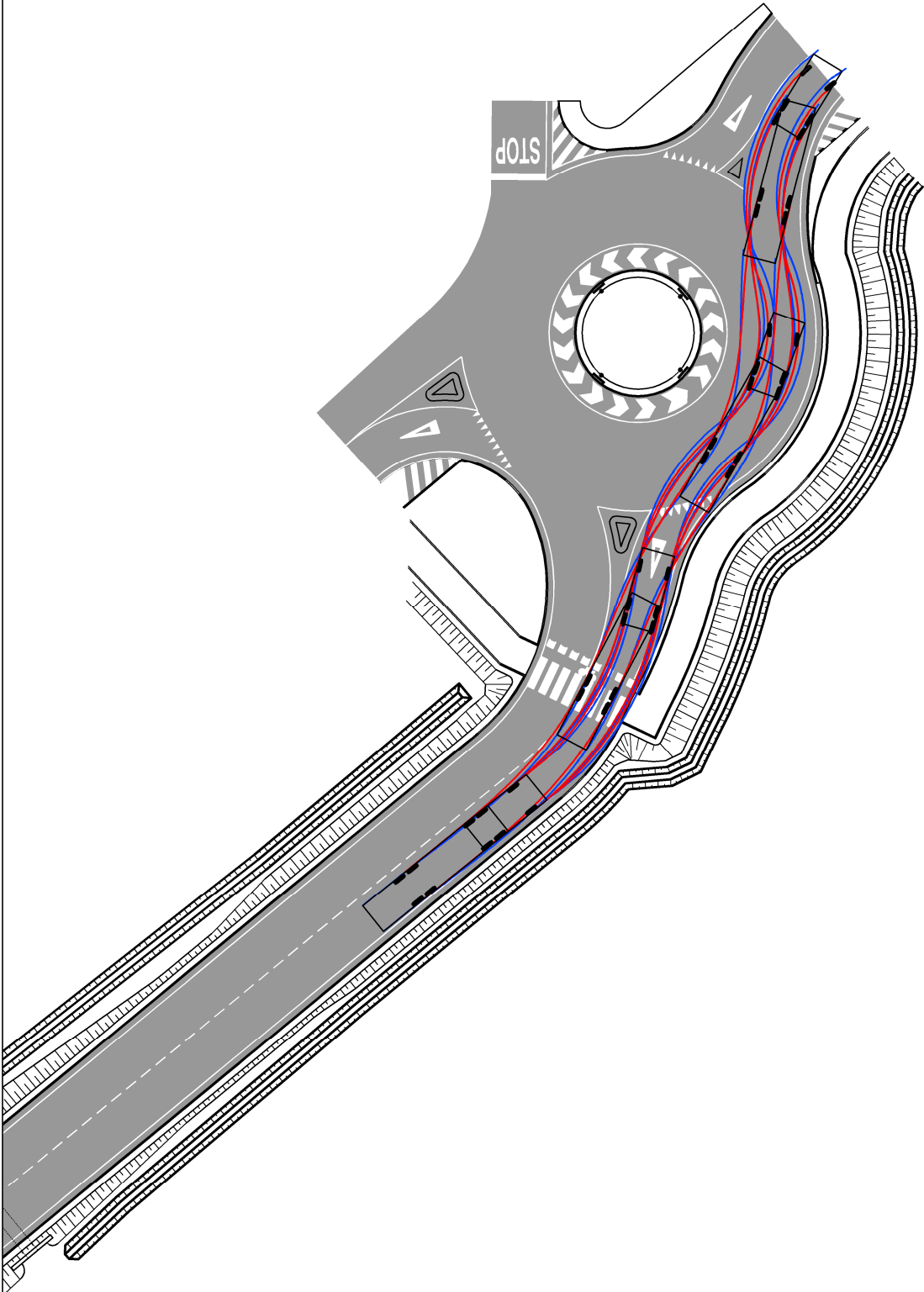
- TRAJETTORIA RUOTA
- TRAJETTORIA VEICOLO



VERIFICA 02 MANOVRA AUTOARTICOLATO

LEGENDA

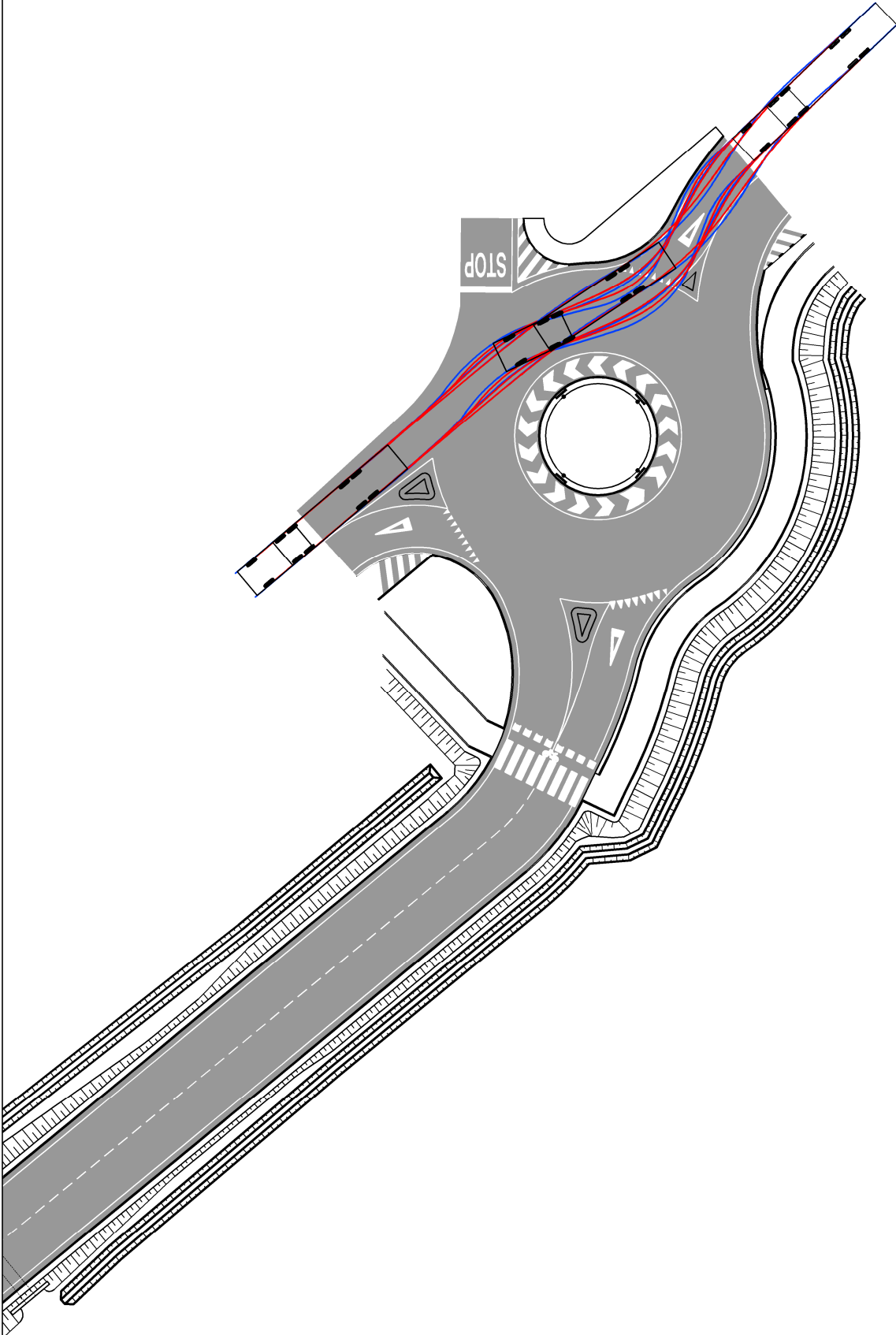
- TRAJETTORIA RUOTA
- TRAJETTORIA VEICOLO



VERIFICA 03 MANOVRA AUTOARTICOLATO

LEGENDA

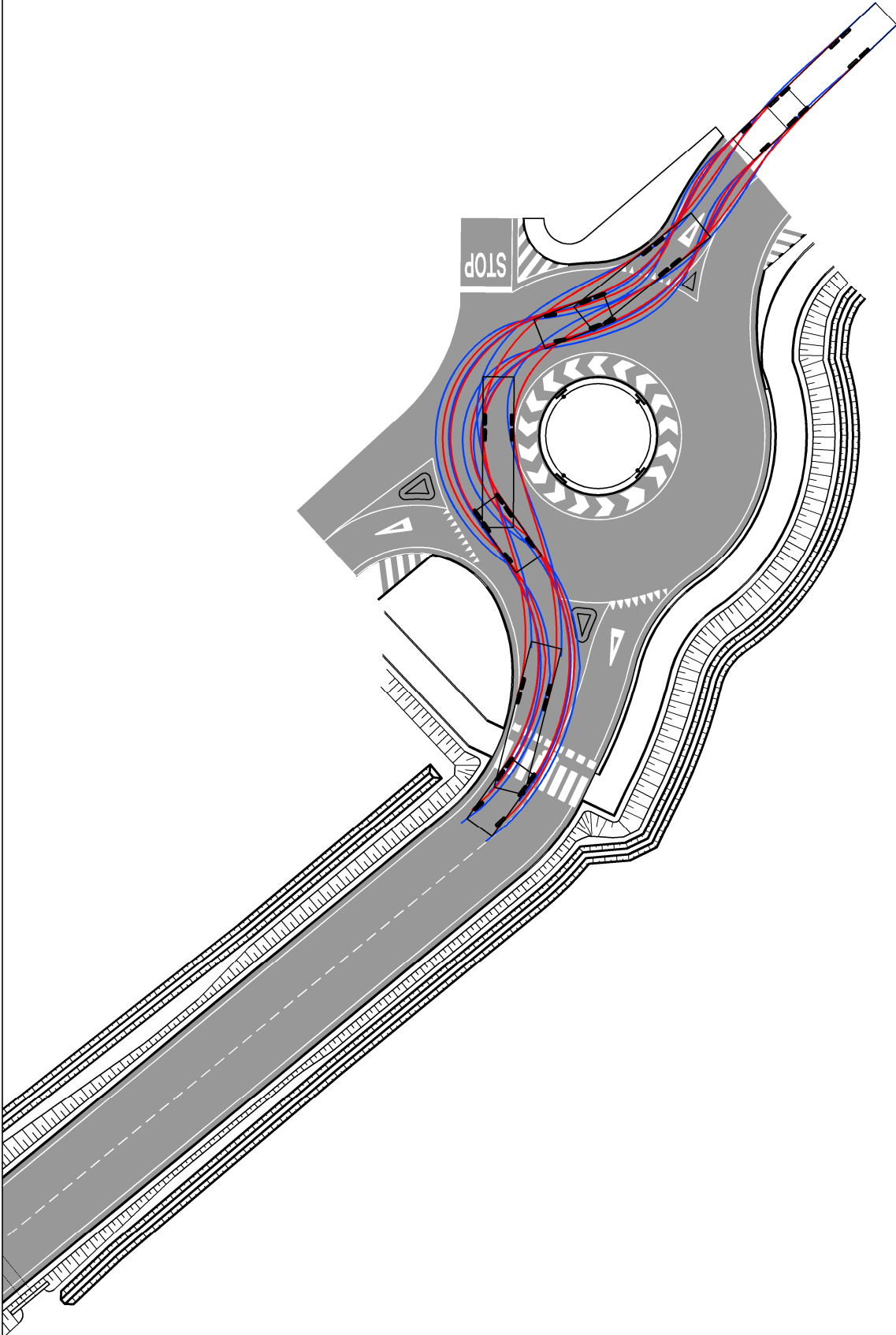
- TRAJETTORIA RUOTA
- TRAJETTORIA VEICOLO



VERIFICA 04 MANOVRA AUTOARTICOLATO

LEGENDA

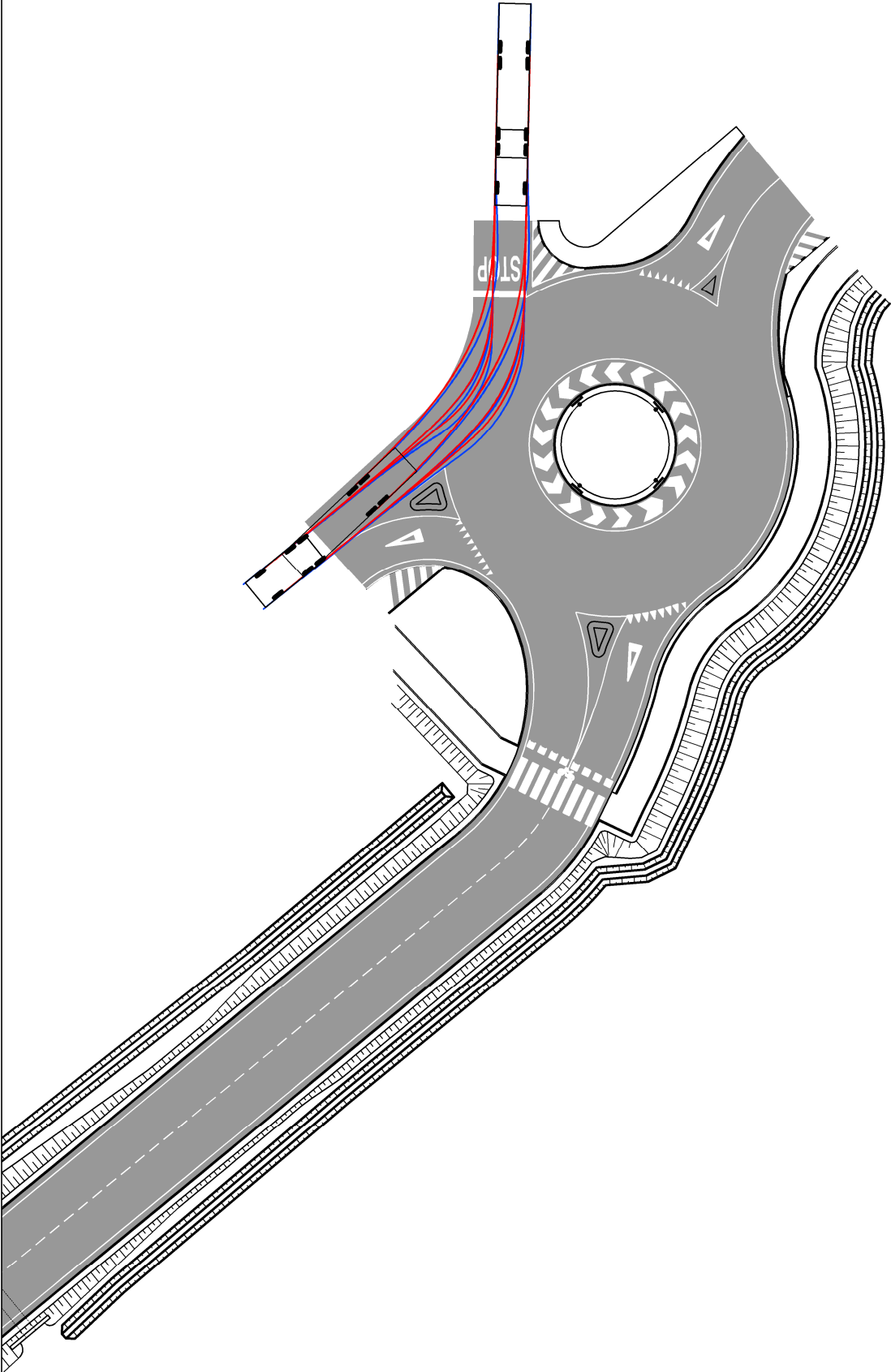
- TRAJETTORIA RUOTA
- TRAJETTORIA VEICOLO



VERIFICA 05 MANOVRA AUTOARTICOLATO

LEGENDA

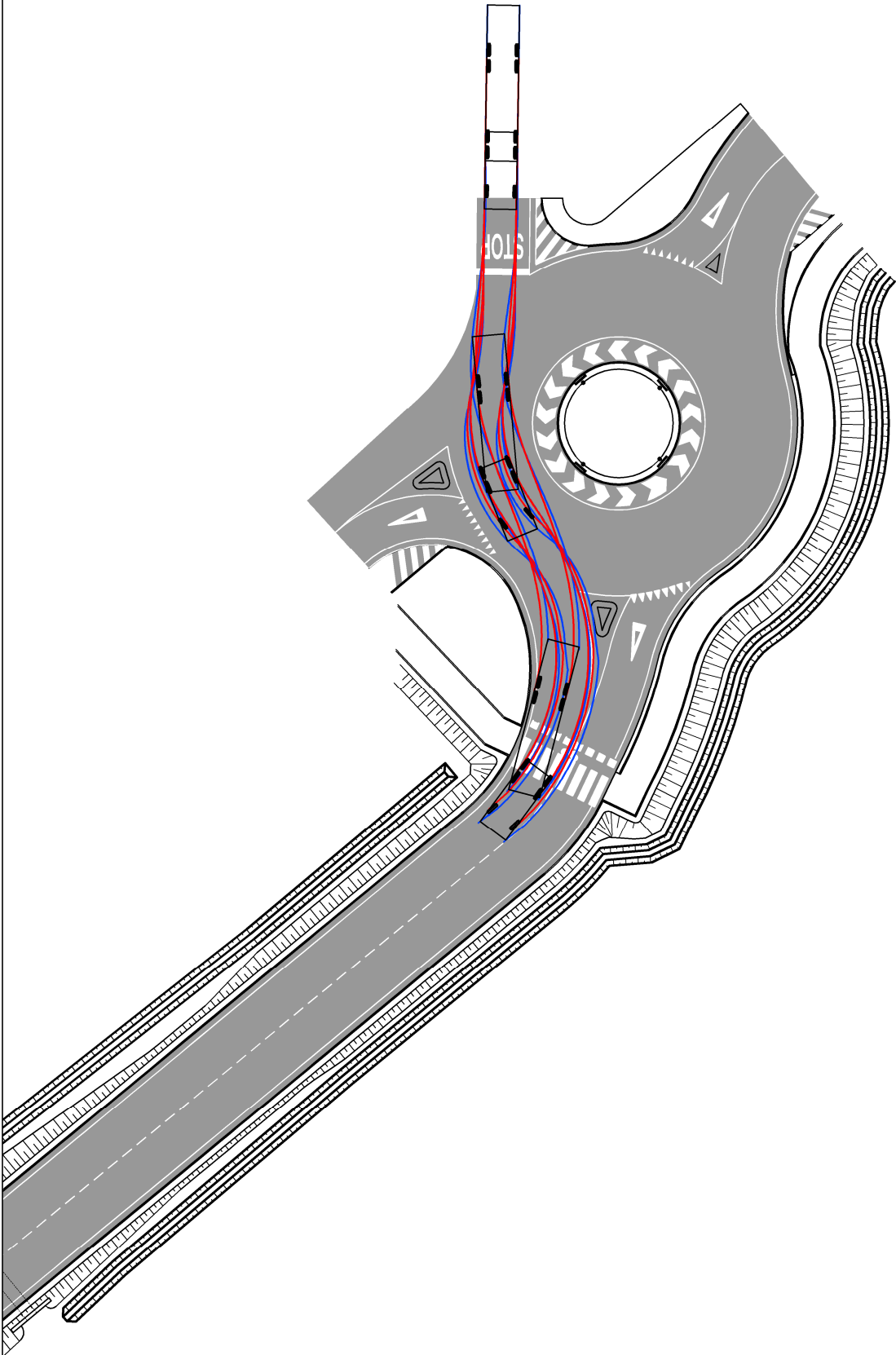
- TRAJETTORIA RUOTA
- TRAJETTORIA VEICOLO



VERIFICA 06 MANOVRA AUTOARTICOLATO

LEGENDA

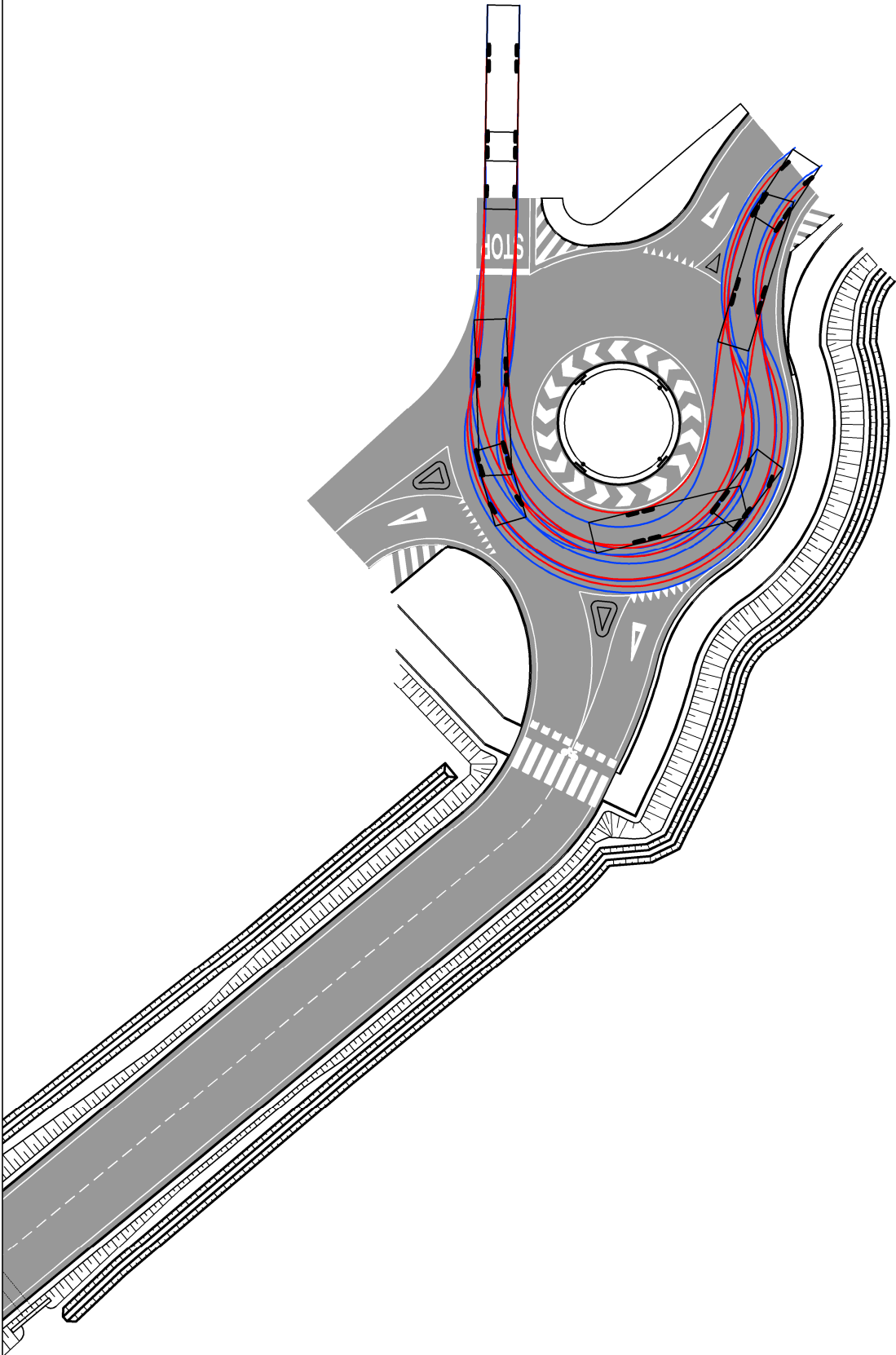
- TRAJETTORIA RUOTA
- TRAJETTORIA VEICOLO



VERIFICA 07 MANOVRA AUTOARTICOLATO

LEGENDA

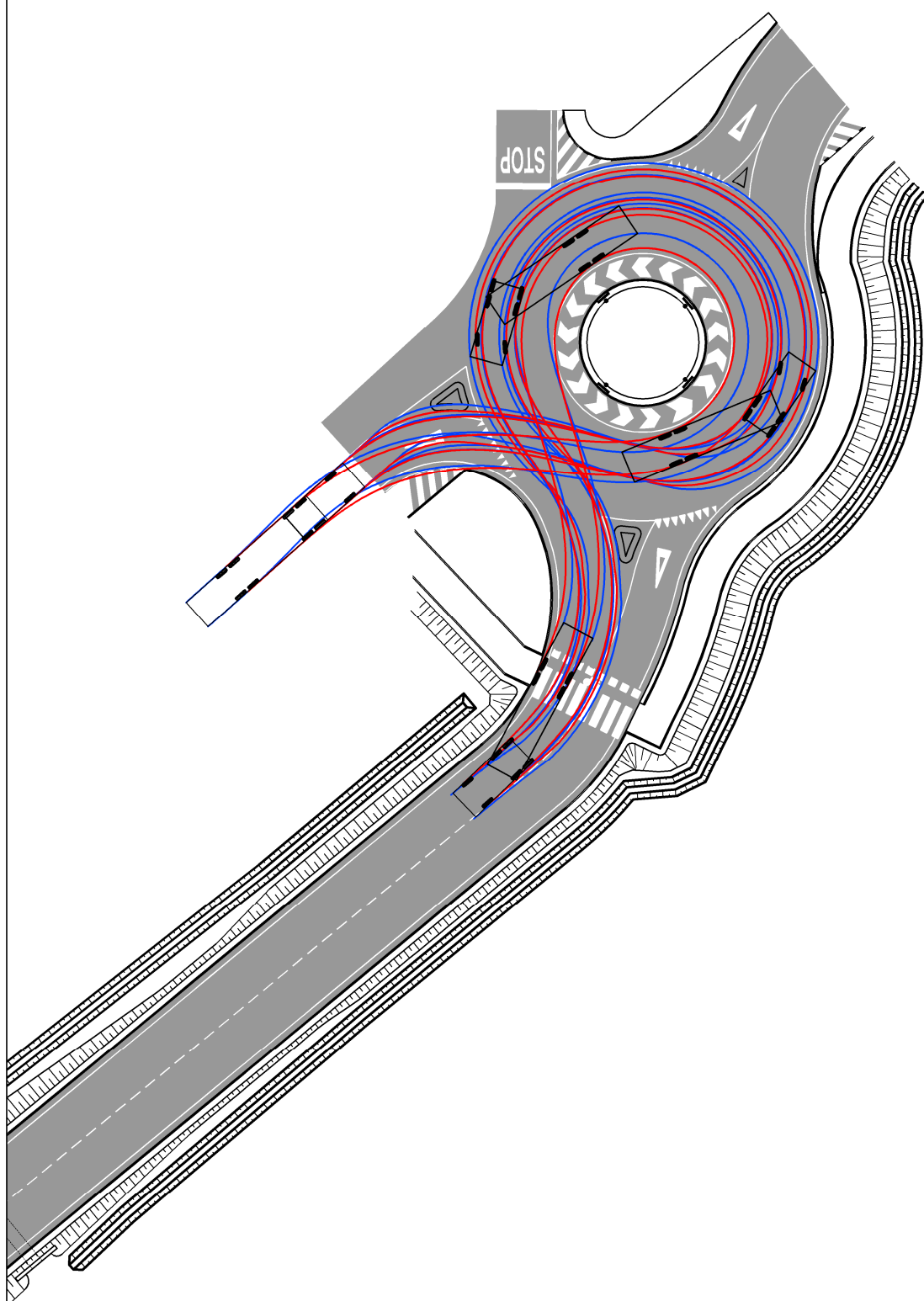
- TRAJETTORIA RUOTA
- TRAJETTORIA VEICOLO



VERIFICA 08 MANOVRA AUTOARTICOLATO

LEGENDA

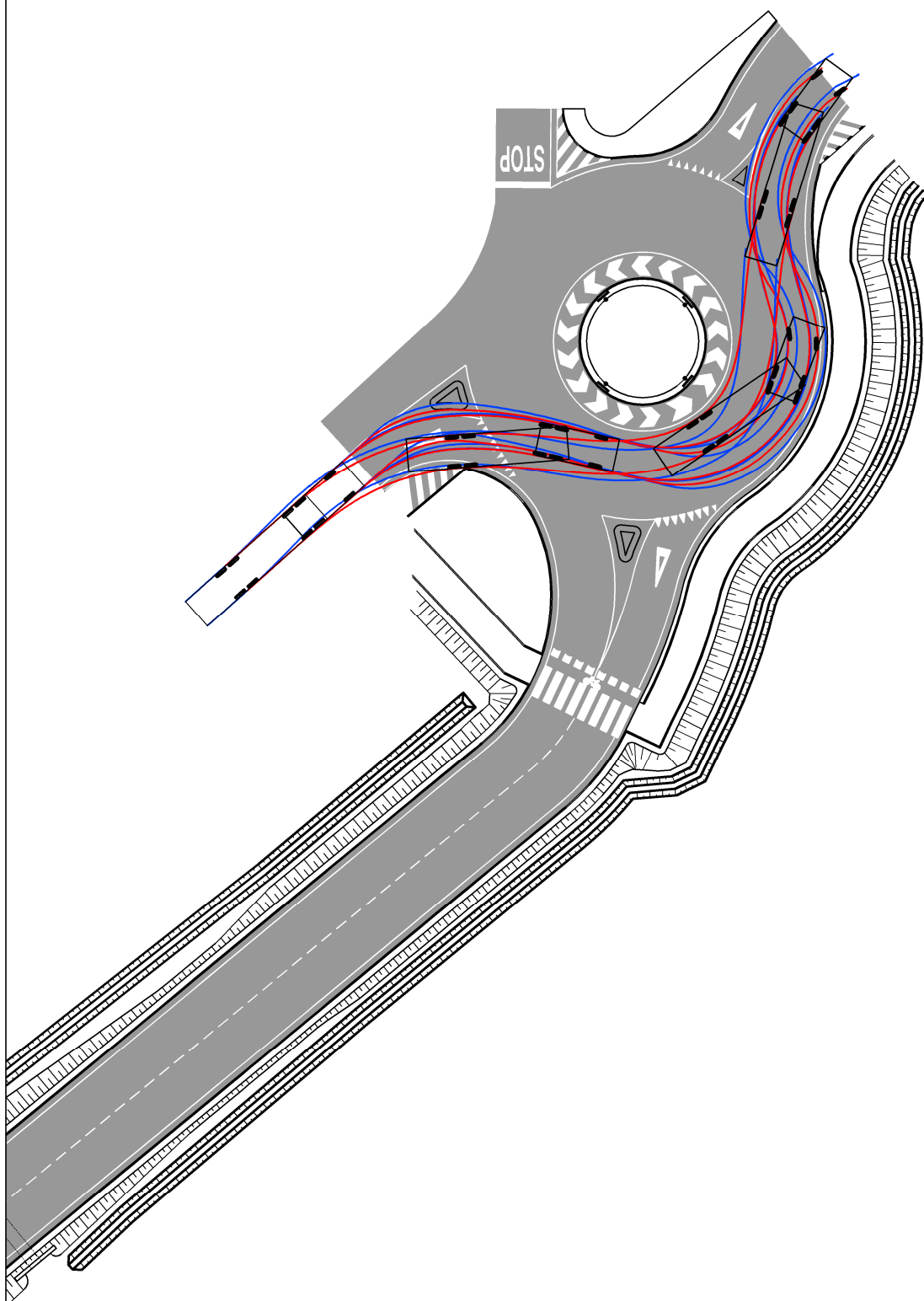
- TRAIETTORIA RUOTA
- TRAIETTORIA VEICOLO



VERIFICA 09 MANOVRA AUTOARTICOLATO

LEGENDA

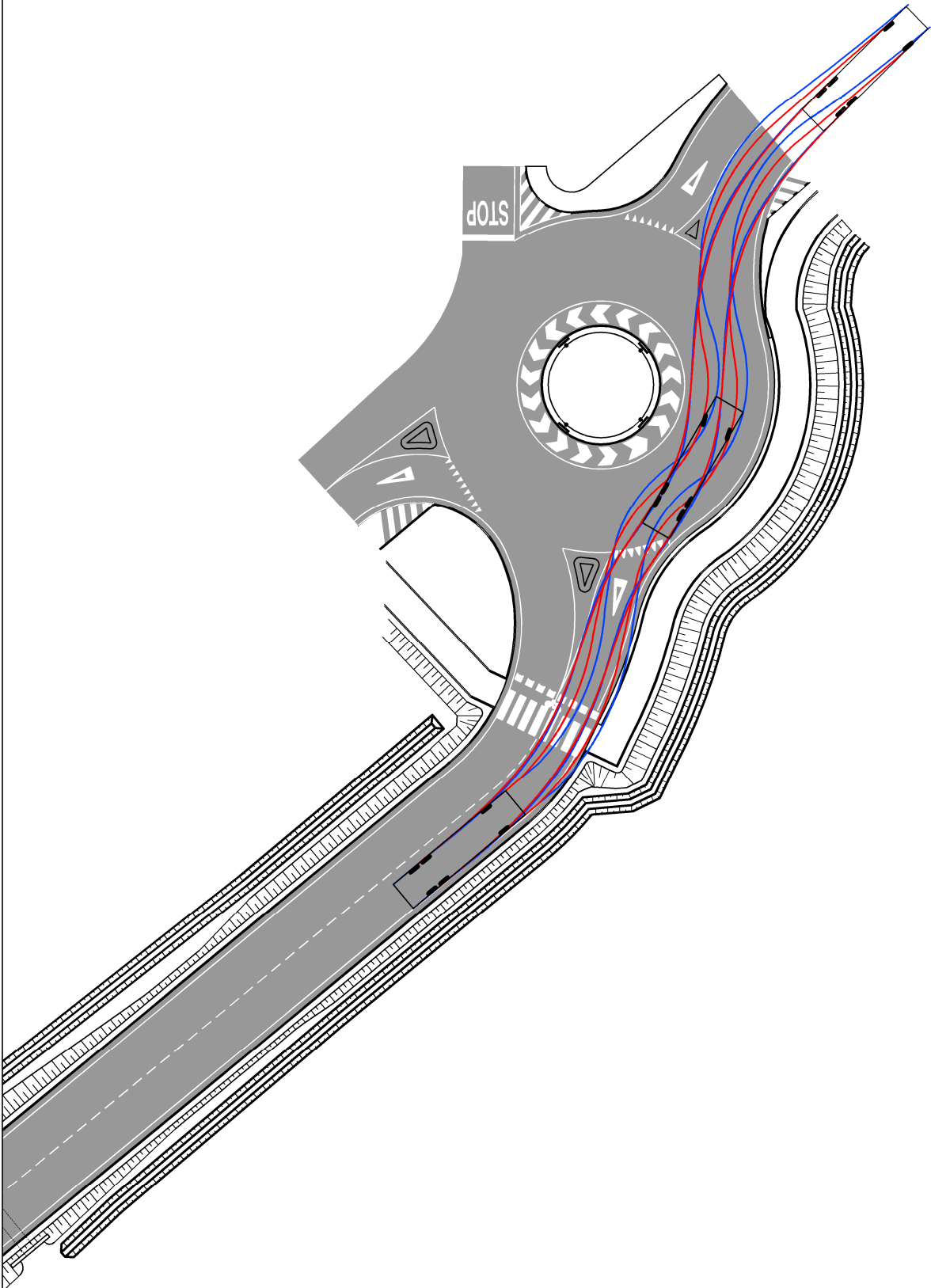
- TRAIETTORIA RUOTA
- TRAIETTORIA VEICOLO



VERIFICA 10 MANOVRA AUTOBUS

LEGENDA

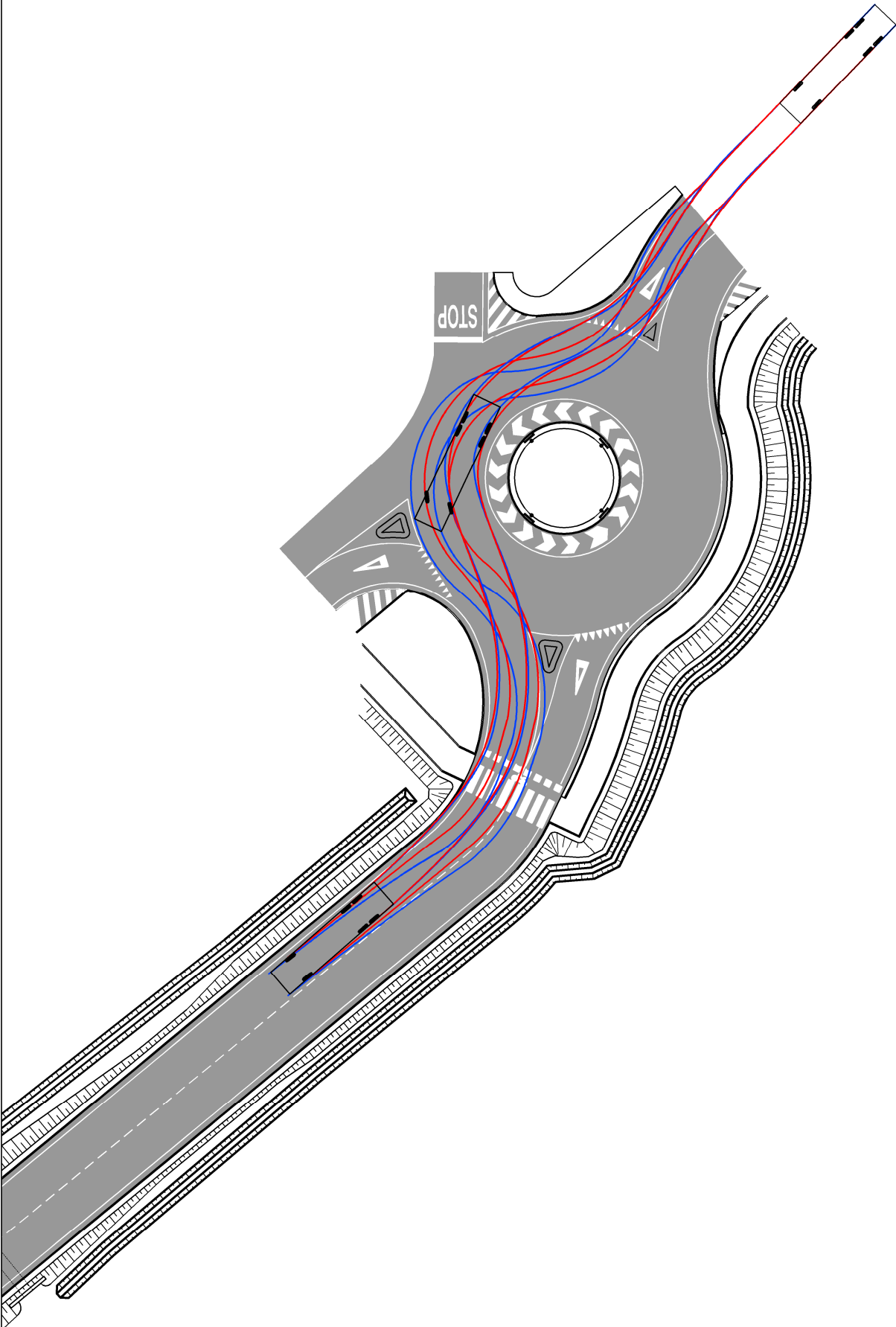
- TRAJETTORIA RUOTA
- TRAJETTORIA VEICOLO



VERIFICA 11 MANOVRA AUTOBUS

LEGENDA

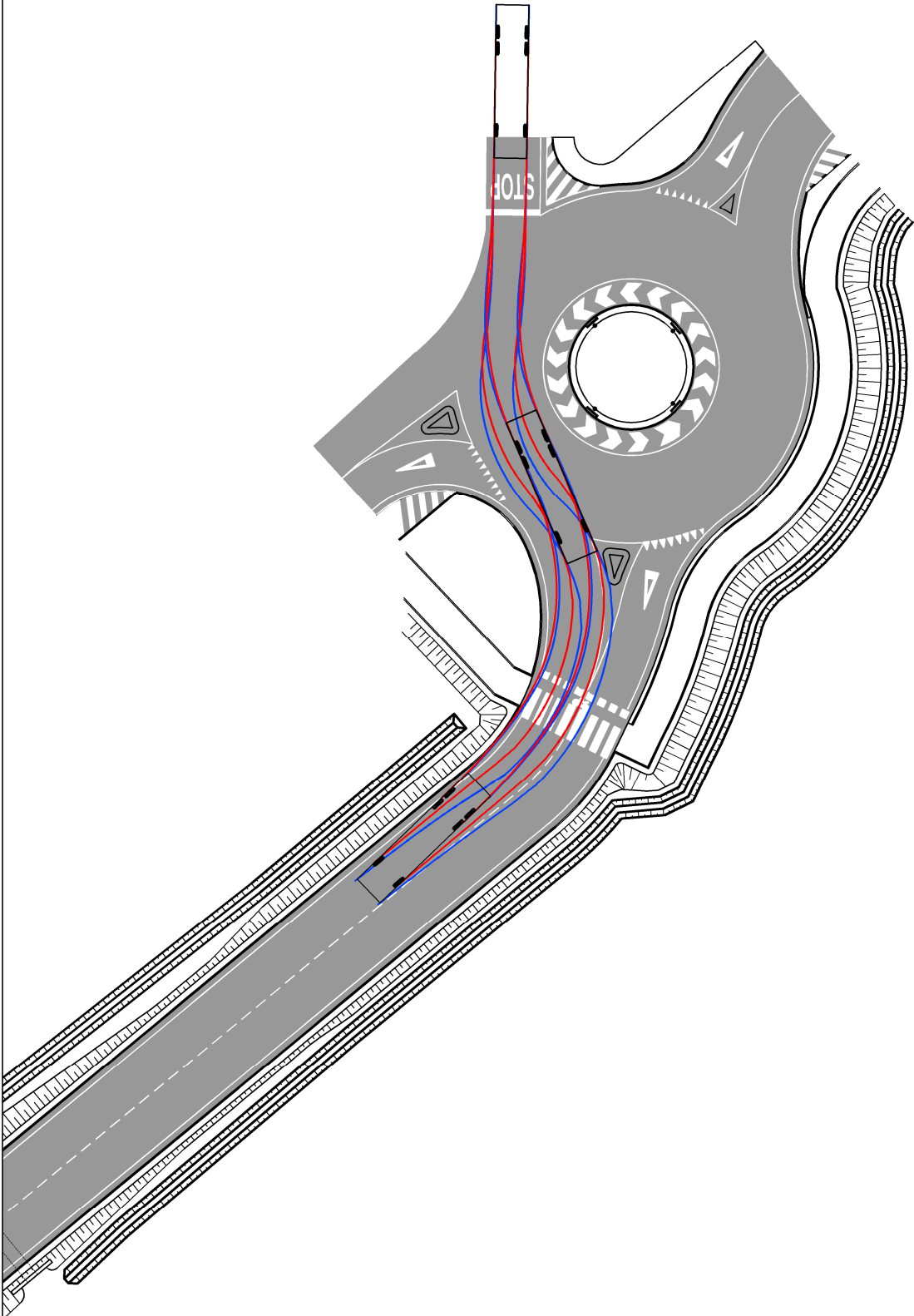
- TRAJETTORIA RUOTA
- TRAJETTORIA VEICOLO



VERIFICA 12 MANOVRA AUTOBUS

LEGENDA

- TRAJETTORIA RUOTA
- TRAJETTORIA VEICOLO



VERIFICA 13 MANOVRA AUTOBUS

LEGENDA

- TRAJETTORIA RUOTA
- TRAJETTORIA VEICOLO

