

SISTEMA TANGENZIALE DI LUCCA

Viabilità Est di Lucca comprendente i collegamenti
tra Ponte a Moriano ed i caselli dell'autostrada A11
del Frizzone e di Lucca Est - 1° Stralcio

PROGETTO DEFINITIVO

PROGETTAZIONE: ANAS - DIREZIONE PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE LAVORI

I PROGETTISTI:

Ing. Vincenzo Marzi
Ordine Ing. di Bari n. 3594

Ing. Giuseppe Danilo Malgeri
Ordine Ing. di Roma n. A34610

Geol. Serena Majetta
Ordine Geologi del Lazio n. 928

IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE

Geom. Fabio Quondam

VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO :

Ing. Achille Devitofranceschi

PROTOCOLLO

DATA

PROGETTO STRADALE

AMBITO GENERALE

Analisi trasportistica con indicazioni sulle intersezioni a rotatoria

CODICE PROGETTO

PROGETTO LIV. PROG. N. PROG.

LO601A D 1601

NOME FILE

PO0PS00STDRE02A.dwg

CODICE
ELAB.

P00PS00STDRE02

REVISIONE

SCALA

A

-

D

C

B

A

EMISSIONE

SET 2018

REV.

DESCRIZIONE

DATA

REDATTO

VERIFICATO

APPROVATO

Sommario

1. PREMESSA.....	3
2. LE PREVISIONI DI CRESCITA DEL TRAFFICO SECONDO LO STUDIO TRASPORTISTICO ANAS.....	4
2.1. LA CURVA LOGISTICA DI PREVISIONE DEL TRAFFICO	7
2.2. DETERMINAZIONE DEI PARAMETRI PER LA CURVA LOGISTICA DI PREVISIONE DEL TRAFFICO	8
2.3. CONFRONTO TRA LE PREVISIONI ANAS E SECONDO LA CURVA LOGISTICA.....	13
3. VERIFICHE INTERSEZIONI OGGETTO DI STUDIO DELL'ASSE NORD-SUD	14
3.1. ASSE NORD-SUD. ROTATORIA DI INNESTO CON LA SS12	17
3.2. ASSE NORD-SUD. ROTATORIA DI INNESTO CON LA SR 435.....	23
3.3. ASSE NORD-SUD INTERSEZIONE DI ANTRACCOLI	29
3.1.1. ASSE NORD-SUD INTERSEZIONE DI ANTRACCOLI-LATO OVEST.....	29
3.1.2. ASSE NORD-SUD INTERSEZIONE DI ANTRACCOLI-LATO EST.....	35
3.1.3. ASSE NORD-SUD INTERSEZIONE ROTATORIA SAN LUCA	41
3.1.4. ASSE NORD-SUD INTERSEZIONE ROTATORIA ROMANA.....	47
4. VERIFICA DELLA PERCORRIBILITÀ DELLE MANOVRE DA PARTE DEI VEICOLI PESANTI	48
4.1. ASSE NORD-SUD. ROTATORIA DI INNESTO CON LA SS12	52
4.2. ASSE NORD-SUD ROTATORIA ANTRACCOLI LATO EST.....	55
5. RACCOMANDAZIONI.....	56
5.1. DIFFORMITÀ GEOMETRICHE	56
5.1.1. LARGHEZZA DELLE CORSIE IN INGRESSO	56
5.1.2. RAGGI IN INGRESSO.....	56
5.1.3. LARGHEZZA DELLE CORSIE IN USCITA.....	56
5.1.4. RAGGI IN USCITA	56
5.2. ASSE NORD-SUD ROTATORIA DI INNESTO CON LA SS12-PROBLEMA FUNZIONALE	57
5.3. ASSE NORD-SUD ROTATORIA DI INNESTO CON LA SR 435-PROBLEMA FUNZIONALE	67
5.4. ASSE NORD-SUD INTERSEZIONE DI ANTRACCOLI-LATO OVEST-ADEGUAMENTO FUNZIONALE	71
5.5. ASSE NORD-SUD INTERSEZIONE DI ANTRACCOLI-LATO EST-PROBLEMA FUNZIONALE	72
5.6. ASSE NORD-SUD INTERSEZIONE ROTATORIA SAN LUCA	76
5.7. SOVRAPPOSTO.....	77

1. PREMESSA

Il progetto preliminare della tangenziale di Lucca, o Asse Nord-Sud, è stato approvato con prescrizioni per la redazione del progetto definitivo.

Tali prescrizioni sono riportate nella Delibera CIPE del 10/08/2016 che per quanto riguarda la parte trasportistica vengono specificate ai punti 1.1.1.1 e 1.1.1.2 della Delibera stessa.

Nelle pagine che seguono viene quindi data risposta a queste ultime prescrizioni in modo che possano essere prontamente recepite dai progettisti che saranno incaricati di redigere il progetto definitivo della Tangenziale di Lucca.

Il Rapporto è quindi articolato come segue. Nel primo capitolo viene analizzata l'evoluzione della domanda di trasporto per verificare se i dati di traffico del 2013 mantengono o meno la loro validità. I capitoli 3 e 4 sono dedicati alla verifica geometrica e funzionale delle intersezioni. Nel capitolo 5 sono riportate le verifiche della percorribilità da parte dei veicoli pesanti.

Il Rapporto termina con una nota di considerazioni conclusive.

Quindi come previsto dalla delibera CIPE 10 Agosto 2016 (GU 23.03.2017) ed in particolare delle prescrizioni dei punti 1.1.1.1 e 1.1.1.2 dell'Allegato 1 della Delibera CIPE 10 Agosto 2016, il seguente Rapporto Tecnico vede lo studio delle seguenti intersezioni:

- Rotatoria di innesto con la SS12;
- Rotatoria di innesto con la SR435 al Km 4+000;
- Intersezione di Antraccoli.

2. LE PREVISIONI DI CRESCITA DEL TRAFFICO SECONDO LO STUDIO TRASPORTISTICO ANAS

Nello studio trasportistico facente parte del Progetto Preliminare del Sistema Tangenziale di Lucca (Studio Trasportistico – Studio di Traffico, Elaborato T00SG00AMBRE01 del 30/05/2014) si ipotizza una crescita annua del traffico sulle strade di interesse come riportata in figura 1.

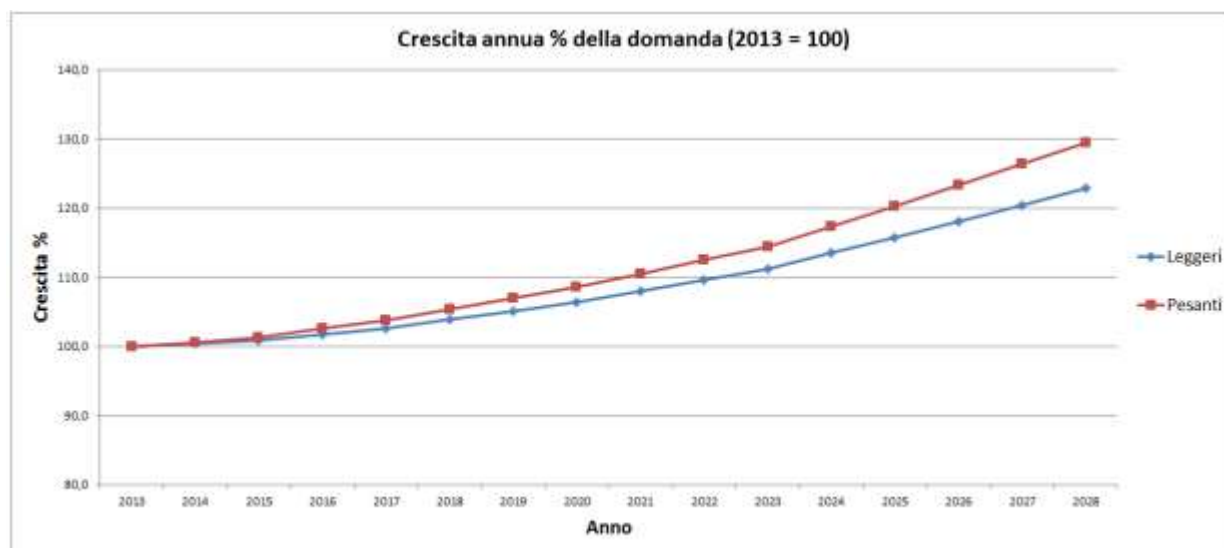


Figura 1: Crescita percentuale del traffico secondo lo studio trasportistico ANAS del 2013

I tassi di accrescimento r , distinti per veicoli leggeri e veicoli pesanti, sono calcolati in riferimento all'anno 2013, e riportati in tabella 1.

Anno	r leggeri	r pesanti
2013	0.0	0.0
2014	0.5	0.5
2015	1.0	1.1
2016	2.2	3.3
2017	3.1	3.5
2018	4.2	4.2
2019	5.0	5.6
2020	6.1	7.2
2021	8.1	9.5
2022	10.1	11.1
2023	11.4	13.3
2024	13.6	15.6

2025	15.9	18.9
2026	18.1	21.7
2027	21.3	22.2
2028	23.1	28.4

Tabella 1: tassi di crescita percentuali del traffico rispetto al 2013

I tassi di incremento in tabella 1 vengono utilizzati per prevedere lo sviluppo del traffico in quattro strade:

- SP29 Viale Europa
- SS12 Via del Brennero
- SS435 Via Pesciatina
- SP61 Via Lucchese Romana

Per le strade menzionate si dispone dei rilievi di traffico eseguiti dalla Provincia di Lucca nel 2013 e di quelli eseguiti dal Laboratorio LOGIT dell'Università di Pisa nel 2017. In questo modo sarà possibile confrontare le stime fatte dallo studio ANAS nel 2014 con dati più recenti.

Applicando i tassi di incremento riportati in tabella 1 ai dati del 2013 si ottengono i Traffici Giornalieri Medi per ogni anno dal 2013 al 2028, distinti per i veicoli leggeri, pesanti, ed equivalenti. Questi ultimi sono stati ottenuti convertendo i veicoli leggeri e pesanti in autoveicoli equivalenti (passenger car-pc), e sommando i risultati (1 veicolo leggero= 1 pc; 1 veicolo pesante= 2 pc).

La tabella 2 riporta i risultati. I valori sono in veic/g per i TGM leggeri e pesanti, e pc/g per i TGM equivalenti.

Anno	viale Europa			via del Brennero			viale Pesciatina			via Lucchese-Romana			Medie		
	TGM legg	TGM pes.	TGM	TGM legg	TGM pes.	TGM	TGM legg	TGM pes.	TGM	TGM legg	TGM pes.	TGM	TGM legg	TGM pes.	TGM
2013	16624	3581	23786	17394	2023	21440	15649	1447	18543	20708	2259	25226	17593.75	2327.50	19921
2014	16707	3599	23905	17481	2033	21547	15727	1454	18635	20812	2270	25352	17681.75	2339.00	20021
2015	16790	3620	24030	17568	2045	21658	15805	1463	18731	20915	2284	25483	17769.50	2353.00	20123
2016	16990	3699	24388	17777	2090	21957	15993	1495	18983	21164	2334	25832	17981.00	2404.50	20386
2017	17139	3706	24551	17933	2094	22121	16134	1498	19130	21350	2338	26026	18139.00	2409.00	20548
2018	17322	3731	24784	18125	2108	22341	16306	1508	19322	21578	2354	26286	18332.75	2425.25	20758
2019	17455	3782	25019	18264	2136	22536	16431	1528	19487	21743	2386	26515	18473.25	2458.00	20931
2020	17638	3839	25316	18455	2169	22793	16604	1551	19706	21971	2422	26815	18667.00	2495.25	21162
2021	17971	3921	25813	18803	2215	23233	16917	1584	20085	22385	2474	27333	19019.00	2548.50	21568
2022	18303	3978	26259	19151	2248	23647	17230	1608	20446	22800	2510	27820	19371.00	2586.00	21957
2023	18519	4057	26633	19377	2292	23961	17433	1639	20711	23069	2559	28187	19599.50	2636.75	22236
2024	18885	4140	27165	19760	2339	24438	17777	1673	21123	23524	2611	28746	19986.50	2690.75	22677
2025	19267	4258	27783	20160	2405	24970	18137	1720	21577	24001	2686	29373	20391.25	2767.25	23159
2026	19633	4358	28349	20542	2462	25466	18481	1761	22003	24456	2749	29954	20778.00	2832.50	23611
2027	20165	4376	28917	21099	2472	26043	18982	1768	22518	25119	2760	30639	21341.25	2844.00	24185
2028	20464	4598	29660	21412	2598	26608	19264	1858	22980	25492	2901	31294	21658.00	2988.75	24647

Tabella 2: stime dei TGM per gli anni dal 2013 al 2028

2.1. LA CURVA LOGISTICA DI PREVISIONE DEL TRAFFICO

Il modello di accrescimento lineare del traffico, almeno negli ultimi dieci anni, risulta scarsamente attendibile, a causa degli effetti della crisi mondiale del 2007 le cui ripercussioni hanno portato ad una diminuzione dei veicoli circolanti, seguita poi da una fase di lenta ripresa, come evidenziato da un recente ed esteso rapporto della nota società di consulenza internazionale Steer Davies Gleave Ltd, ossia al Report del 2015 “Monitoraggio rete autostradale Gruppo SIAS”. La figura 2 riporta l’andamento della crescita di traffico sulle autostrade del Gruppo SIAS.

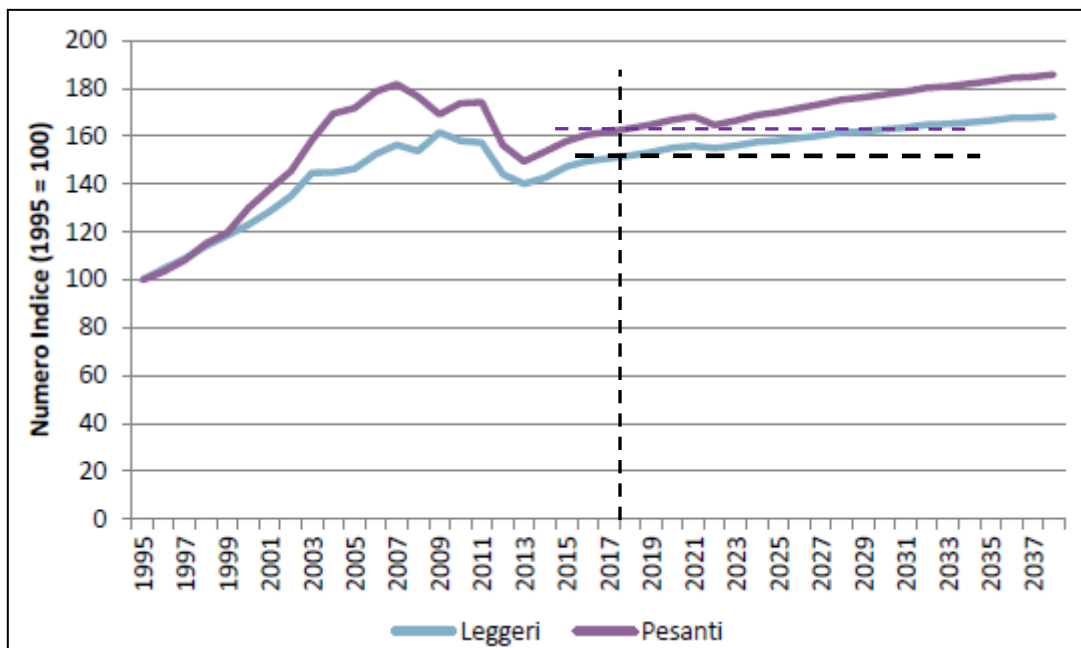


Figura 2: andamento della crescita del traffico sulle autostrade del Gruppo SIAS

Inoltre è evidente che il traffico su una strada non può crescere indefinitamente, in quanto la strada ha una sua capacità veicolare superata la quale entra in congestione, spingendo gli utenti a ricercare percorsi alternativi. In quest’ottica il modello che si ritiene più appropriato per esprimere l’andamento del traffico è il modello di Verhulst, o curva di crescita logistica, la cui espressione è riportata di seguito (1).

$$P = \frac{K}{1+q^{-rt}} \quad (1)$$

In cui:

K è la capacità della strada in veic/g

r è il tasso di incremento della motorizzazione

t è il tempo espresso in anni

q è dipendente dalla popolazione iniziale P_0 e la capacità K secondo l’espressione:

$$q = \frac{K - P_0}{P_0}$$

La curva logistica ha un andamento ad S, presenta una fase iniziale il cui la pendenza aumenta progressivamente fino a raggiungere un flesso, per poi decrescere fino a diventare quasi orizzontale all'approssimarsi al valore limite K, che rappresenta l'asintoto orizzontale superiore. La forma tipica di una curva logistica è riportata in figura 3.

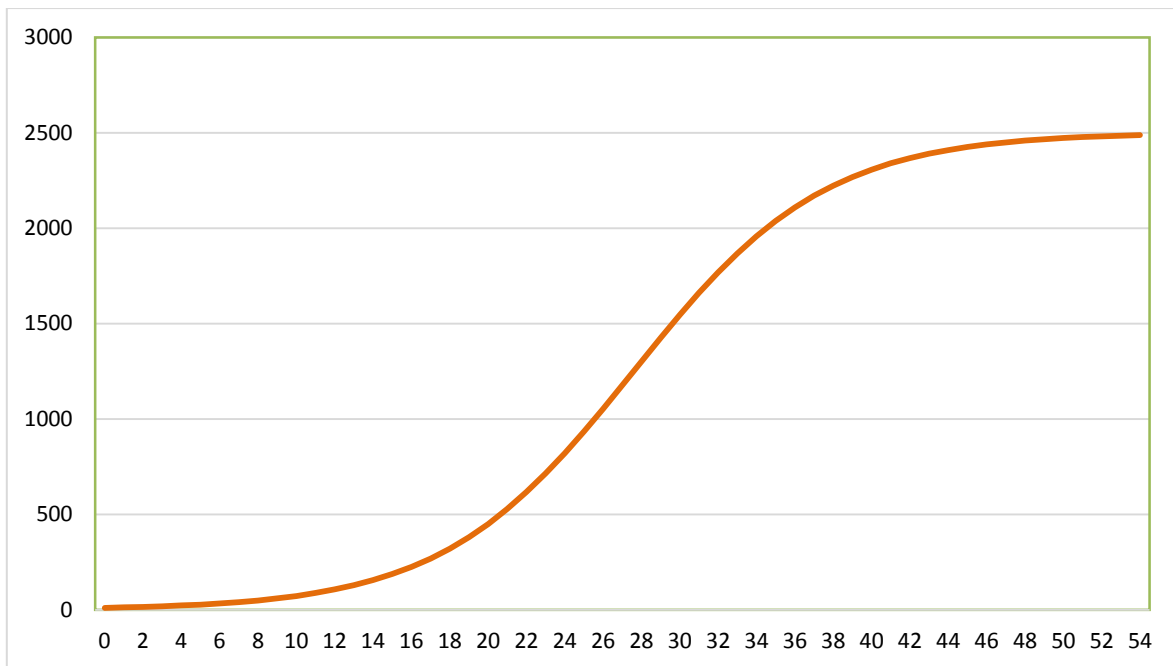


Figura 3: curva logistica con K= 2500

2.2. DETERMINAZIONE DEI PARAMETRI PER LA CURVA LOGISTICA DI PREVISIONE DEL TRAFFICO

La curva logistica è definita, come detto al paragrafo precedente, dai parametri P_0 (traffico circolante nell'anno di riferimento 0) K (capacità giornaliera della strada) e r (tasso di motorizzazione).

Come anno di riferimento 0 per la curva logistica viene scelto il 2017, in quanto dai rilievi effettuati dal Laboratorio LOGIT emerge una riduzione generale del traffico su tutti i punti di rilievi. Tale riduzione si attesta su un valore medio di -2.6%.

Dal momento che la curva logistica è una funzione monotona crescente, si è ipotizzato un andamento crescente del traffico dal 2017, che quindi è divenuto l'anno 0 di riferimento. Il traffico circolante sulle quattro strade di interesse nel 2017 è ripreso dai rilievi effettuati ed è riportato in tabella 3.

	TGM leggeri [veic/g]	TGM pesanti [veic/g]	TGM [pc/g]
viale Europa	18860	2202	23264
via del Brennero	18219	849	19917
viale Pesciatina	14192	1080	16352
via Lucchese- Romana	23416	724	24864
Medie	18672	1214	19886

Tabella 3: Traffico giornaliero medio nel 2017

La capacità della strada rappresenta il massimo flusso di veicoli sostenibile dalla stessa prima di entrare in congestione, ed è quindi la grandezza maggiormente indicata per rappresentare il parametro K, l'asintoto orizzontale a cui tende la funzione logistica. Per determinare la capacità è stato adottato il "Metodo Inglese" semplificato per strade in ambito urbano, con flusso di sole autovetture e senza veicoli parcheggiati a bordo strada (2).

$$C = 530 \cdot L \quad (2)$$

con L larghezza in metri della carreggiata, o semicarreggiata, depurata dalla parte occupata da eventuali veicoli in sosta a bordo strada (quindi banchine o parti di corsia abitualmente usate per la sosta dei veicoli). La tabella 4 riporta le larghezze delle carreggiate delle singole strade in esame, la capacità media in veic/h e infine la capacità giornaliera in veic/g.

Strada	Larghezza carreggiata netta [m]	capacità [veic/h]
viale Europa	6	3180
via del Brennero	7	3710
via Pesciatina	6	3180
via Lucchese Romana	7	3710
	Media [veic/h]	3445
	Media [veic/g]	82680

Tabella 4: capacità delle strade in esame

L'ultimo valore riportato, la capacità media giornaliera di 82680 veicoli/giorno, ottenuta moltiplicando per 24 la capacità media oraria, è il valore assunto come asintoto verticale K.

Il tasso di incremento della motorizzazione r è stato stimato partendo dalle previsioni di traffico riportate in tabella 2, calcolando l'incremento percentuale tra il traffico leggero e pesante di un determinato anno rispetto a quello dell'anno precedente (vedi tabella 5).

anno	leggeri [%]	pesanti [%]
2014	0.50	0.49
2015	0.50	0.60
2016	1.19	2.19
2017	0.88	0.19
2018	1.07	0.67
2019	0.77	1.35
2020	1.05	1.52
2021	1.89	2.13
2022	1.85	1.47
2023	1.18	1.96
2024	1.97	2.05
2025	2.03	2.84
2026	1.90	2.36
2027	2.71	0.41
2028	1.48	5.09
Media	1.40	1.69

Tabella 5: incrementi annui della circolazione

Per ricavare un unico valore rappresentativo del tasso di incremento r , è stata fatta una media ponderata tra il tasso di incremento dei veicoli leggeri e quello dei veicoli pesanti, usando come pesi le percentuali di veicoli pesanti e di veicoli leggeri che mediamente compongono il flusso nelle strade di interesse.

% di pesanti nel flusso			
viale Europa	via del Brennero	via Pesciatina	via Lucchese- Romana
18.35	10.82	8.80	10.22
medie			
<i>leggeri</i>	88%	<i>pesanti</i>	12%
r medio leggeri		1.40%	
r medio pesanti		1.69%	
media pesata		1.43%	

Tabella 6: composizione percentuale del flusso medio sulle strade di interesse

Il valore ottenuto di 1.43% viene assunto come tasso r di incremento medio della motorizzazione.

La conferma dell'attendibilità del valore ricavato deriva da un'analisi dei dati di traffico proveniente dal Conto Nazionale delle Infrastrutture e dei Trasporti 2015/2016. La tabella V.1.2.3 del CNIT, riportata in figura 4, riporta in percentuale l'entità del traffico di un determinato anno rispetto all'anno precedente.

Tab. V.1.2.3 - Valori di traffico (veicoli-km) relativi alle Autostrade concesse - Anni 1990, 1995, 2000, 2005, 2010-2016

a) Numeri indice a base mobile

Veicoli	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Leggeri	102,8	102,4	102,8	100,2	99,9	98,6	92,9	98,5	101,1	103,7	103,2
Pesanti	109,4	104,4	105,0	100,6	102,2	99,9	92,5	97,7	100,8	103,6	103,7
Totale	104,3	102,8	103,3	100,3	100,4	98,9	92,8	98,3	101,0	103,7	103,3

Figura 4: tassi di incremento e decremento della motorizzazione secondo il CNIT 2015/2016

Considerando i valori a partire dall'anno di riferimento, il 2013, e facendone la media si ottiene come risultato $r = 1.57\%$. Anche se tale valore è riferito al traffico autostradale, si discosta molto poco dal valore determinato in precedenza, a riprova di una ripresa lenta ma uniforme della motorizzazione sia in campo stradale che autostradale.

Disponendo dei parametri necessari, si può stimare il valore del traffico giornaliero medio sulle strade di interesse secondo la curva logistica (fig.5). Come precisato in precedenza, il punto iniziale della curva è il 2017, e non il 2013 in quanto nel lasso di tempo tra i due anni il traffico è diminuito. La curva logistica avrebbe quindi prodotto per il 2017 una stima del traffico maggiore di quello effettivamente riscontrato.

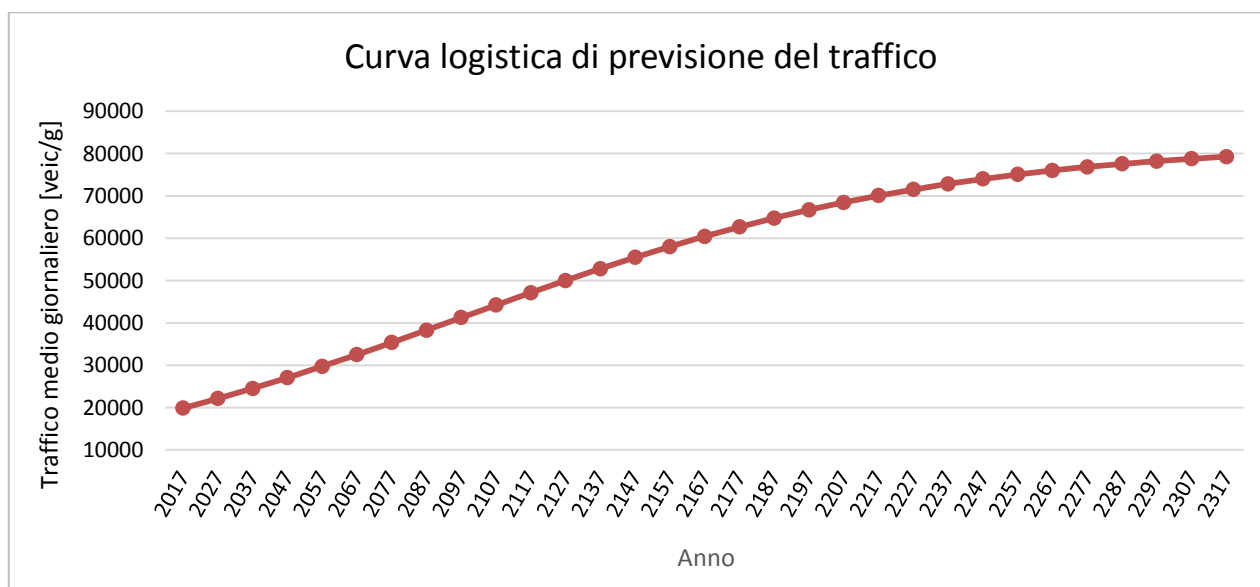


Figura 5: curva logistica di previsione del traffico

La tabella 7 riporta i valori del traffico secondo la curva logistica dal 2017 fino al 2317, anno in cui si è prossimi a raggiungere l'asintoto orizzontale di 82680 veic/g.

Parametri della curva Logistica			
K [veic/g]	P ₀ [veic/g]	q	R [%]
82680	19886	3.158	1.43

Anno	TGM [veic/g]	Anno	TGM [veic/g]	Anno	TGM [veic/g]
2017	19886	2057	29733	2197	66688
2018	20103	2067	32511	2207	68455
2019	20321	2077	35375	2217	70063
2020	20542	2087	38299	2227	71520
2021	20763	2097	41254	2237	72831
2022	20987	2107	44209	2247	74008
2023	21212	2117	47136	2257	75058
2024	21439	2127	50004	2267	75993
2025	21667	2137	52788	2277	76822
2026	21897	2147	55463	2287	77555
2027	22128	2157	58011	2297	78202
2028	22361	2167	60417	2307	78771
2037	24524	2177	62668	2317	79271
2047	27065	2187	64760		

Tabella 7: valori del traffico giornaliero medio secondo la curva logistica

2.3. CONFRONTO TRA LE PREVISIONI ANAS E SECONDO LA CURVA LOGISTICA

Le previsioni dell'andamento del traffico dal 2013 al 2028 secondo lo studio ANAS e secondo il modello logistico vengono riportate nella figura 10. I valori per la curva dello studio ANAS 2014 sono riportati in tabella 2, quelli per la curva logistica sono riportati in tabella 7.

Si evince sia dalle tabelle che visivamente attraverso la figura 6, che i valori di traffico previsti dalla curva logistica siano inferiori rispetto a quelli previsti dal modello ANAS. A titolo di esempio, si noti che nel 2028 la curva logistica offre come dato un traffico giornaliero medio il valore di 22361 veic/g, a fronte di 24647 veic/g previsti dallo studio trasportistico ANAS 2014, che è il 10.22% in più.

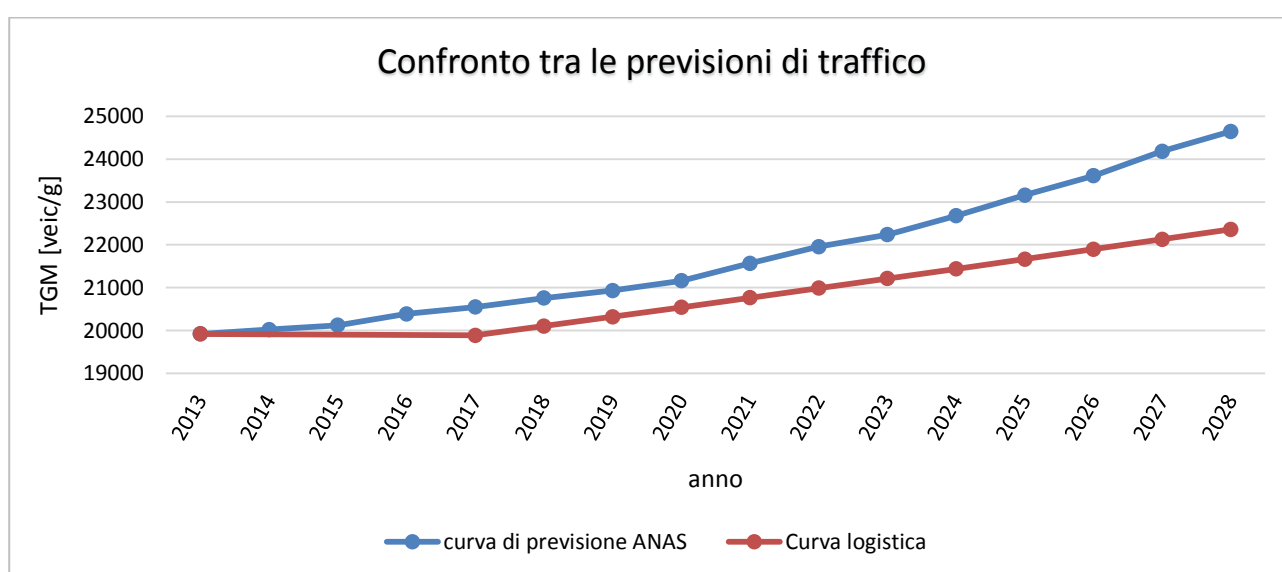


Figura 6: confronto tra le previsioni secondo lo studio ANAS e secondo il modello logistico

Alla luce dei risultati emersi dal confronto, le stime ottenute da ANAS nello studio trasportistico del 2014 possono essere ritenute pienamente valide ed utilizzabili come dato di traffico in quanto affette da una sovrastima contenuta (+ 10.22%) che porta ad un maggior margine di sicurezza.

3. VERIFICHE INTERSEZIONI OGGETTO DI STUDIO DELL'ASSE NORD-SUD

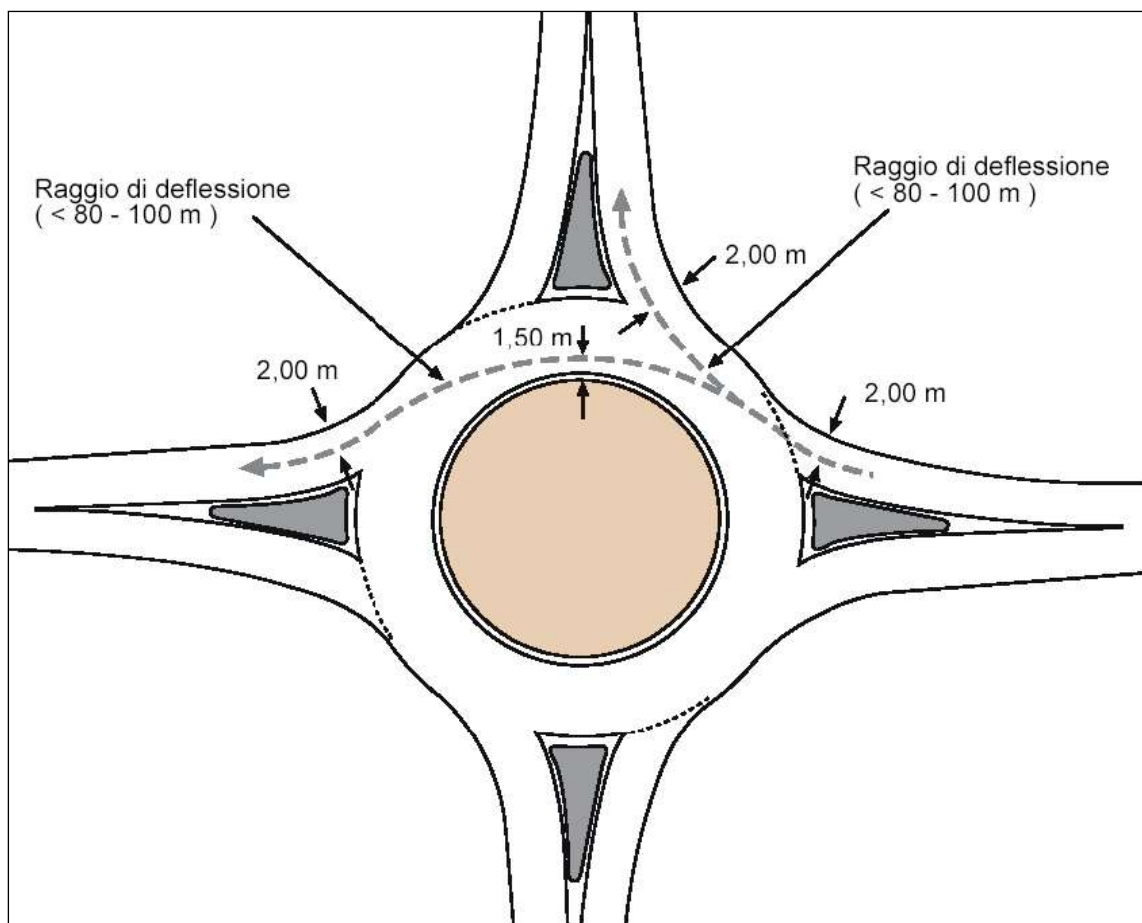
Di seguito per ogni rotatoria si riportano:

1. **Matrice origine-destinazione** calcolata in base ai dati forniti per ogni rotatoria presenti nel Documento di "Studio Trasportistico – Studio di Traffico- Sistema Tangenziale di Lucca, Elaborato:T00SG00AMBRE01";
2. **Caratteristiche geometriche** di ogni intersezione confrontate con il DM19.04.2006:

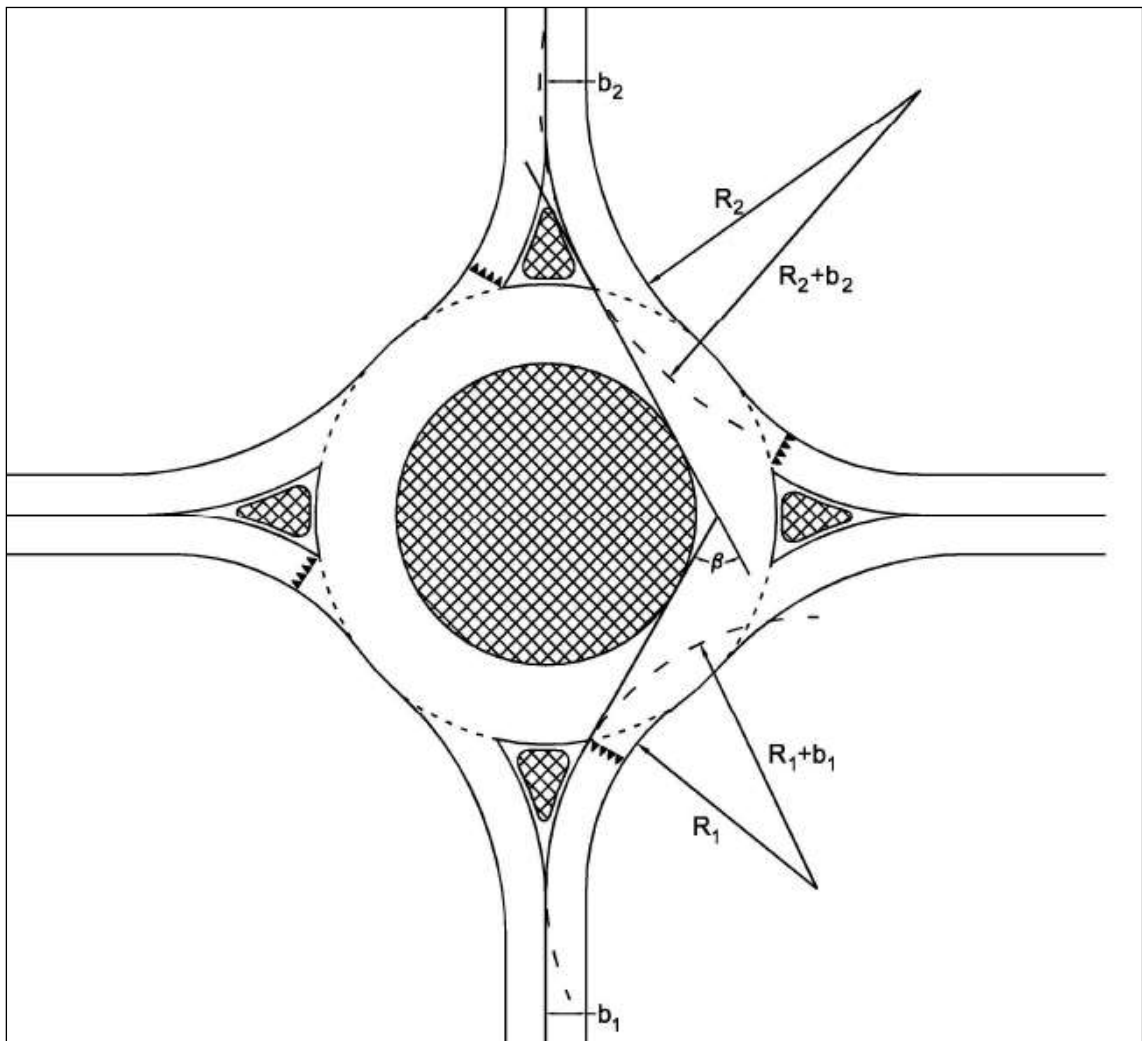
24-7-2006 GAZZETTA UFFICIALE DELLA REPUBBLICA ITALIANA Serie generale - n. 170		
Elemento modulare	Diametro esterno della rotatoria (m)	Larghezza corsie (m)
Corsie nella corona rotatoria (*), per ingressi ad una corsia	≥ 40	6,00
	Compreso tra 25 e 40	7,00
	Compreso tra 14 e 25	7,00 - 8,00
Corsie nella 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.

3. **Verifica del raggio di deflessione:**



4. Verifica dell'angolo di deflessione:



5. Verifica della distanza di visibilità per l'arresto nel ramo di ingresso in rotatoria:
in questa verifica è stata considerata una Lunghezza di 50 m vista la V_{max} tenuta in questo asse.

6. Verifica della visibilità dell'intersezione:

sono stati presi in considerazioni due casi particolare:

- se la rotatoria è composta da tre rami, la visibilità è pari ad $1/3$ dell'area della rotatoria stessa;
- se la rotatoria è composta da quattro rami, la visibilità è pari ad $1/4$ dell'area della rotatoria stessa.
- il veicolo viene considerato distante 20 m dall'inizio dell'anello esterno e distante 1,5 m dalla bordatura dell'isola.

7. Verifica di visibilità nella circolazione lungo l'anello

$$Da = 0.78 * V - 0.0028 * V^2 + \frac{V^2}{254(fe \pm i)}$$

con

V [km/h] ;

fe=coeff.di aderenza equivalente tabellato=0.46;

i= media delle livellette.

8. Verifica della capacità delle intersezioni a rotatoria e del livello di servizio, con l'utilizzo

Programma **HCS** e in riferimento al documento relativo ai parametri usati:

tf(s) (Follow up headway);

tc(s)(Critical Headway).

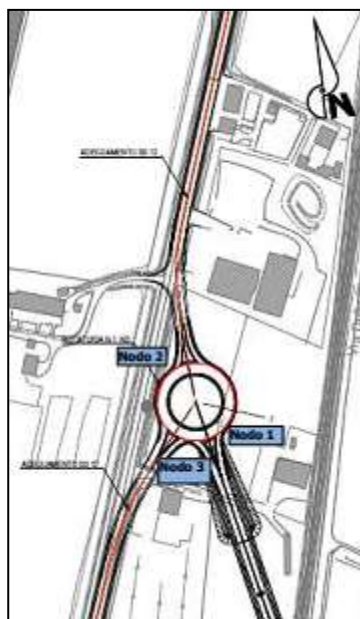
Da HCM : Estimation of Gap Acceptance Parameters for HCM 2010 Roundabout Capacity Model Applications dal sito di seguito riportato:

https://uknowledge.uky.edu/cgi/viewcontent.cgi?referer=https://www.google.it/&httpsredir=1&article=1002&context=ce_facpub).

Table 10: HCM 2010 capacity model.

<i>HCM 2010 capacity model</i>					
	<i>t_f (s)</i>	<i>t_c (s)</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C_e (pc/h)</i>
<i>Single lane roundabout</i>					
HCM 2010	3.19	5.19	1130	0.001	1130*exp((-1*10 ⁻³)*V _c)
NCHRP 572	3.20	5.10	1125	0.000972	1125*exp((-0.972*10 ⁻³)*V _c)
California	2.50	4.90	1440	0.00101	1440*exp((-1.01*10 ⁻³)*V _c)
North Tuscany	2.64	3.83	1364	0.00070	1364*exp((-0.70*10 ⁻³)*V _c)
<i>Left lane roundabout</i>					
HCM 2010	3.19	4.29	1130	0.00075	1130*exp((-0.75*10 ⁻³)*V _c)
NCHRP 572	3.40	4.50	1059	0.000778	1059*exp((-0.778*10 ⁻³)*V _c)
California	2.30	4.80	1565	0.001014	1565*exp((-1.014*10 ⁻³)*V _c)
North Tuscany	2.59	3.85	1390	0.000710	1390*exp((-0.70*10 ⁻³)*V _c)
<i>Right lane roundabout</i>					
HCM 2010	3.19	4.11	1130	0.0007	1130*exp((-0.7*10 ⁻³)*V _c)
NCHRP 572	3.10	4.20	1161	0.000736	1161*exp((-0.736*10 ⁻³)*V _c)
California	2.20	4.40	1636	0.000917	1636*exp((-0.917*10 ⁻³)*V _c)
North Tuscany	2.63	3.64	1369	0.000646	1369*exp((-0.646*10 ⁻³)*V _c)

3.1. ASSE NORD-SUD. ROTATORIA DI INNESTO CON LA SS12



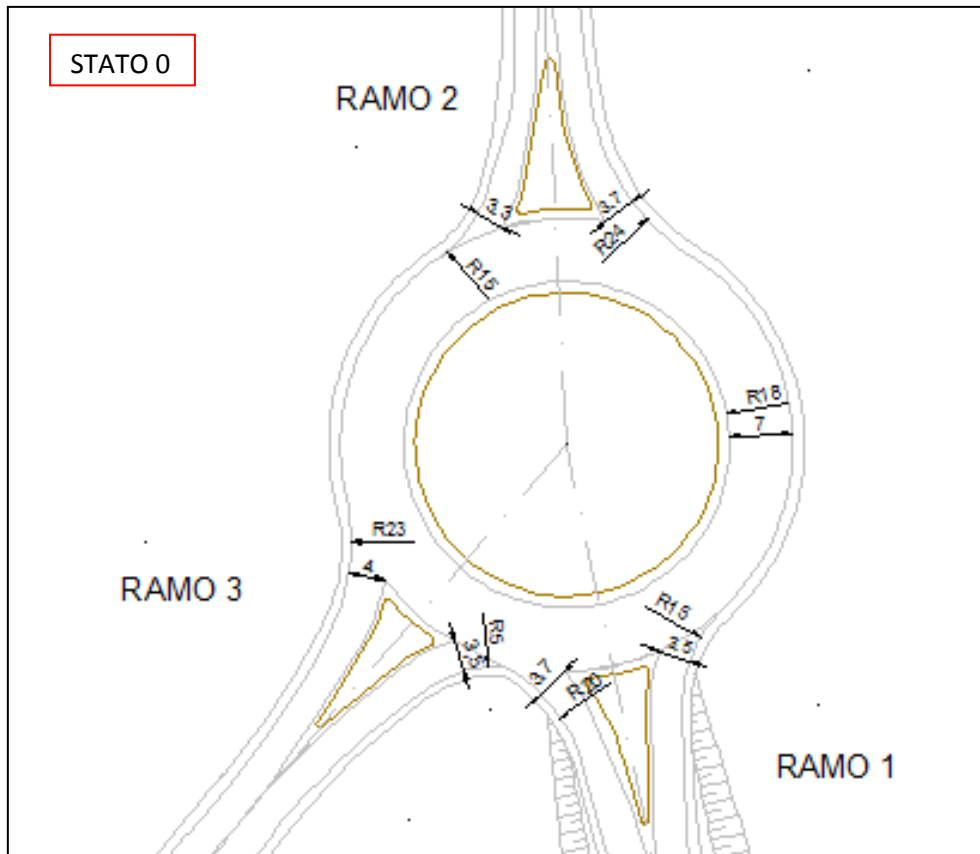
1. Matrice origine/destinazione:

M O/D	1	2	3
1	0	295	172
2	209	0	815
3	111	749	0

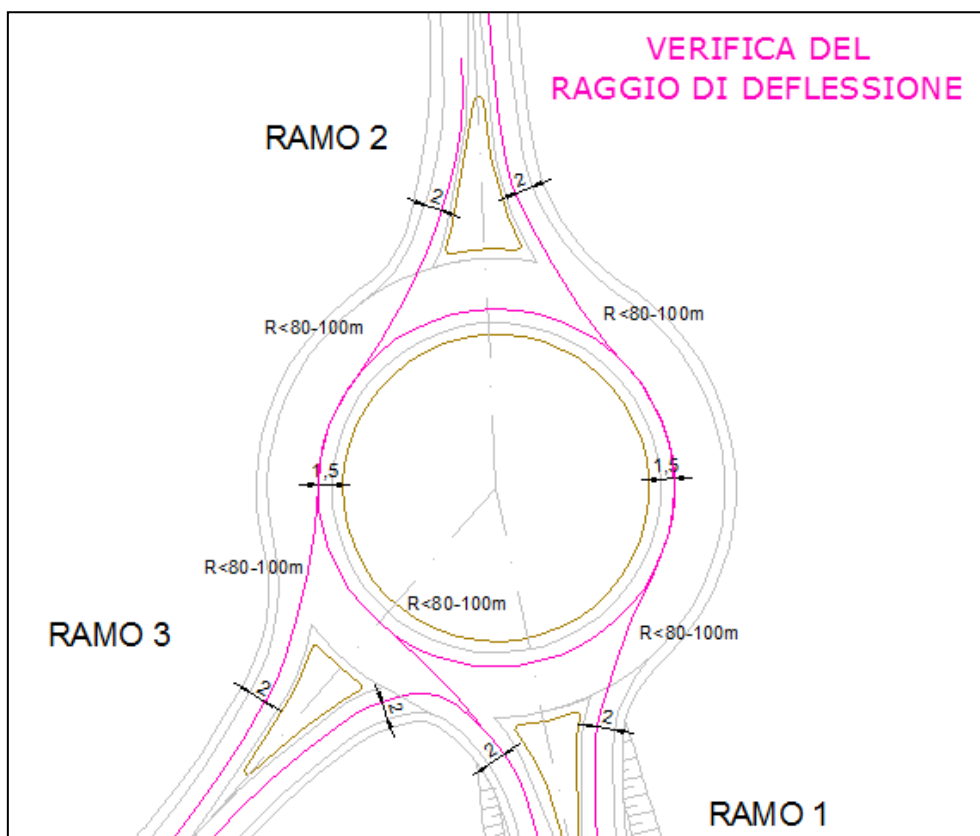
2. Caratteristiche Geometriche:

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE	DATI NUMERICI [m]	VALORI DM 19.04.2006 [m]
Larghezza corsia entrata ramo 1	3.5	3.5
Larghezza corsia uscita ramo 1	3.7	4.5
Larghezza corsia entrata ramo 2	3.3	3.5
Larghezza corsia uscita ramo 2	3.7	4.5
Larghezza corsia entrata ramo 3	3.5	3.5
Larghezza corsia uscita ramo 3	4	4.5
Larghezza anello	7	6
Raggio interno	18	R.esterno-L.anello
Raggio esterno Diametro esterno	25 50	Rotatoria Convenzionale: 40-50m
Raggio d'entrata	15	R.entrata<R.esterno; Minimo 10m
Raggio d'uscita	20-24	R.uscita>R.interno; Minimo 15m

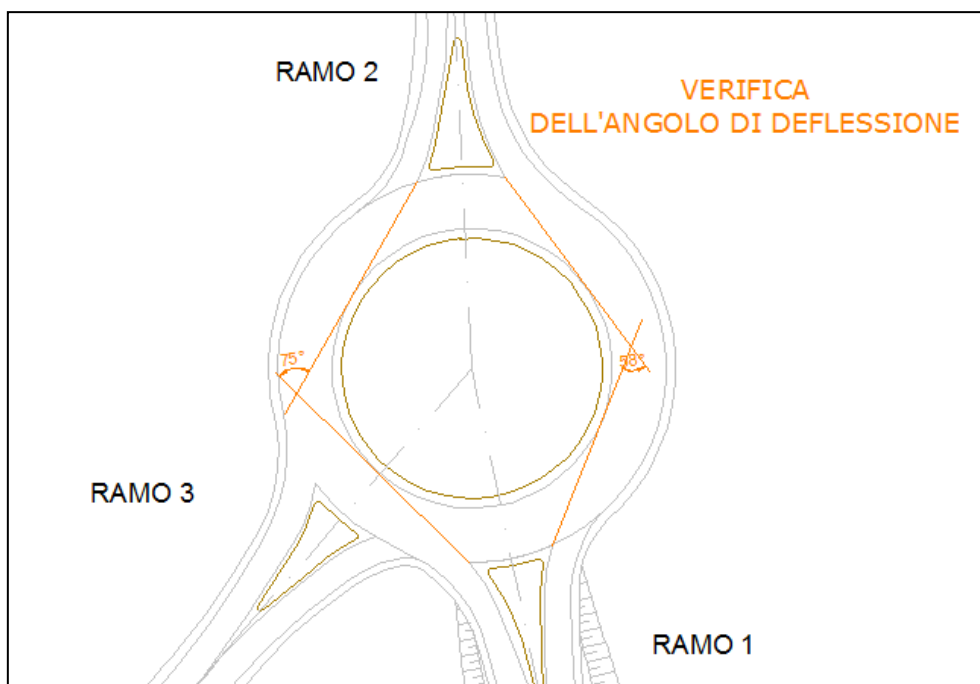
In dettaglio vengono riportate le dimensioni geometriche della rotatoria:



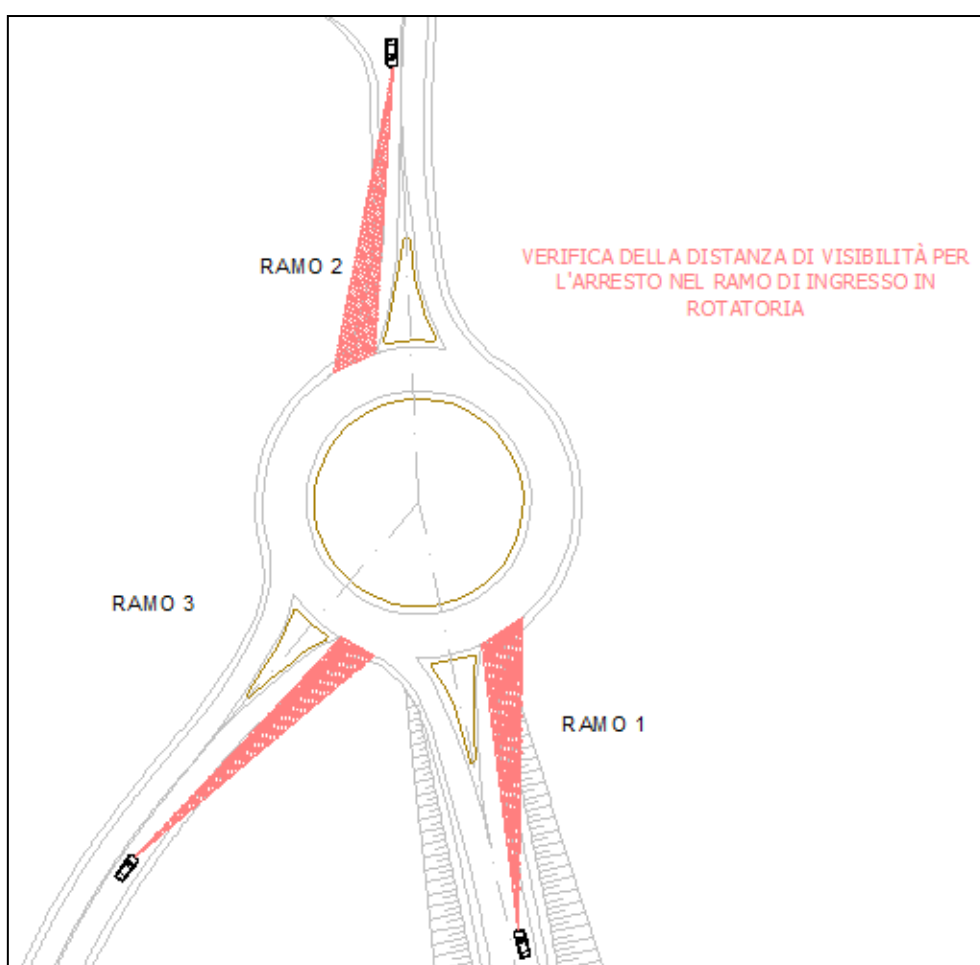
3. Verifica del raggio di deflessione:



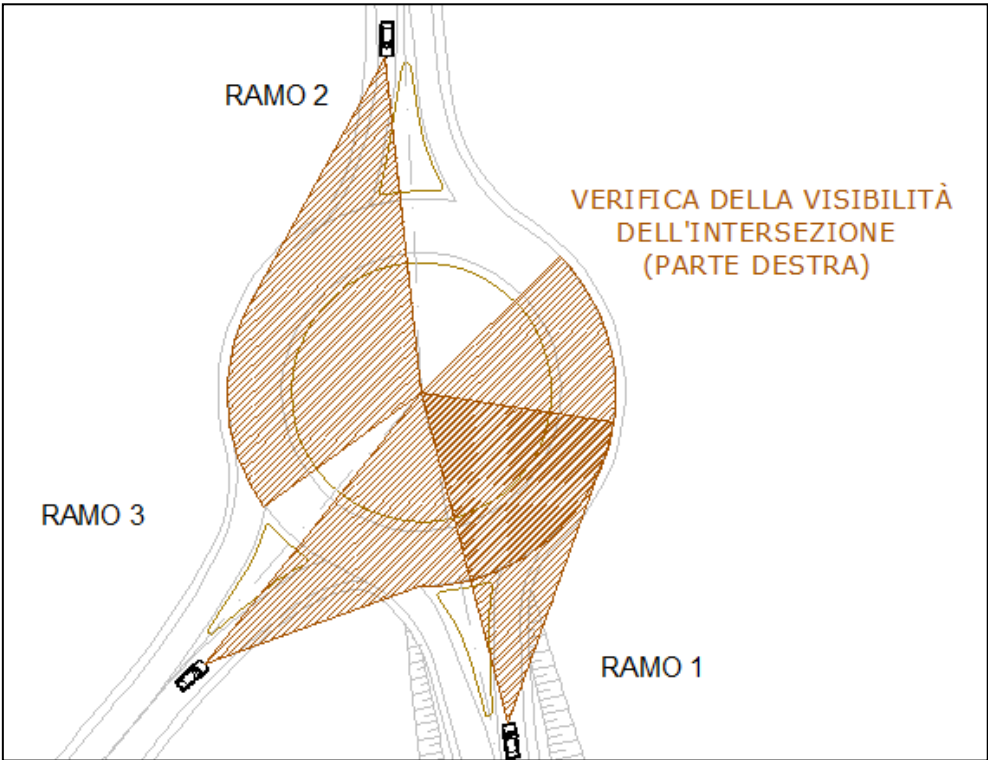
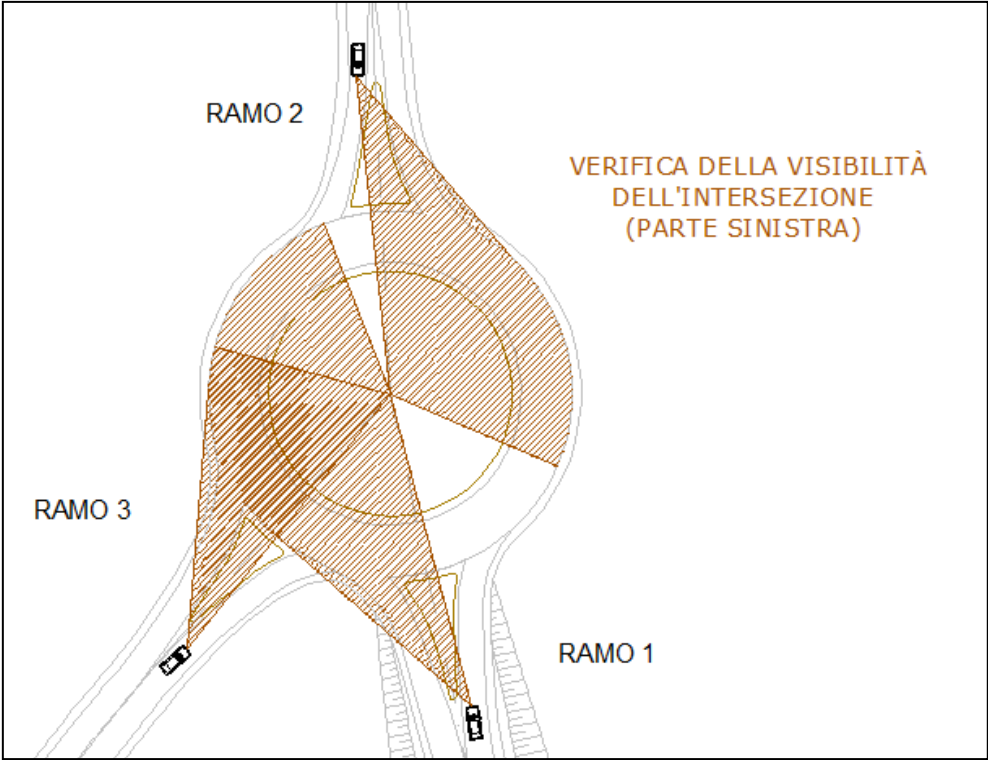
4. Verifica dell'angolo di deflessione:



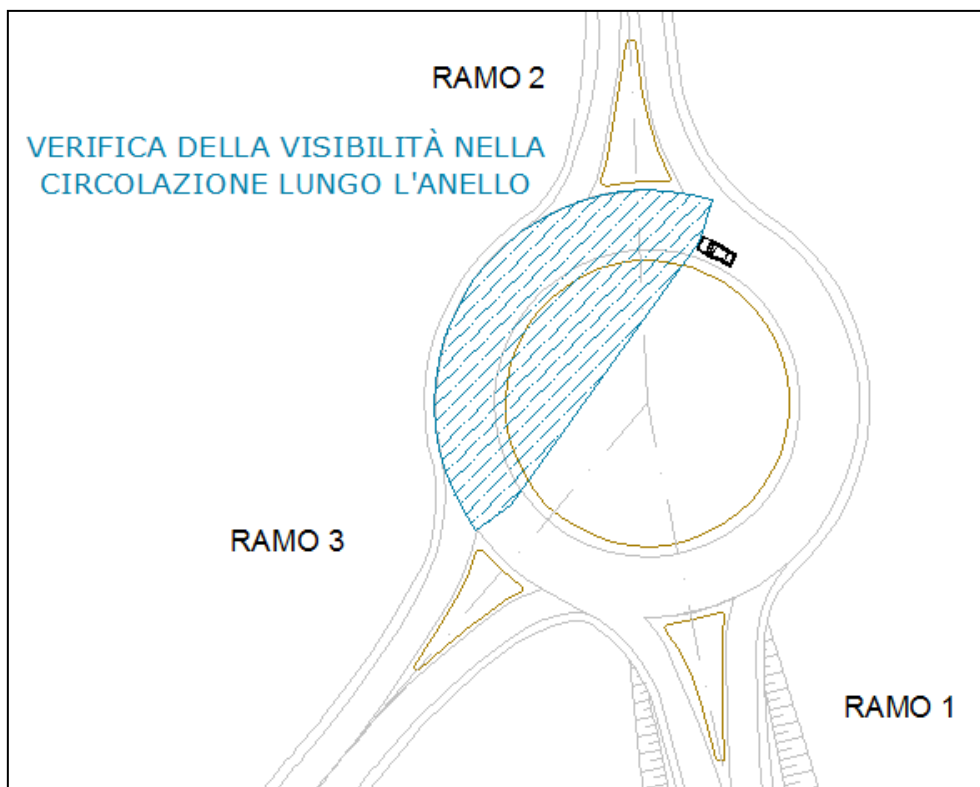
5. Verifica della distanza di visibilità per l'arresto nel ramo di ingresso in rotatoria:



6. Verifica della visibilità dell'intersezione:



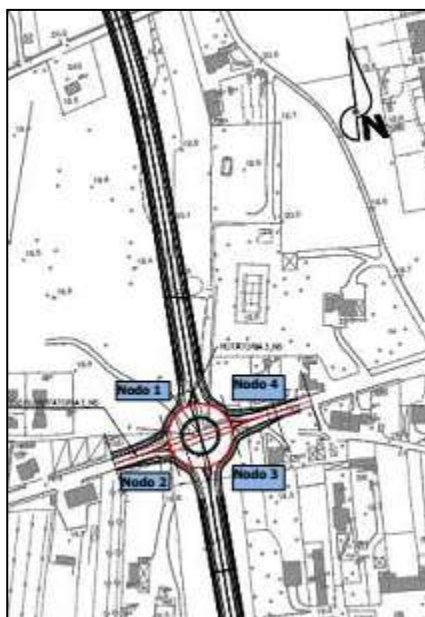
7. Verifica di visibilità nella circolazione lungo l'anello:



8. Verifica della capacità delle intersezioni a rotatoria e del livello di servizio:

Intersezione	Data analisi				Fascia oraria di analisi				Periodo di analisi							
N.1- Rotatoria di innesto con la SS12	10/01/2018				Ora di punta mattutina- giorno feriale				15 min.							
Caratteristiche dell'intersezione																
Ramo in entrata	Ovest				Est				Sud				Nord			
Numero corsie	1				/				1				1			
Manovre	U	Sx	Att.	Dx	U	Sx	Att.	Dx	U	Sx	Att.	Dx	U	Sx	Att.	Dx
Portata [pc/h]	0	749	0	111	/	/	/	/	0	172	295	0	0	0	209	815
% Veicoli pesanti	0	0	0	0	/	/	/	/	0	0	0	0	0	0	0	0
By-pass per svolta a destra	No				/				No				No			
Corsie in conflitto	1				/				1				1			
Pedoni in attraversamento [p/s]	0				/				0				0			
Intervallo critico e follow-up headway																
Ramo in entrata	Ovest				Est				Sud				Nord			
Corsia	Sx	Dx	By-pass	Sx	Dx	By-pass	Sx	Dx	By-pass	Sx	Dx	By-pass	Sx	Dx	By-pass	
Intervallo critico [s]		3.83			/			3.83			3.83			3.83		
Follow-up headway [s]		2.64			/			2.64			2.64			2.64		
Stima dei flussi, della capacità e dell'indice di saturazione																
Ramo in entrata	Ovest				Est				Sud				Nord			
Corsia	Sx	Dx	By-pass	Sx	Dx	By-pass	Sx	Dx	By-pass	Sx	Dx	By-pass	Sx	Dx	By-pass	
Portata [pc/h]	860		/	/	/	/	467		/	1024		/			/	
Flusso circolante [pc/h]	209				1216				749				172			
Flusso uscente	0				987				1044				320			
Capacità [pc/h]	1179		/	/	/	/	809		/	1210		/			/	
Indice di saturazione x	0.73		/	/	/	/	0.58		/	0.85		/			/	
Tempo di attesa e livello di servizio LoS																
Ramo in entrata	Ovest				Est				Sud				Nord			
Corsia	Sx	Dx	By-pass	Sx	Dx	By-pass	Sx	Dx	By-pass	Sx	Dx	By-pass	Sx	Dx	By-pass	
Attesa in corsia [s/veic]	14.4		/	/	/	/	13.2		/	20.9		/			/	
LoS corsia	B		/	/	/	/	B		/	C		/			/	
95% coda [veic]	6.8		/	/	/	/	3.7		/	11.0		/			/	
Attesa al ramo [s/veic]	14.3				/				13.2				20.6			
LoS ramo	B				/				B				C			
Attesa nell'intersezione [s/veic]/LoS	17.0								C							

3.2. ASSE NORD-SUD. ROTATORIA DI INNESTO CON LA SR 435



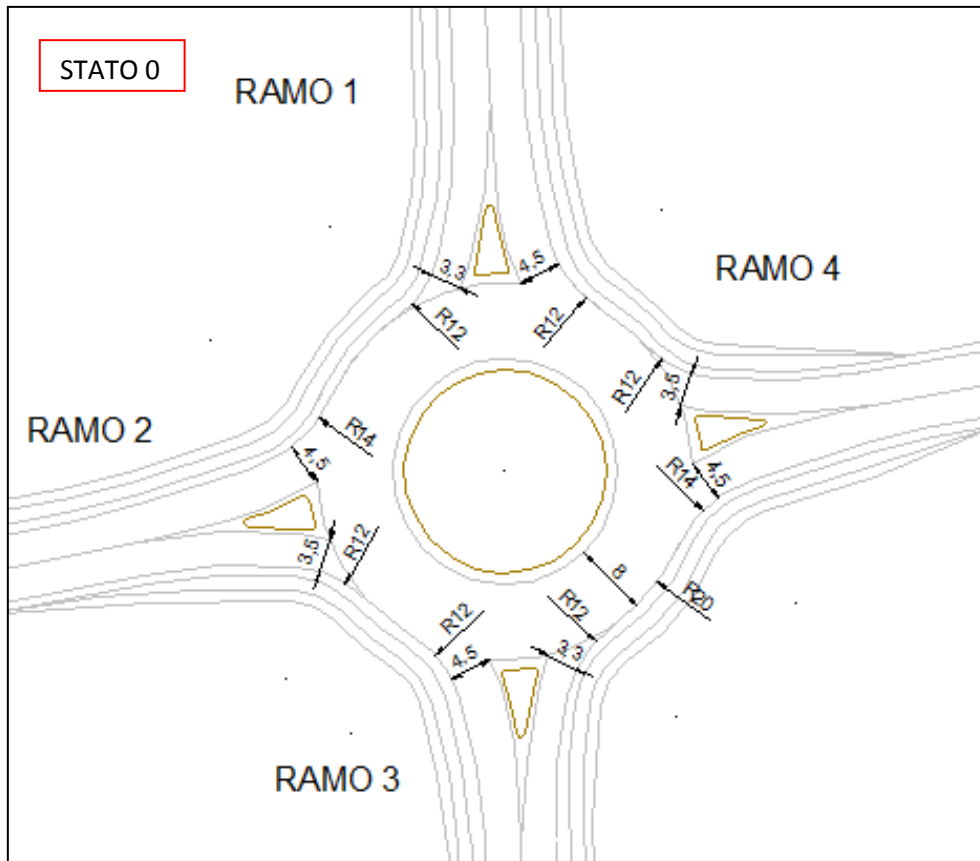
1. Matrice origine/destinazione:

M O/D	1	2	3	4
1	0	366	115	229
2	176	0	123	245
3	124	275	0	172
4	186	414	130	0

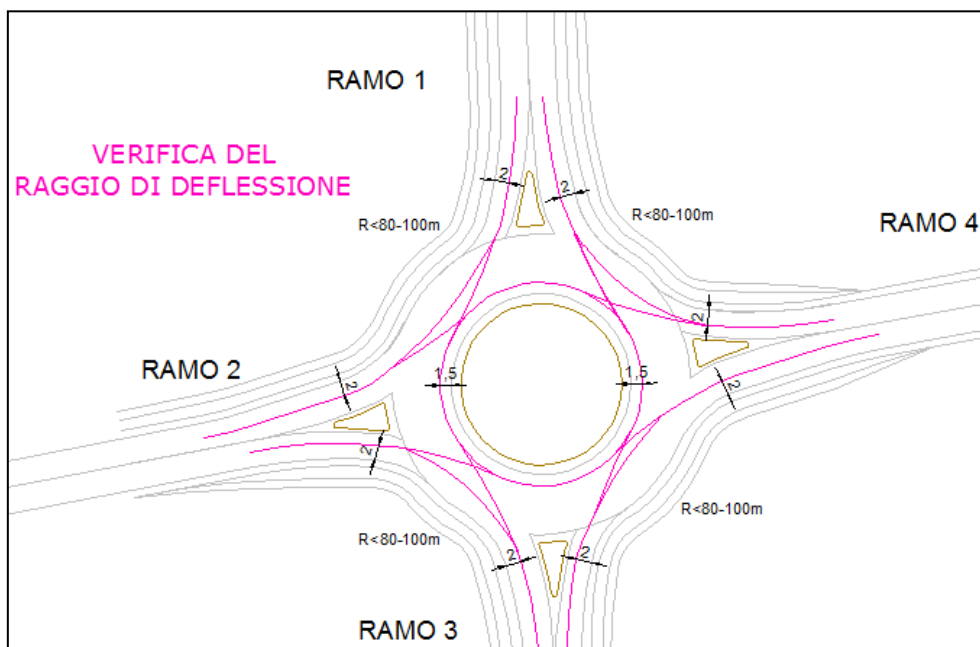
2. Caratteristiche Geometriche:

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE	DATI NUMERICI [m]	VALORI DM 19.04.2006 [m]
Larghezza corsia entrata ramo 1	3.3	3.5
Larghezza corsia uscita ramo 1	4.5	4.5
Larghezza corsia entrata ramo 2	3.5	3.5
Larghezza corsia uscita ramo 2	4.5	4.5
Larghezza corsia entrata ramo 3	3.3	3.5
Larghezza corsia uscita ramo 3	4.5	4.5
Larghezza corsia entrata ramo 4	3.5	3.5
Larghezza corsia uscita ramo 4	4.5	4.5
Larghezza anello	8	6
Raggio interno	12	R.esterno-L.anello
Raggio esterno Diametro esterno	20 40	Rotatoria Convenzionale: 40-50m
Raggio d'entrata	12	R.entrata<R.esterno; Minimo 10m
Raggio d'uscita	12-14	R.uscita>R.interno; Minimo 15m

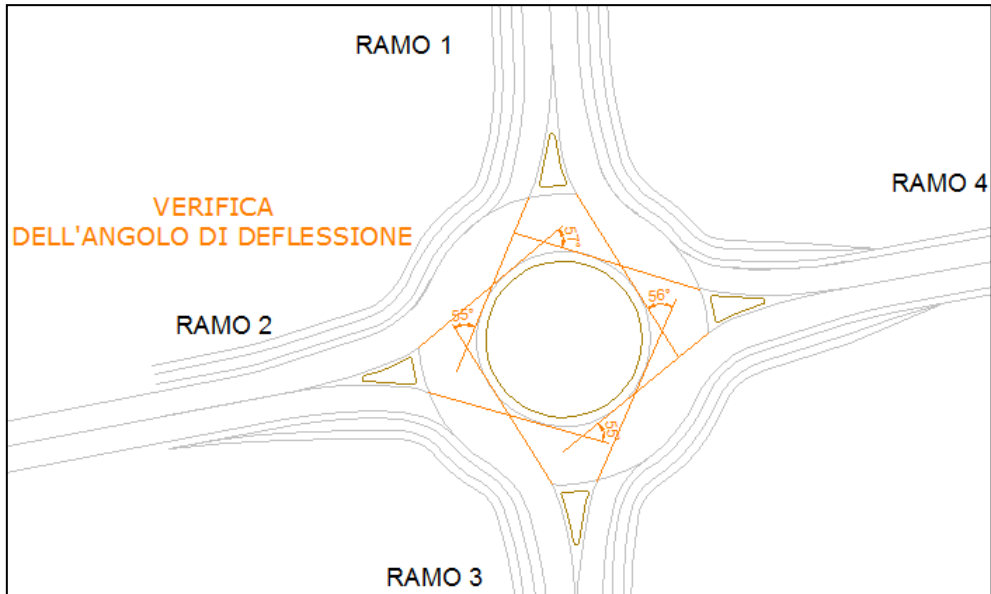
In dettaglio vengono riportate le dimensioni geometriche della rotatoria:



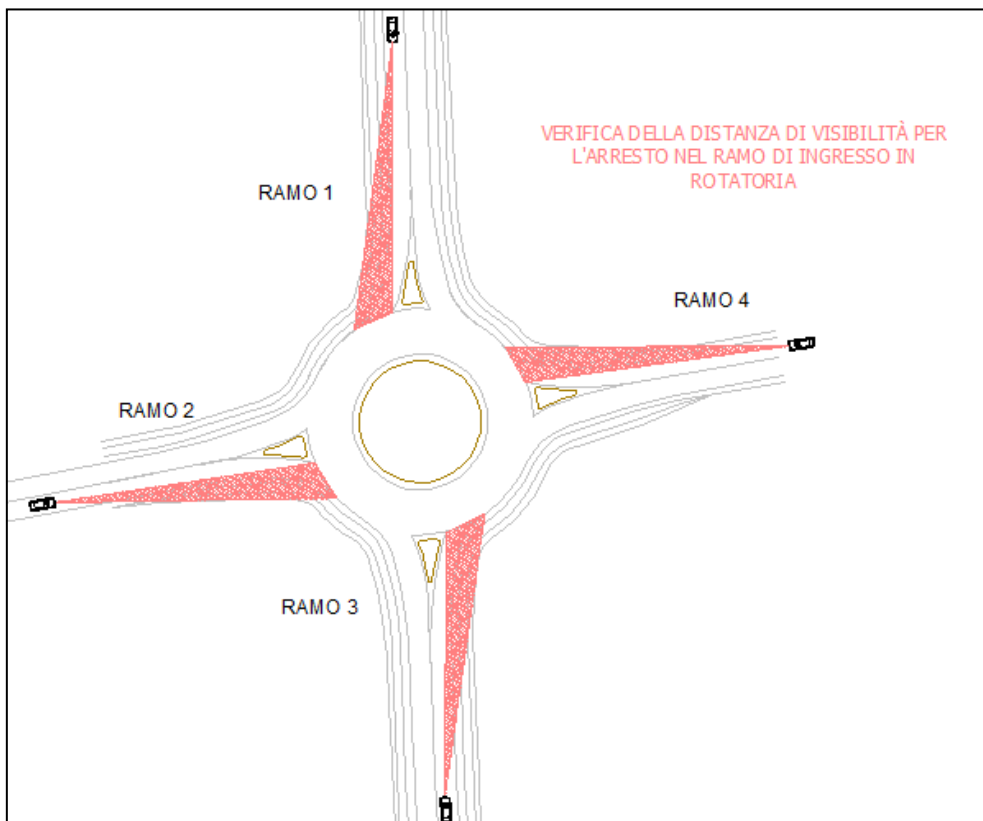
3. Verifica del raggio di deflessione:



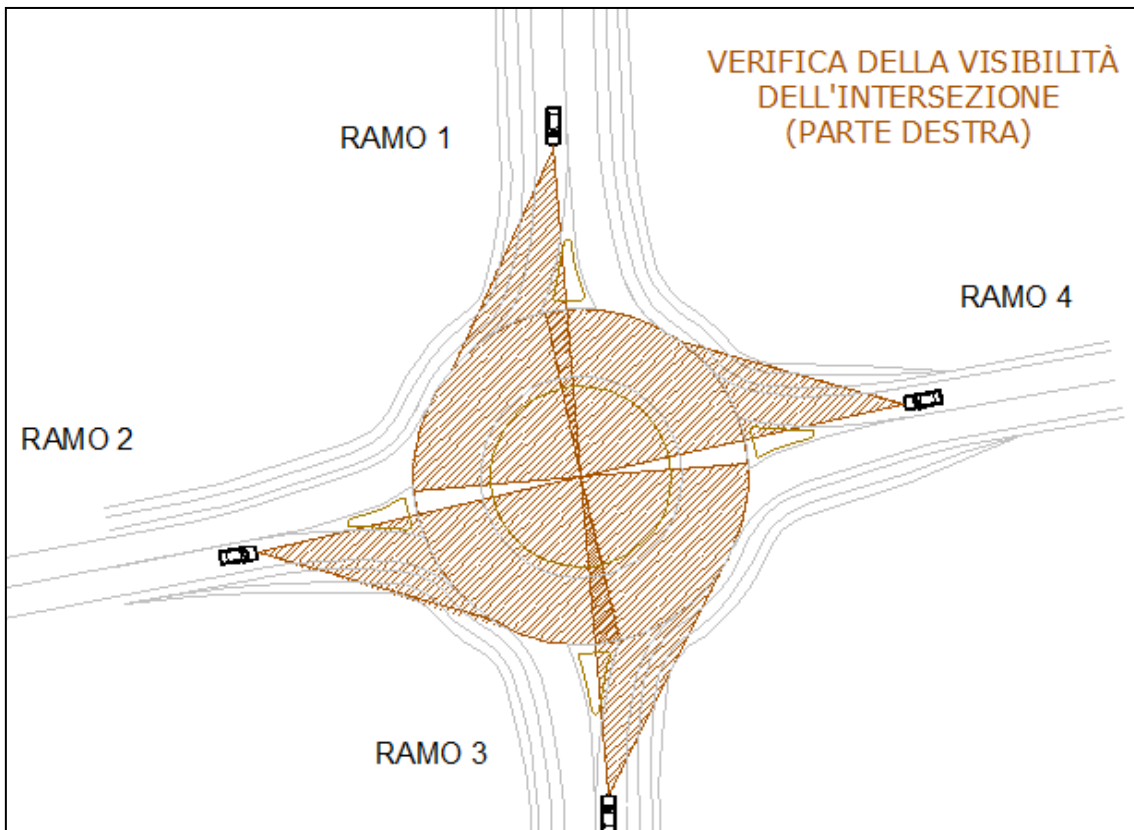
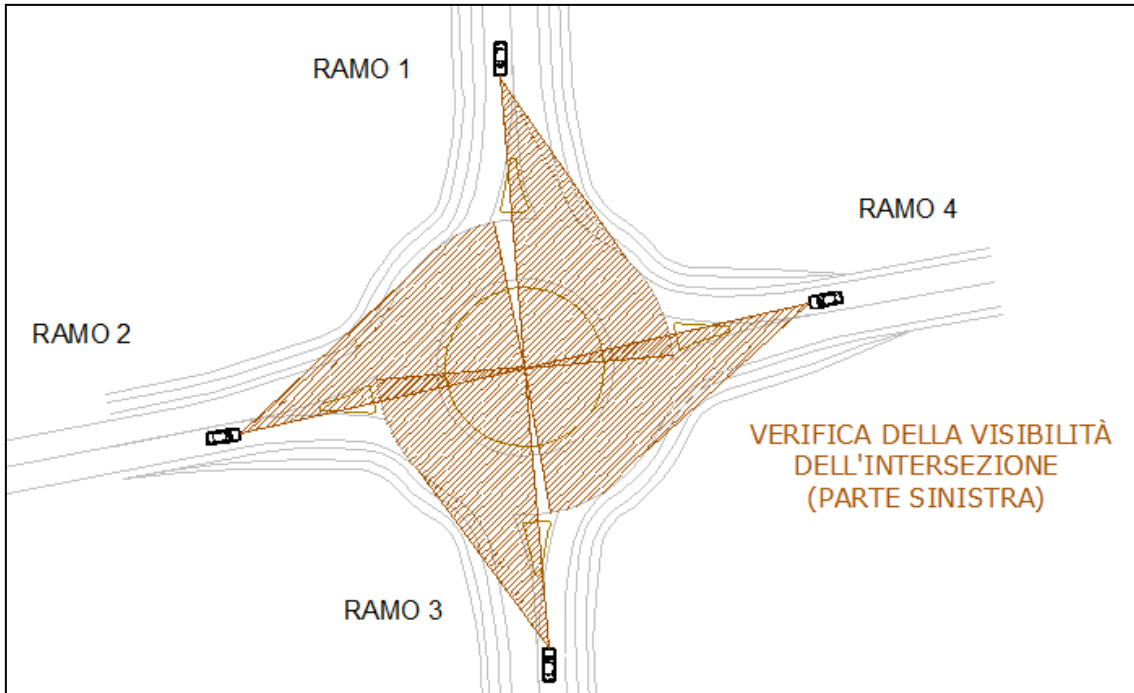
4. Verifica dell'angolo di deflessione:



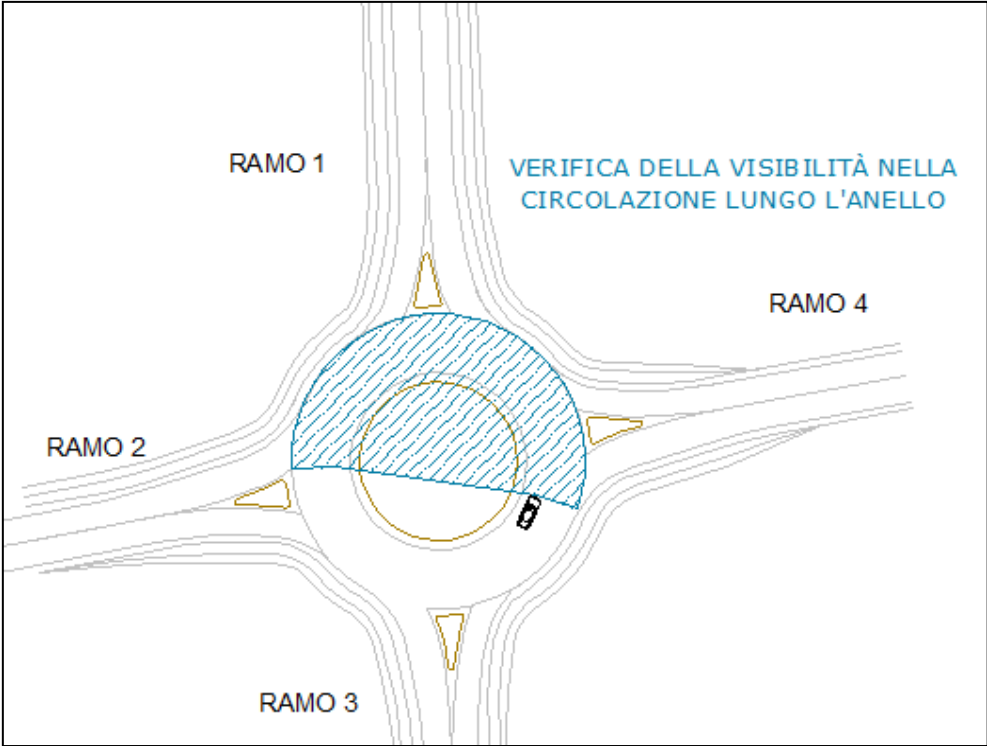
5. Verifica della distanza di visibilità per l'arresto nel ramo di ingresso in rotatoria:



6. Verifica della visibilità dell'intersezione:



7. Verifica di visibilità nella circolazione lungo l'anello:

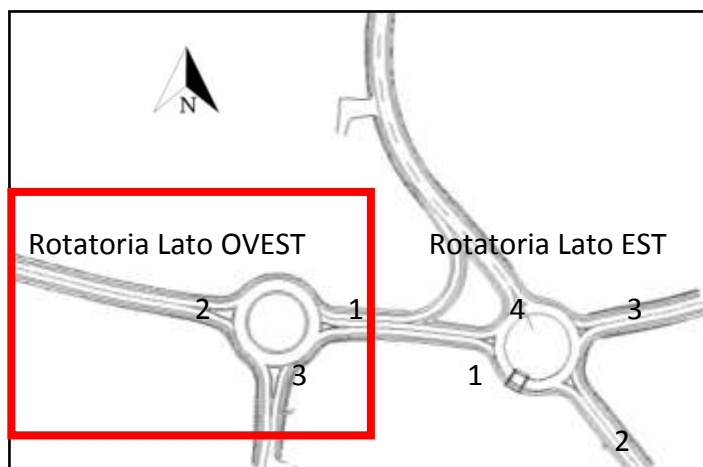


8. Verifica della capacità delle intersezioni a rotatoria e del livello di servizio:

Intersezione	Data analisi				Fascia oraria di analisi				Periodo di analisi							
N.2A- Rotatoria di innesto con la SR435	8/02/2018				Ora di punta mattutina- giorno feriale				15 min.							
Caratteristiche dell'intersezione																
Ramo in entrata	Ovest				Est				Sud				Nord			
Numero corsie	1				1				1				1			
Manovre	U	Sx	Att.	Dx	U	Sx	Att.	Dx	U	Sx	Att.	Dx	U	Sx	Att.	Dx
Portata [pc/h]	0	176	245	123	0	130	414	186	0	275	124	172	0	229	115	366
% Veicoli pesanti	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
By-pass per svolta a destra	No				No				No				No			
Corsie in conflitto	1				1				1				1			
Pedoni in attraversamento [p/s]	0				0				0				0			
Intervallo critico e follow-up headway																
Ramo in entrata	Ovest				Est				Sud				Nord			
Corsia	Sx	Dx	By-pass		Sx	Dx	By-pass		Sx	Dx	By-pass		Sx	Dx	By-pass	
Intervallo critico [s]		3.83				3.83				3.83				3.83		
Follow-up headway [s]		2.64				2.64				2.64				2.64		
Stima dei flussi, della capacità e dell'indice di saturazione																
Ramo in entrata	Ovest				Est				Sud				Nord			
Corsia	Sx	Dx	By-pass		Sx	Dx	By-pass		Sx	Dx	By-pass		Sx	Dx	By-pass	
Portata [pc/h]	544		/		730		/		571		/		710		/	
Flusso circolante [pc/h]	474				575				650				819			
Flusso uscente	646				1055				486				368			
Capacità [pc/h]	983		/		916		/		869		/		772		/	
Indice di saturazione x	0.55		/		0.80		/		0.66		/		0.92		/	
Tempo di attesa e livello di servizio LoS																
Ramo in entrata	Ovest				Est				Sud				Nord			
Corsia	Sx	Dx	By-pass		Sx	Dx	By-pass		Sx	Dx	By-pass		Sx	Dx	By-pass	
Attesa in corsia [s/veic]	10.9		/		21.4		/		15.0		/		38.6		/	
LoS corsia	B		/		C		/		B		/		E		/	
95% coda [veic]	3.5		/		8.6		/		5.1		/		12.9		/	
Attesa al ramo [s/veic]	10.9				21.4				15.0				38.6			
LoS ramo	B				C				B				E			
Attesa nell'intersezione [s/veic]/LoS	22.5								C							

3.3. ASSE NORD-SUD INTERSEZIONE DI ANTRACCOLI

3.1.1. ASSE NORD-SUD INTERSEZIONE DI ANTRACCOLI-LATO OVEST



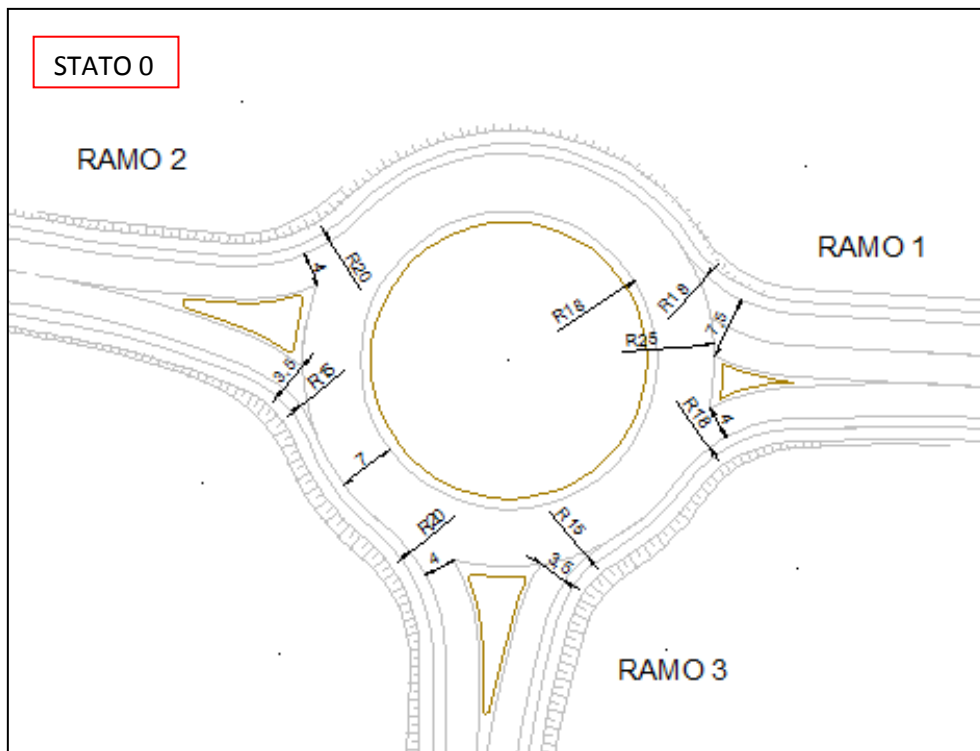
1. Matrice origine/destinazione:

M O/D	1	2	3
1-ramo est	0	223	373
2-ramo ovest	102	0	26
3-ramo sud	598	88	0

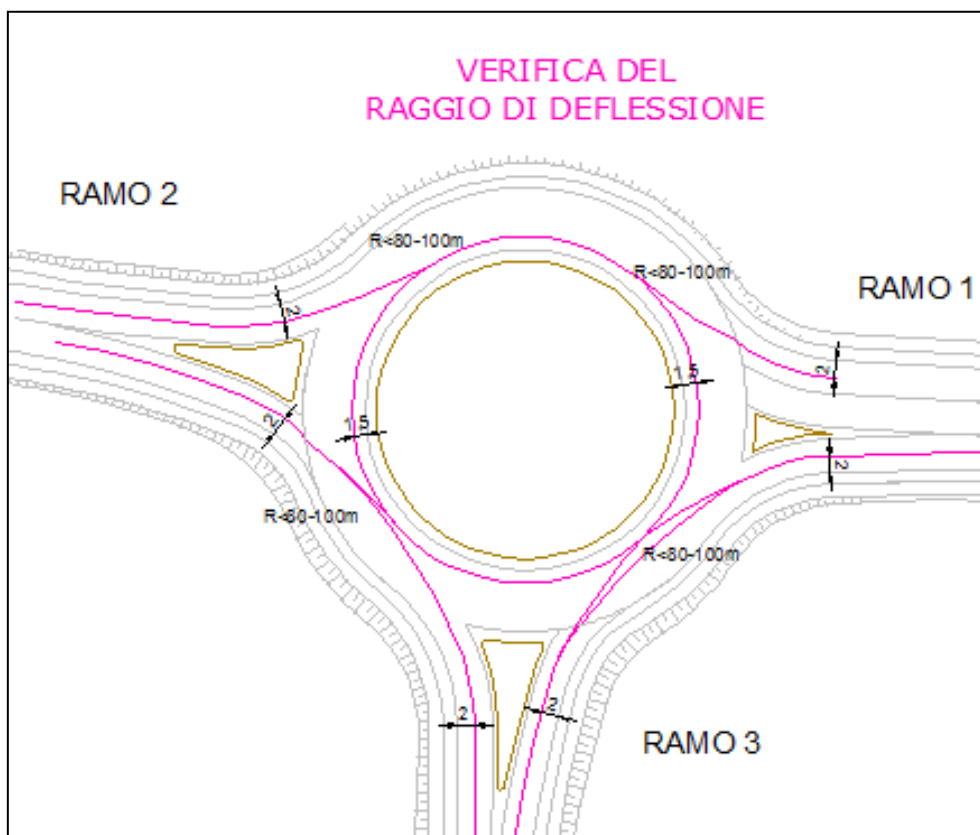
2. Caratteristiche Geometriche:

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE	DATI NUMERICI [m]	VALORI DM 19.04.2006 [m]
Larghezza corsia entrata ramo 1	7.5	6 (due corsie)
Larghezza corsia uscita ramo 1	4	4.5
Larghezza corsia entrata ramo 2	3.5	3.5
Larghezza corsia uscita ramo 2	4	4.5
Larghezza corsia entrata ramo 3	3.5	3.5
Larghezza corsia uscita ramo 3	4	4.5
Larghezza anello	7	6-9
Raggio interno	18	R.esterno-L.anello
Raggio esterno Diametro esterno	25 50	Rotatoria Convenzionale: 40-50m
Raggio d'entrata	15-18	R.entrata<R.esterno; Minimo 10m
Raggio d'uscita	18-20	R.uscita>R.interno; Minimo 15m

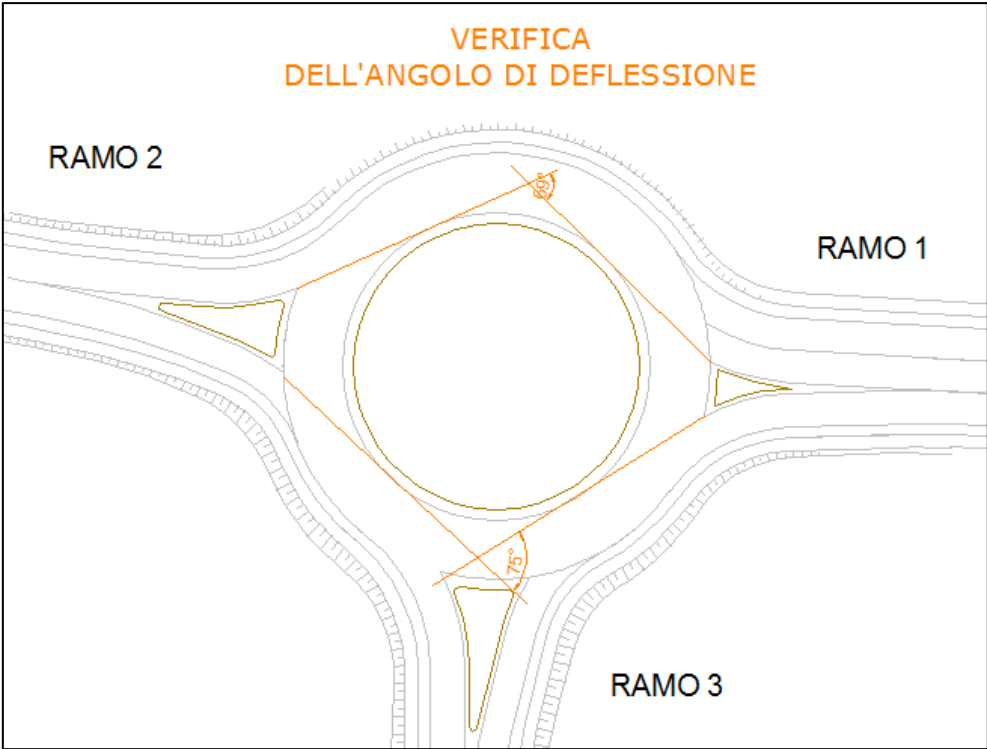
In dettaglio vengono riportate le dimensioni geometriche della rotatoria:



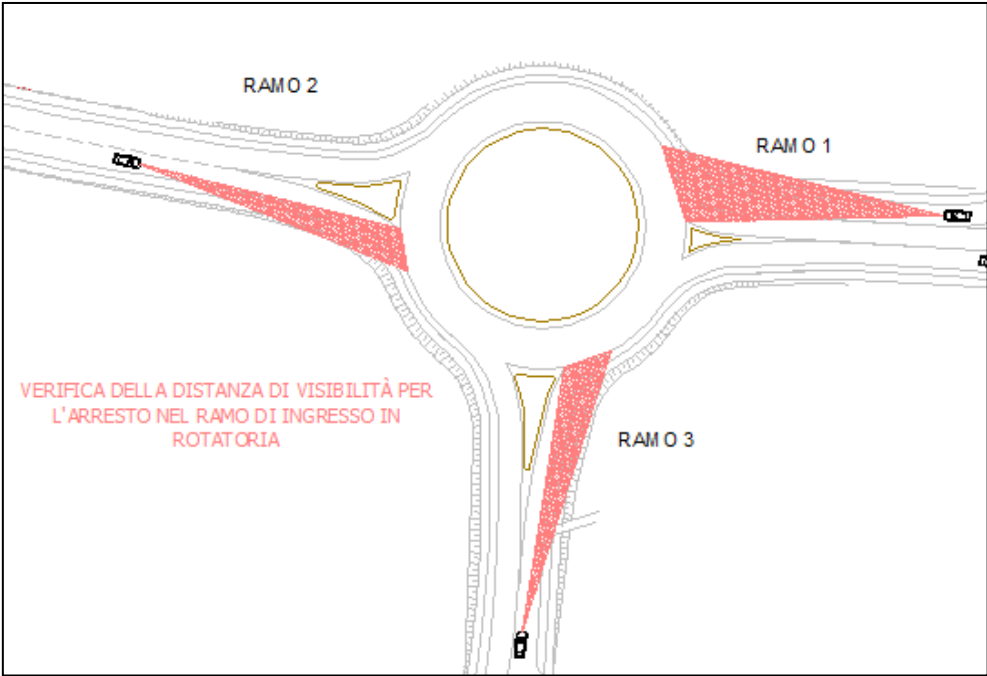
3. Verifica del raggio di deflessione:



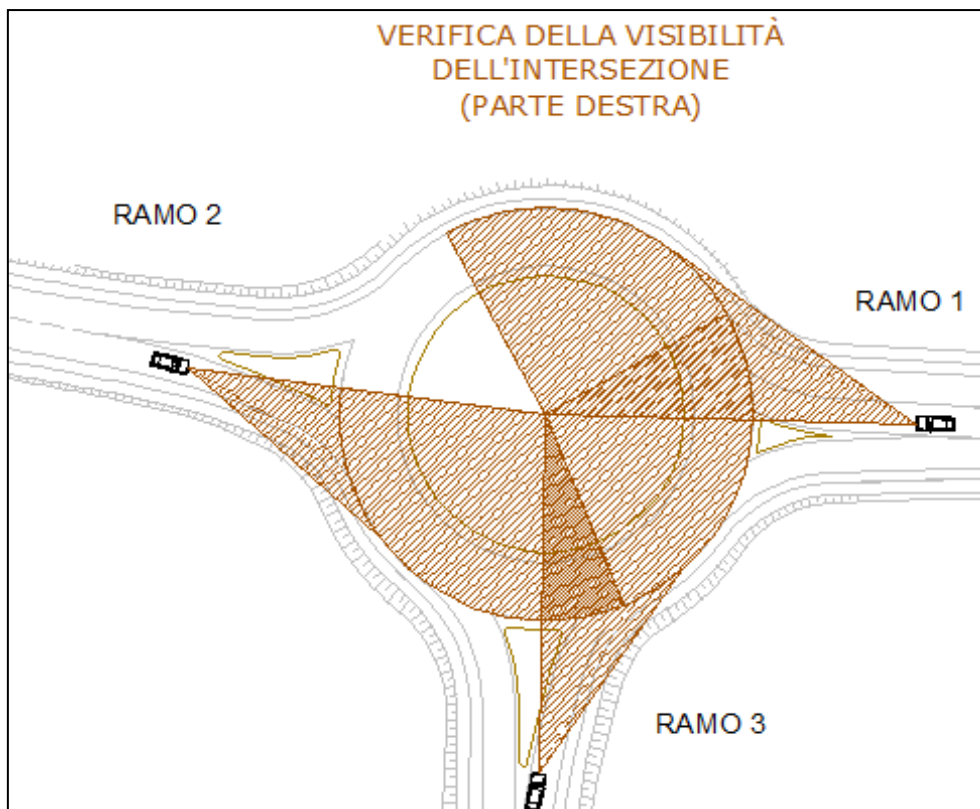
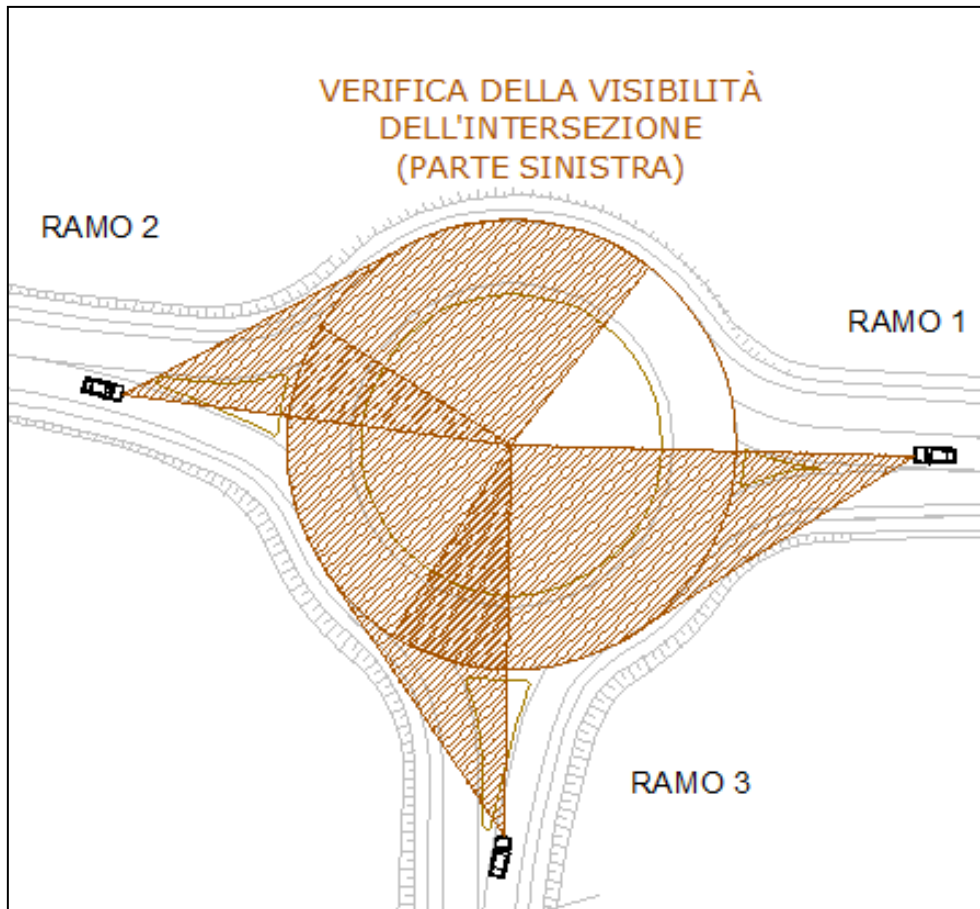
4. Verifica dell'angolo di deflessione:



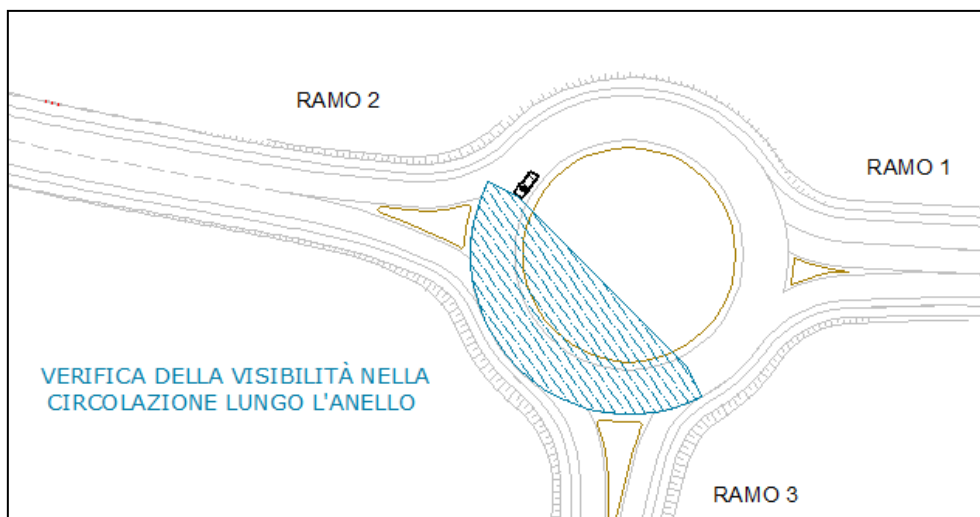
5. Verifica della distanza di visibilità per l'arresto nel ramo di ingresso in rotatoria:



6. Verifica della visibilità dell'intersezione:



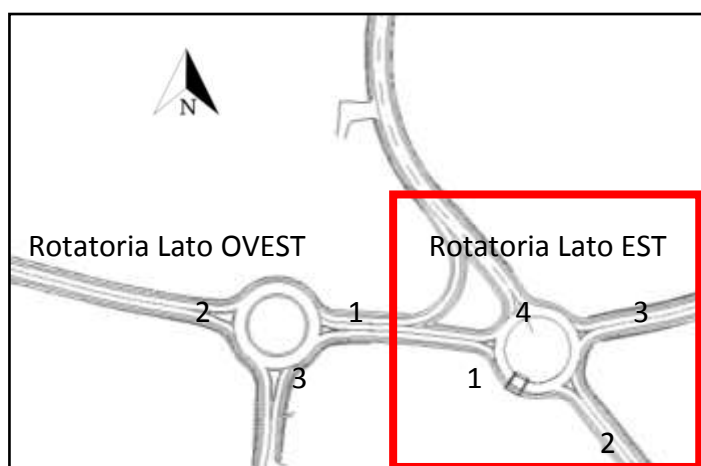
7. Verifica di visibilità nella circolazione lungo l'anello:



8. Verifica della capacità delle intersezioni a rotatoria e del livello di servizio:

Intersezione	Data analisi				Fascia oraria di analisi				Periodo di analisi							
N.3- Rotatoria di Antraccoli (Ovest)	10/02/2018				Ora di punta mattutina- giorno feriale				15 min.							
Caratteristiche dell'intersezione																
Ramo in entrata	Ovest				Est				Sud				Nord			
Numero corsie	1				2				1				/			
Manovre	U	Sx	Att.	Dx	U	Sx	Att.	Dx	U	Sx	Att.	Dx	U	Sx	Att.	Dx
Portata [pc/h]	0	0	102	26	0	373	223	0	0	88	0	598	/	/	/	/
% Veicoli pesanti	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	/	/	/	/
By-pass per svolta a destra	No				No				No				No			
Corsie in conflitto	1				1				1				/			
Pedoni in attraversamento [p/s]	0				0				0				/			
Intervallo critico e follow-up headway																
Ramo in entrata	Ovest				Est				Sud				Nord			
Corsia	Sx	Dx	By-pass		Sx	Dx	By-pass		Sx	Dx	By-pass		Sx	Dx	By-pass	
Intervallo critico [s]		3.83			3.85	3.64				3.83			/	/		
Follow-up headway [s]		2.64			2.59	2.63				2.64			/	/		
Stima dei flussi, della capacità e dell'indice di saturazione																
Ramo in entrata	Ovest				Est				Sud				Nord			
Corsia	Sx	Dx	By-pass		Sx	Dx	By-pass		Sx	Dx	By-pass		Sx	Dx	By-pass	
Portata [pc/h]	128		/		280	316	/		686		/		/	/	/	
Flusso circolante [pc/h]	373				88				102				684			
Flusso uscente	700				311				0				399			
Capacità [pc/h]	1051		/		1306	1293	/		1270		/		/	/	/	
Indice di saturazione x	0.12		/		0.21	0.24	/		0.54		/		/	/	/	
Tempo di attesa e livello di servizio LoS																
Ramo in entrata	Ovest				Est				Sud				Nord			
Corsia	Sx	Dx	By-pass		Sx	Dx	By-pass		Sx	Dx	By-pass		Sx	Dx	By-pass	
Attesa in corsia [s/veic]	4.5		/		4.6	4.9	/		8.8		/		/	/	/	
LoS corsia	A		/		A	A	/		A		/		/	/	/	
95% coda [veic]	0.4		/		0.8	1.0	/		3.4		/		/	/	/	
Attesa al ramo [s/veic]	4.5				4.8				8.8				/			
LoS ramo	A				A				A				/			
Attesa nell'intersezione [s/veic]/LoS	6.7								A							

3.1.2. ASSE NORD-SUD INTERSEZIONE DI ANTRACCOLI-LATO EST



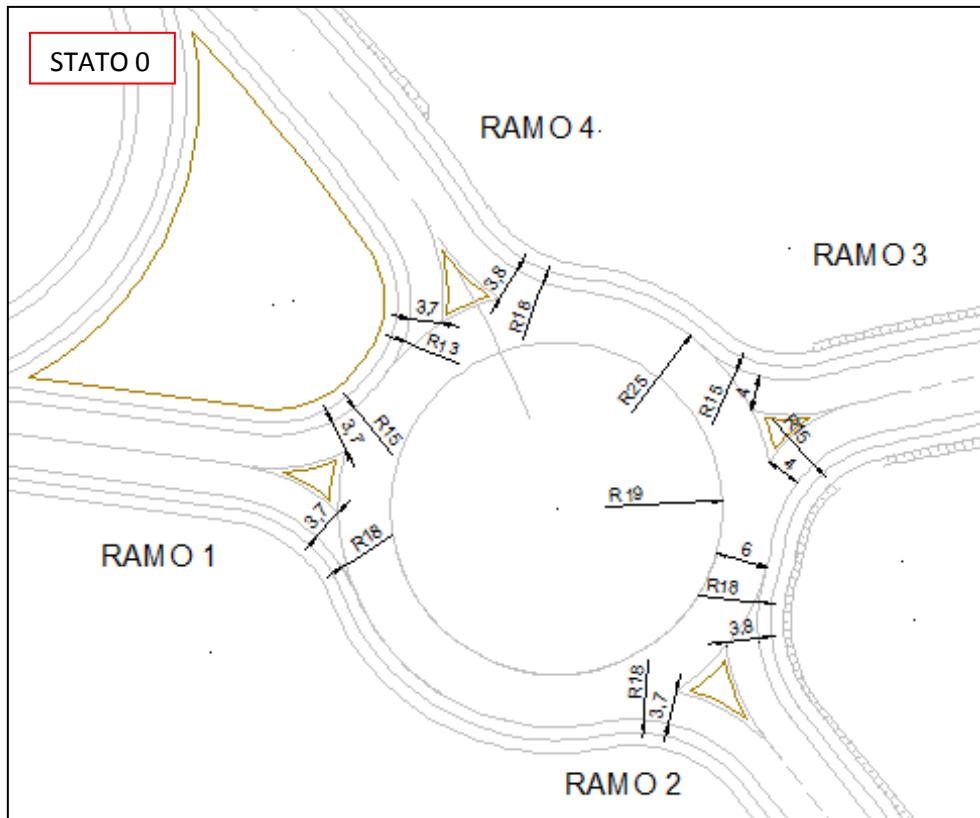
1. Matrice origine/destinazione:

M O/D	1	2	3	4
1-ramo ovest	0	380	13	307
2-ramo sud	289	0	16	394
3-ramo est	8	13	0	10
4-ramo nord	184	310	10	0

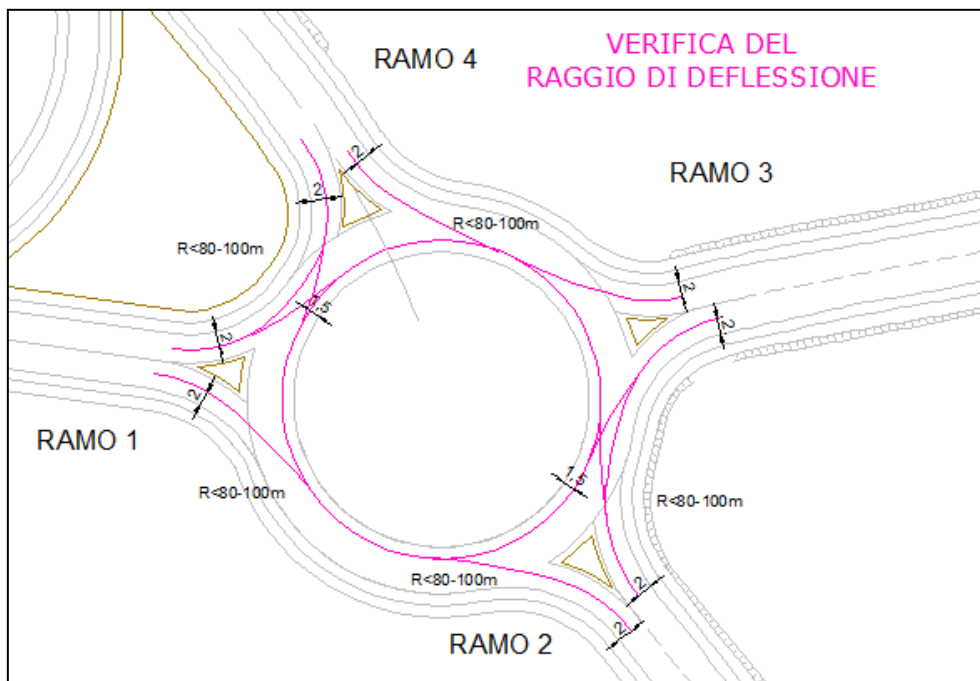
2. Caratteristiche Geometriche:

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE	DATI NUMERICI [m]	VALORI DM 19.04.2006 [m]
Larghezza corsia entrata ramo 1	3.7	3.5
Larghezza corsia uscita ramo 1	3.7	4.5
Larghezza corsia entrata ramo 2	3.8	3.5
Larghezza corsia uscita ramo 2	3.7	4.5
Larghezza corsia entrata ramo 3	4	3.5
Larghezza corsia uscita ramo 3	4	4.5
Larghezza corsia entrata ramo 4	3.68	3.5
Larghezza corsia uscita ramo 4	3.75	4.5
Larghezza anello	6	6
Raggio interno	19	R.esterno-L.anello
Raggio esterno Diametro esterno	25 50	Rotatoria Convenzionale: 40-50m
Raggio d'entrata	13-18	R.entrata<R.esterno; Minimo 10m
Raggio d'uscita	15-18	R.uscita>R.interno; Minimo 15m

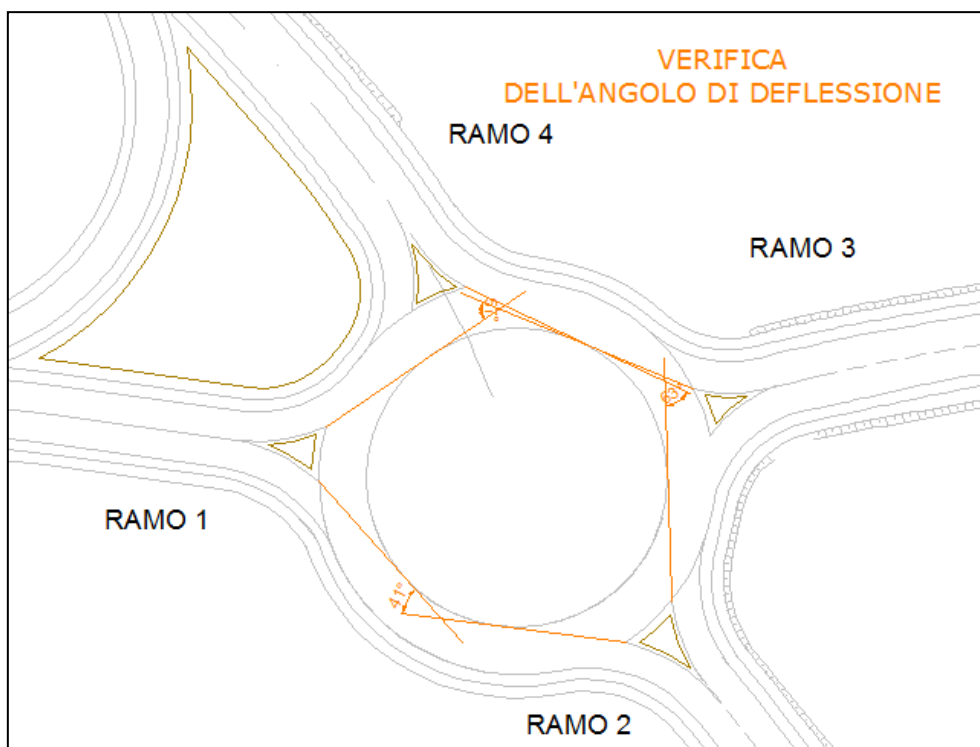
In dettaglio vengono riportate le dimensioni geometriche della rotatoria:



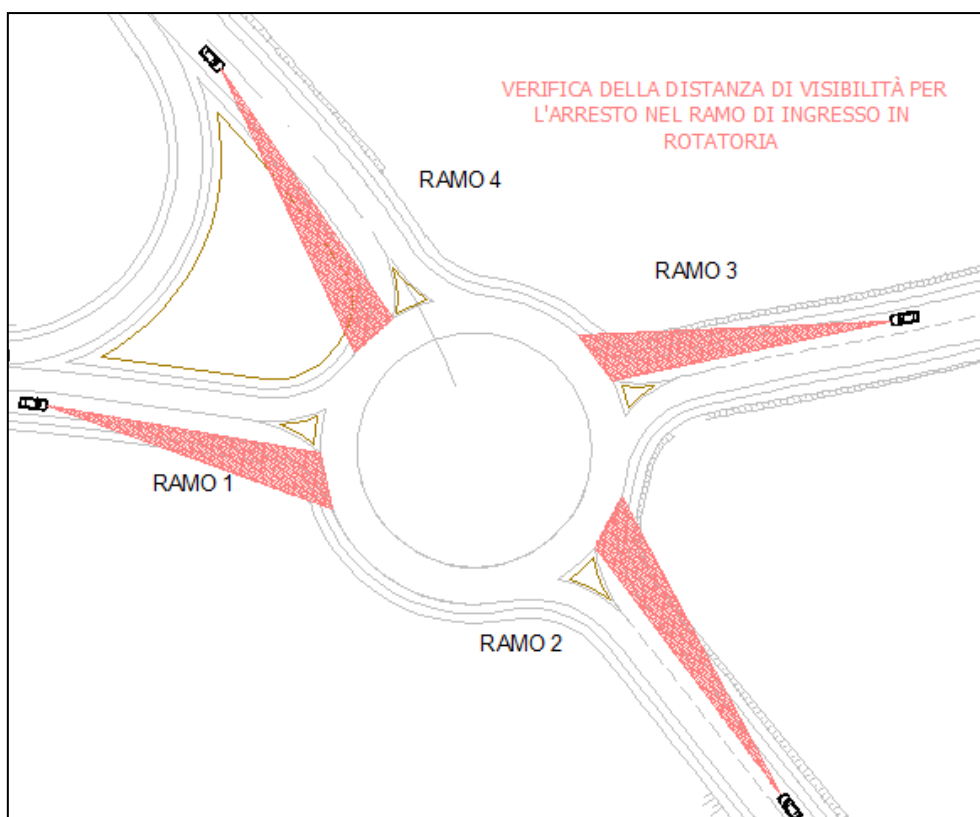
3. Verifica del raggio di deflessione:



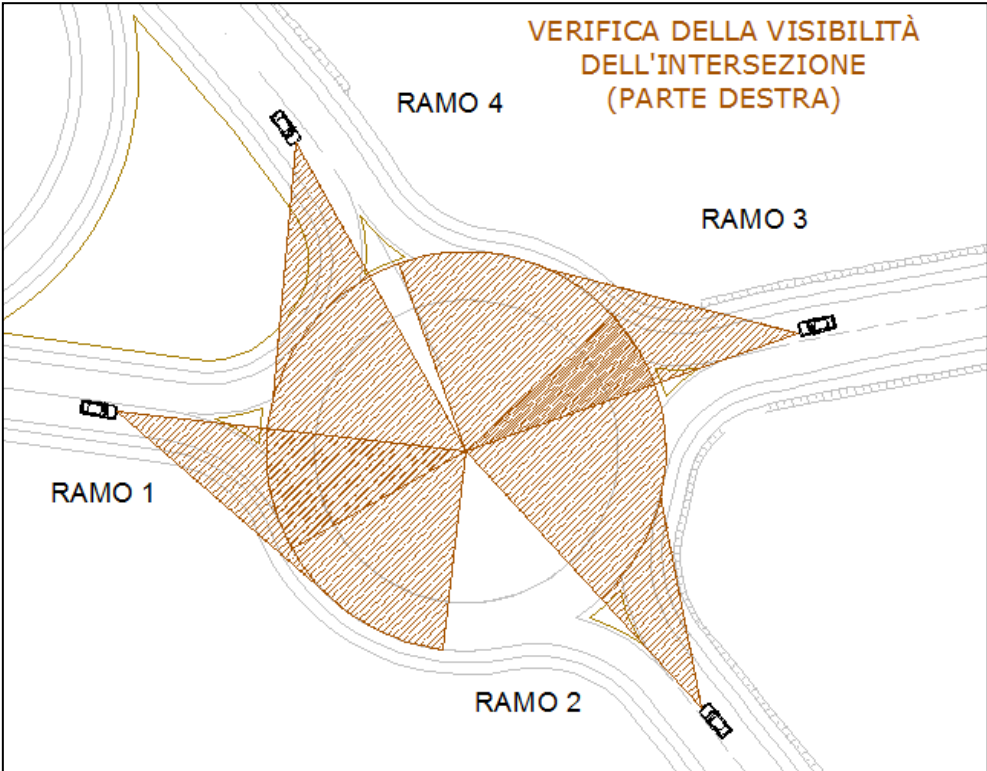
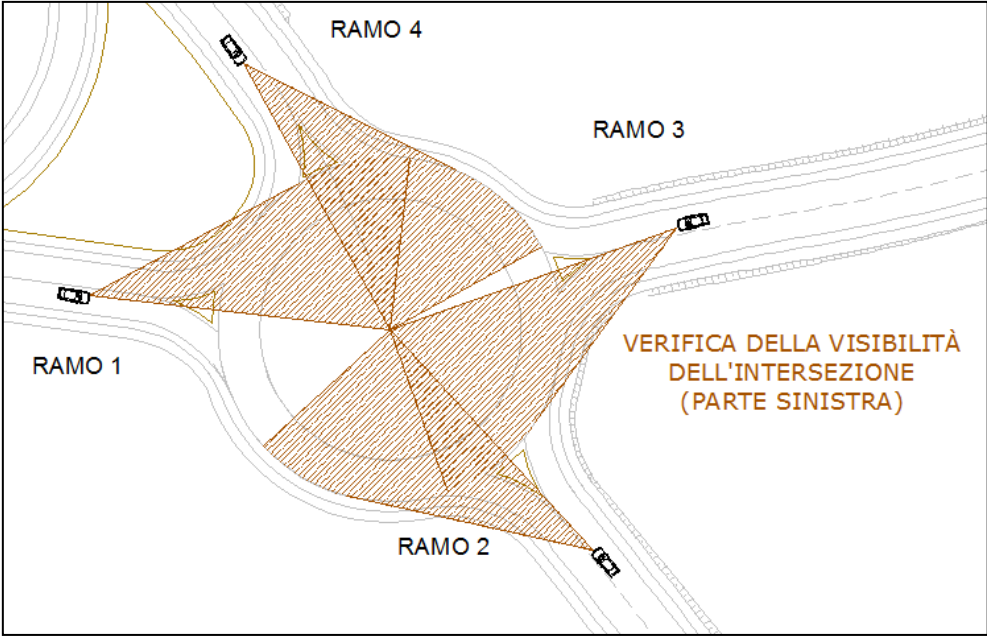
4. Verifica dell'angolo di deflessione:



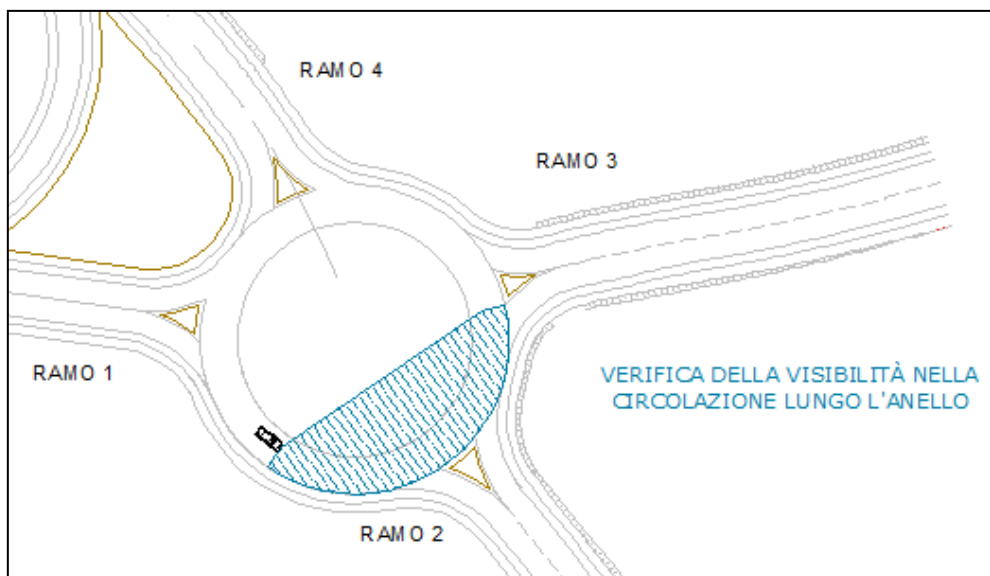
5. Verifica della distanza di visibilità per l'arresto nel ramo di ingresso in rotatoria:



6. Verifica della visibilità dell'intersezione:



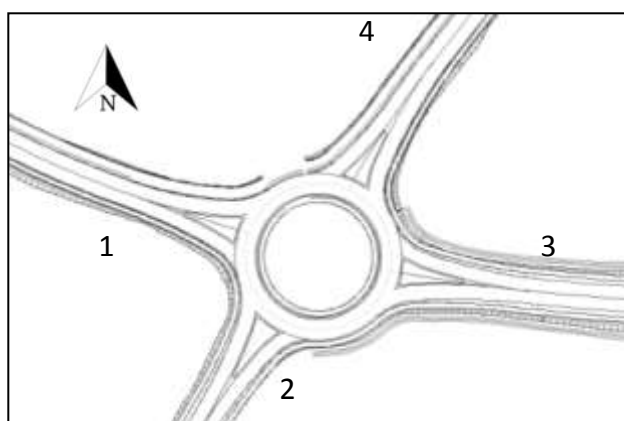
7. Verifica di visibilità nella circolazione lungo l'anello:



8. Verifica della capacità delle intersezioni a rotatoria e del livello di servizio:

Intersezione	Data analisi				Fascia oraria di analisi				Periodo di analisi							
N.4- Rotatoria di Antraccoli (Est)	10/02/2018				Ora di punta mattutina- giorno feriale				15 min.							
Caratteristiche dell'intersezione																
Ramo in entrata	Ovest				Est				Sud				Nord			
Numero corsie	1				1				1				1			
Manovre	U	Sx	Att.	Dx	U	Sx	Att.	Dx	U	Sx	Att.	Dx	U	Sx	Att.	Dx
Portata [pc/h]	0	30 7	13	380	0	13	8	10	0	289	394	16	0	10	310	184
% Veicoli pesanti	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
By-pass per svolta a destra	No				No				No				No			
Corsie in conflitto	1				1				1				/			
Pedoni in attraversamento [p/s]	0				0				0				0			
Intervallo critico e follow-up headway																
Ramo in entrata	Ovest				Est				Sud				Nord			
Corsia	Sx	Dx	By-pass		Sx	Dx	By-pass		Sx	Dx	By-pass		Sx	Dx	By-pass	
Intervallo critico [s]		3.83				3.83				3.83				3.83		
Follow-up headway [s]		2.64				2.64				2.64				2.64		
Stima dei flussi, della capacità e dell'indice di saturazione																
Ramo in entrata	Ovest				Est				Sud				Nord			
Corsia	Sx	Dx	By-pass		Sx	Dx	By-pass		Sx	Dx	By-pass		Sx	Dx	By-pass	
Portata [pc/h]	700		/		31		/		699		/		320		184	
Flusso circolante [pc/h]	333				990				330				310			
Flusso uscente	39				297				711				703			
Capacità [pc/h]	1081		/		684		/		1083		/		1099		/	
Indice di saturazione x	0.65		/		0.05		/		0.65		/		0.29		/	
Tempo di attesa e livello di servizio LoS																
Ramo in entrata	Ovest				Est				Sud				Nord			
Corsia	Sx	Dx	By-pass		Sx	Dx	By-pass		Sx	Dx	By-pass		Sx	Dx	By-pass	
Attesa in corsia [s/veic]	12.5		/		5.7		/		12.4		/		6.1		0.0	
LoS corsia	B		/		A		/		B		/		A		A	
/	5.0		/		0.1		/		4.9		/		1.2		/	
Attesa al ramo [s/veic]	12.5				5.7				12.4				3.9			
LoS ramo	B				A				B				A			
Attesa nell'intersezione [s/veic]/LoS	10.1								B							

3.1.3. ASSE NORD-SUD INTERSEZIONE ROTATORIA SAN LUCA



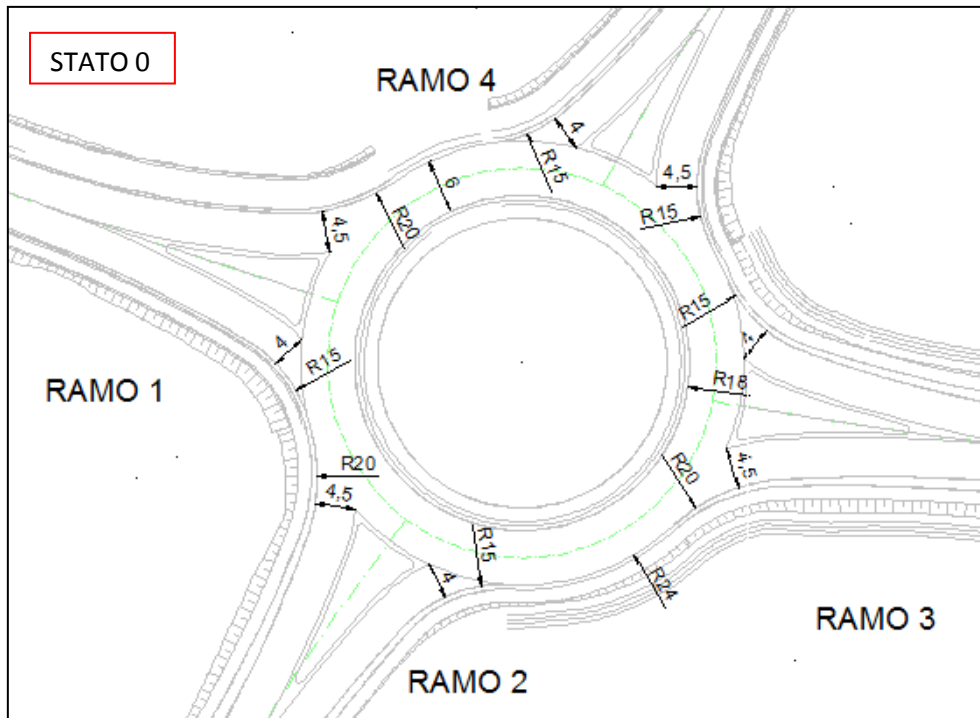
2. Matrice origine/destinazione:

M O/D	1	2	3	4
1-ramo ovest	0	94	55	141
2-ramo sud	108	0	42	106
3-ramo est	99	65	0	98
4-ramo nord	144	95	56	0

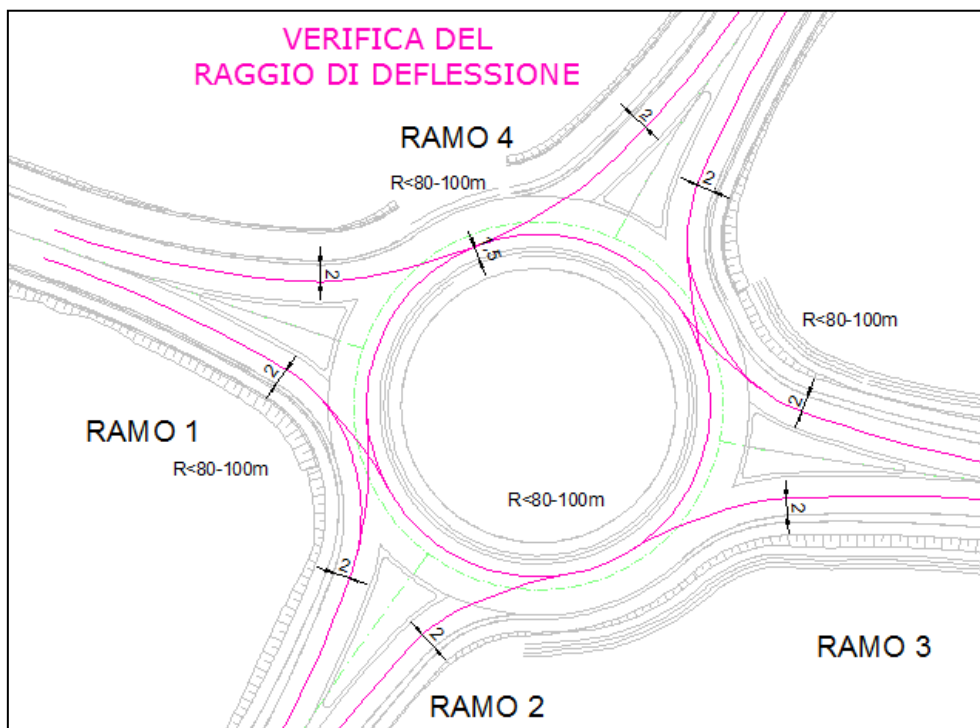
3. Caratteristiche Geometriche:

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE	DATI NUMERICI [m]	VALORI DM 19.04.2006 [m]
Larghezza corsia entrata ramo 1	4	3.5
Larghezza corsia uscita ramo 1	4.5	4.5
Larghezza corsia entrata ramo 2	4	3.5
Larghezza corsia uscita ramo 2	4.5	4.5
Larghezza corsia entrata ramo 3	4	3.5
Larghezza corsia uscita ramo 3	4.5	4.5
Larghezza corsia entrata ramo 4	4	3.5
Larghezza corsia uscita ramo 4	4.5	4.5
Larghezza anello	6	6
Raggio interno	18.5	R.esterno-L.anello
Raggio esterno	24.5	Rotatoria Convenzionale:
Diametro esterno	49	40-50m
Raggio d'entrata	15	R.entrata<R.esterno; Minimo 10m
Raggio d'uscita	15-20	R.uscita>R.interno; Minimo 15m

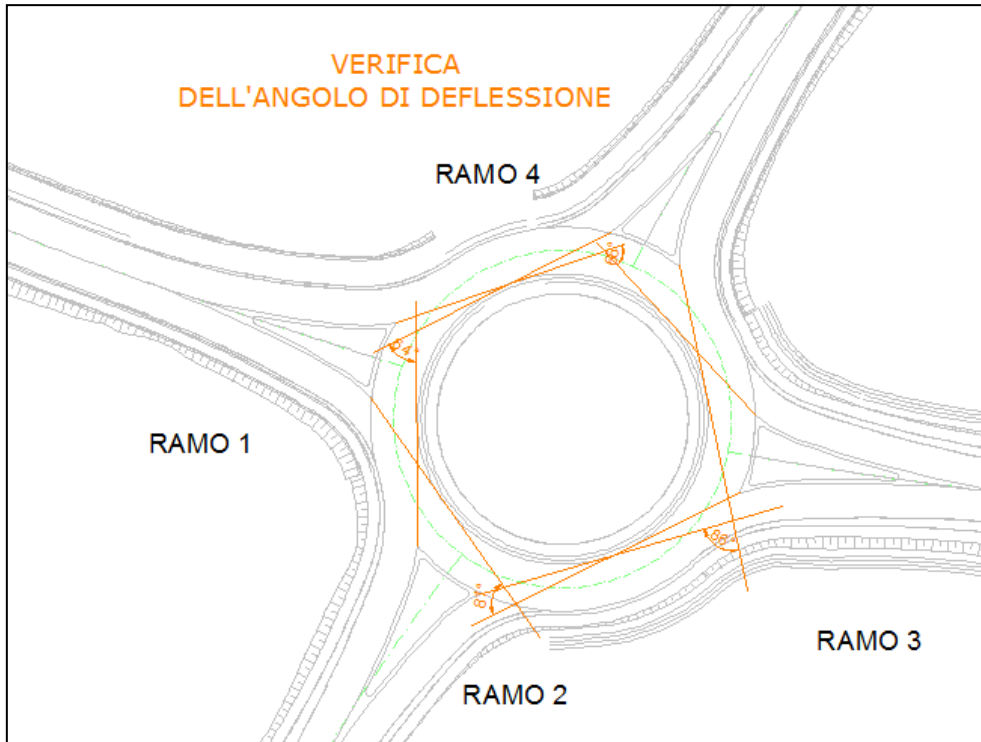
In dettaglio vengono riportate le dimensioni geometriche della rotatoria:



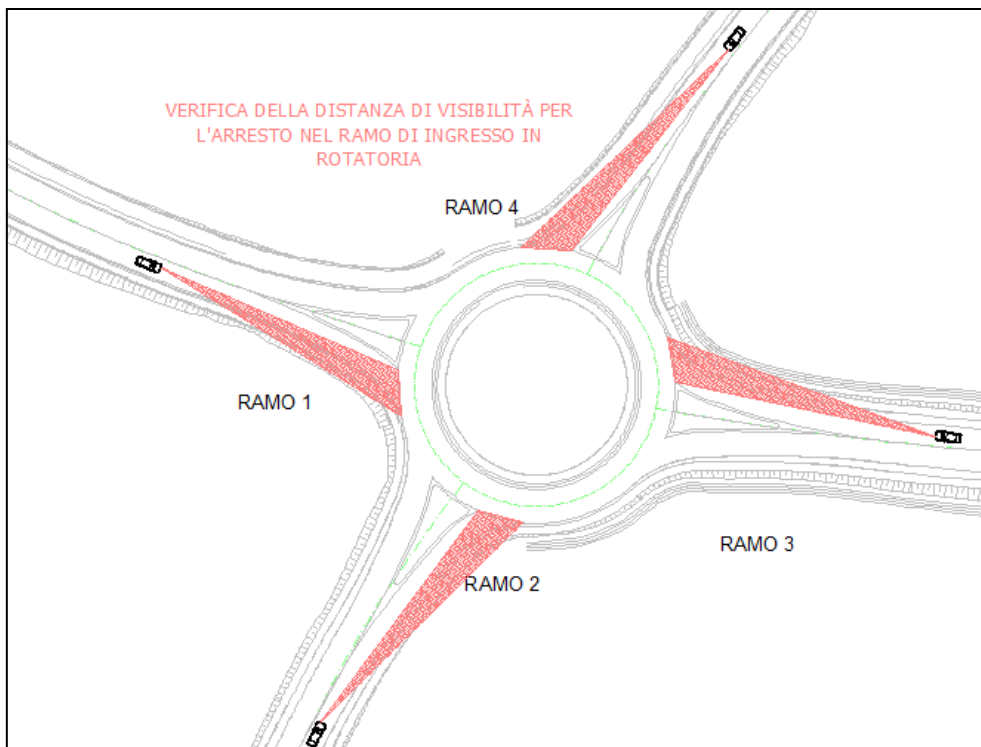
4. Verifica del raggio di deflessione:



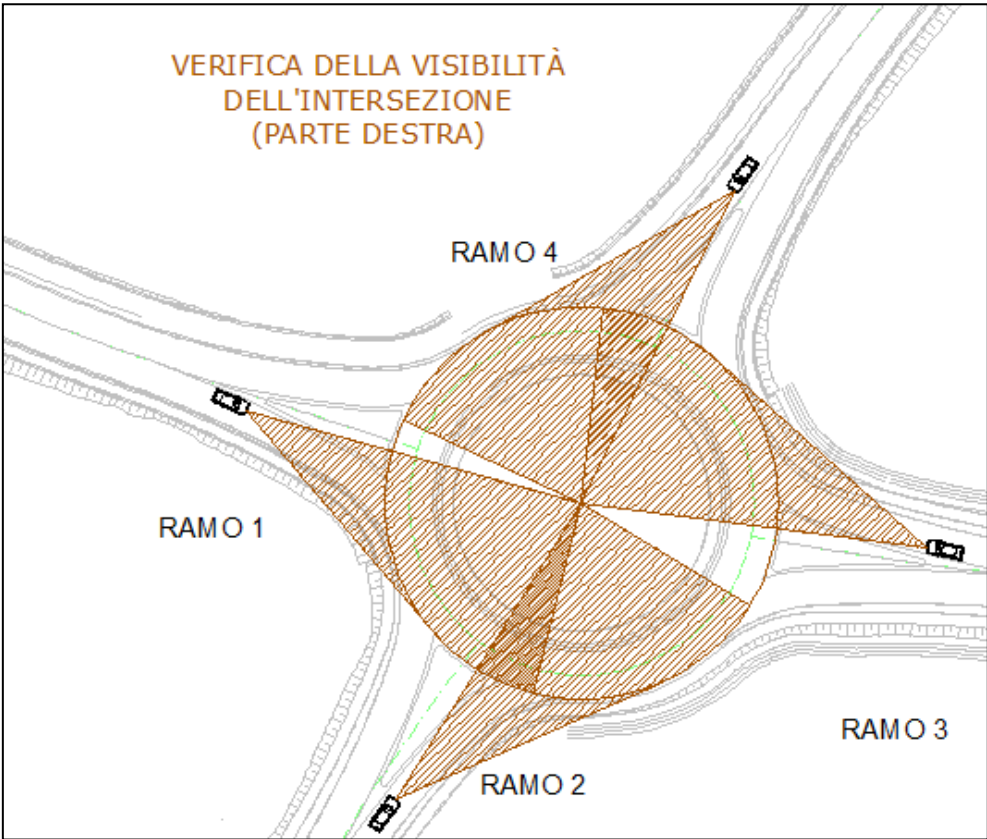
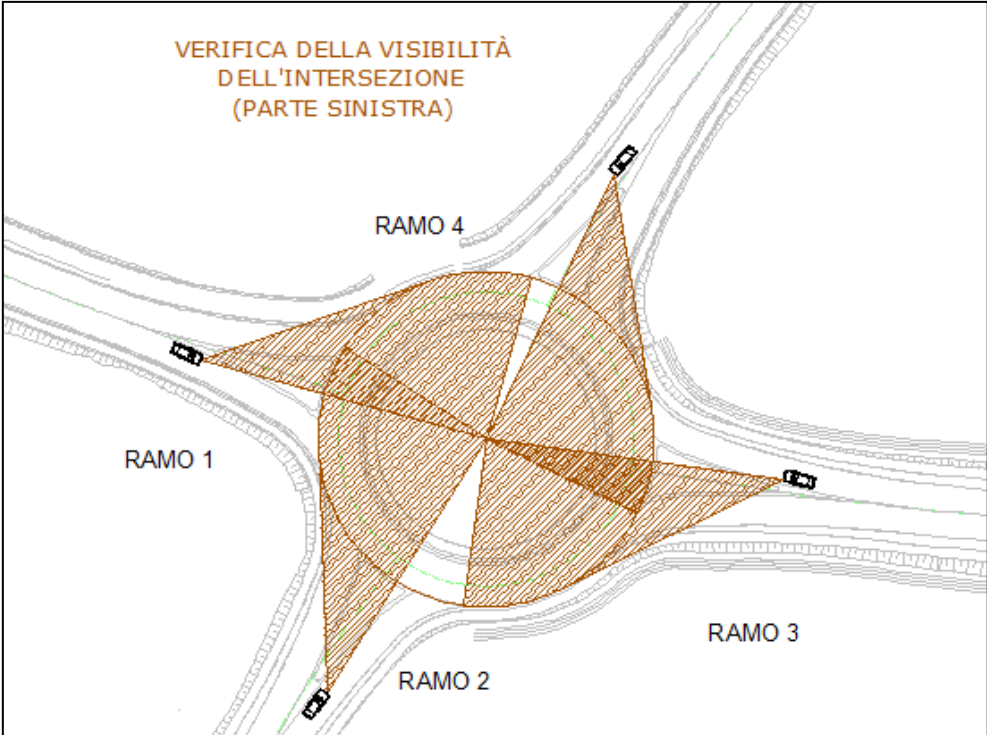
5. Verifica dell'angolo di deflessione:



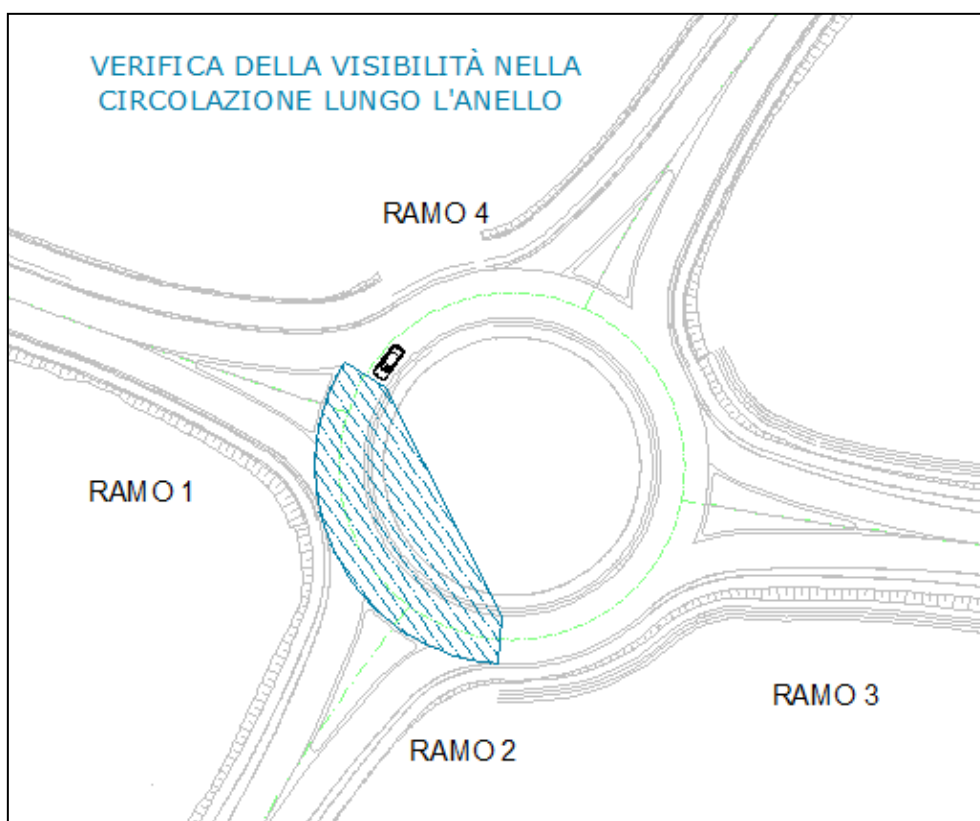
6. Verifica della distanza di visibilità per l'arresto nel ramo di ingresso in rotatoria:



7. Verifica della visibilità dell'intersezione:



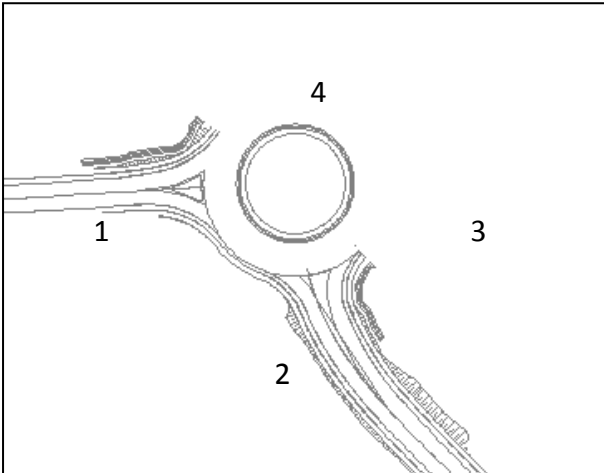
8. Verifica di visibilità nella circolazione lungo l'anello:



9. Verifica della capacità delle intersezioni a rotatoria e del livello di servizio:

Intersezione	Data analisi				Fascia oraria di analisi				Periodo di analisi							
N.5- Rotatoria Ospedale Nuovo	28/05/2018				Ora di punta mattutina- giorno feriale				15 min.							
Caratteristiche dell'intersezione																
Ramo in entrata	Ovest				Est				Sud				Nord			
Numero corsie	1				1				1				1			
Manovre	U	Sx	Att.	Dx	U	Sx	Att.	Dx	U	Sx	Att.	Dx	U	Sx	Att.	Dx
Portata [pc/h]	0	141	55	94	0	65	99	98	0	108	106	42	0	56	95	144
% Veicoli pesanti	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
By-pass per svolta a destra	No				No				No				No			
Corsie in conflitto	1				1				1				1			
Pedoni in attraversamento [p/s]	0				0				0				0			
Intervallo critico e follow-up headway																
Ramo in entrata	Ovest				Est				Sud				Nord			
Corsia	Sx	Dx	By-pass	Sx	Dx	By-pass	Sx	Dx	By-pass	Sx	Dx	By-pass	Sx	Dx	By-pass	
Intervallo critico [s]	3.83				3.83				3.83				3.83			
Follow-up headway [s]	2.64				2.64				2.64				2.64			
Stima dei flussi, della capacità e dell'indice di saturazione																
Ramo in entrata	Ovest				Est				Sud				Nord			
Corsia	Sx	Dx	By-pass	Sx	Dx	By-pass	Sx	Dx	By-pass	Sx	Dx	By-pass	Sx	Dx	By-pass	
Portata [pc/h]	290				262				256				295			
Flusso circolante [pc/h]	216				355				252				272			
Flusso uscente	153				351				345				254			
Capacità [pc/h]	1173				1065				1144				1128			
Indice di saturazione x	0.25				0.25				0.22				0.26			
Tempo di attesa e livello di servizio LoS																
Ramo in entrata	Ovest				Est				Sud				Nord			
Corsia	Sx	Dx	By-pass	Sx	Dx	By-pass	Sx	Dx	By-pass	Sx	Dx	By-pass	Sx	Dx	By-pass	
Attesa in corsia [s/veic]	5.3				5.7				5.2				5.6			
LoS corsia	A				A				A				A			
/	1.0				1.0				0.9				1.1			
Attesa al ramo [s/veic]	5.3				5.7				5.2				5.6			
LoS ramo	A				A				A				A			
Attesa nell'intersezione [s/veic]/LoS	5.5								A							

3.1.4. ASSE NORD-SUD INTERSEZIONE ROTATORIA ROMANA



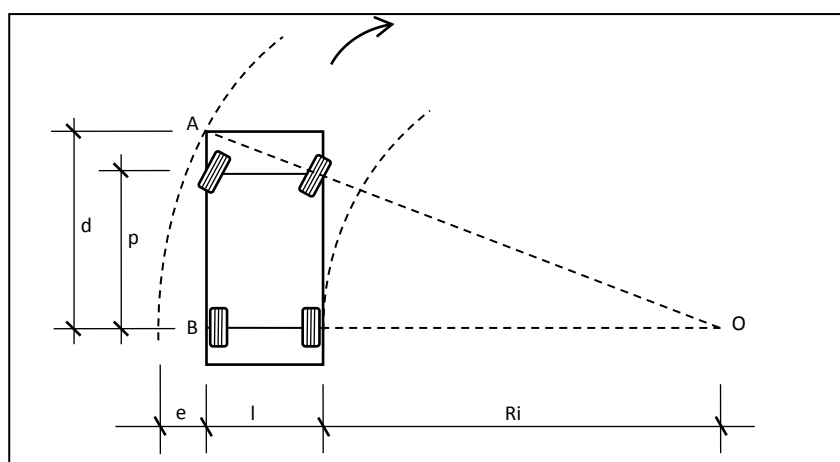
In questa intersezione, non è stato possibile eseguire verifiche geometriche in mancanza di disegni di dettaglio.

4. VERIFICA DELLA PERCORRIBILITÀ DELLE MANOVRE DA PARTE DEI VEICOLI PESANTI

Prendendo in considerazione che lo spazio di manovra occupato dalla sagoma di un veicolo in curva è maggiore di quello in marcia rettilinea.

Nel Regolamento del NCdS è stabilito che ogni veicolo stradale si deve inscrivere in una corona circolare avente il raggio interno di 5,30 m ed il raggio esterno di 12,00 m che poi è comune alla maggior parte dell'Europa.

Per calcolare il valore dell'allargamento, e , necessario ad un veicolo a 2 assi che compie una curva circolare di raggio interno R_i si può far riferimento allo schema della figura sotto riportata.



Il raggio descritto dallo spigolo anteriore esterno del veicolo può scriversi:

$$OA = OB = e + l + R_i$$

Poiché per il triangolo rettangolo OAB vale:

$$(OA)^2 = d^2 + (l + R_i)^2$$

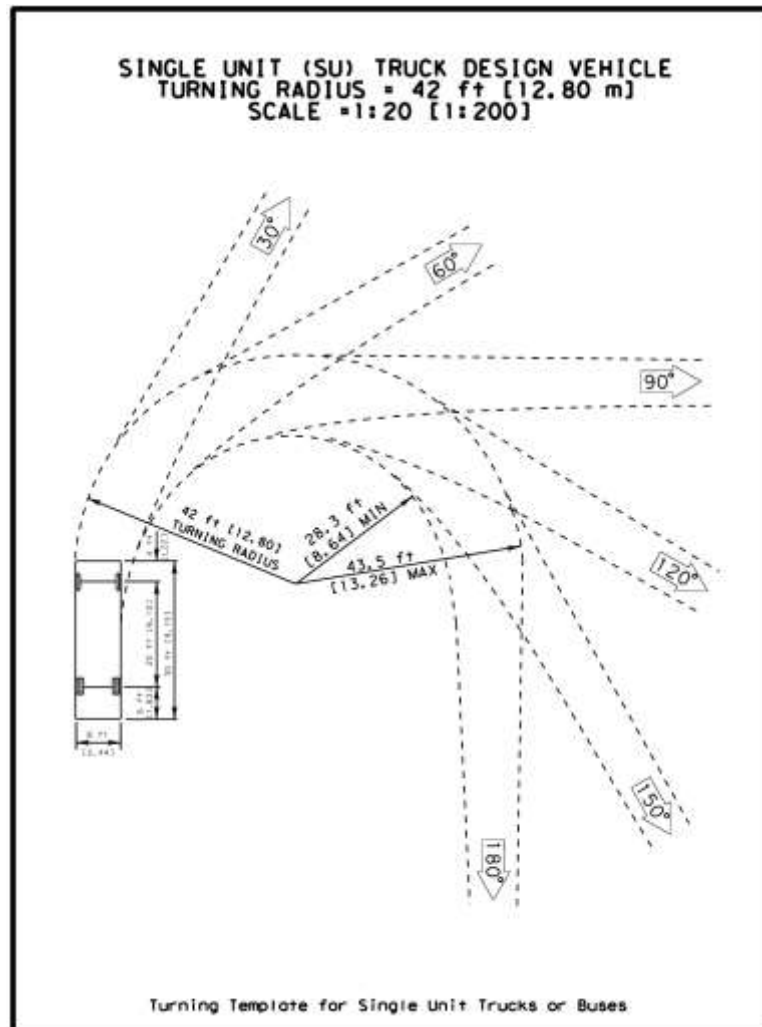
per cui sostituendo, si ottiene l'espressione dell'allargamento in curva:

$$e = \sqrt{d^2 + (l + R_i)^2} - (l + R_i)$$

che risulta così funzione del raggio R_i della curva descritta dalla ruota interna dell'asse posteriore, della larghezza l del veicolo e della distanza d tra l'asse posteriore ed il paraurti anteriore, da non confondere col passo p .

Tuttavia, nel definire lo spazio di manovra di un veicolo in curva va tenuto in conto che il passaggio del veicolo dalla traiettoria rettilinea a quella della curva circolare a raggio costante, e viceversa, avviene attraverso una fase transitoria durante la quale il conducente compie una rotazione graduale dello sterzo.

Il modello per la definizione della fascia d'ingombro di un veicolo a 2 assi per differenti gradi di curvatura sul raggio minimo di sterzata di 8,64 m (tratto dal Texas Department of Transportation, "Roadway Design Manual", 2014) risulta infatti il seguente.



I software specifici per la simulazione della fascia d'ingombro di un veicolo in svolta e della traiettoria seguita dalle sue ruote sono particolarmente utili per la progettazione di intersezioni, di aree di parcheggio, di passi carrai e di altre infrastrutture stradali contraddistinte da spazi di manovra ristretti.

Uno di questi software è inglobato nel comando Vehicle Turning Simulation (Swept path analysis) contenuto nel toolbox CadTools che è stato sviluppato per applicazioni di ingegneria civile in ambiente AutoCAD.

Questo comando è efficace per mettere in evidenza eventuali situazioni critiche dei veicoli in svolta. Il suo uso prevede che l'analista abbia prima individuato con una polilinea la traiettoria dell'asse di sterzata del veicolo. Su questa polilinea si applica il comando e nel corso del calcolo

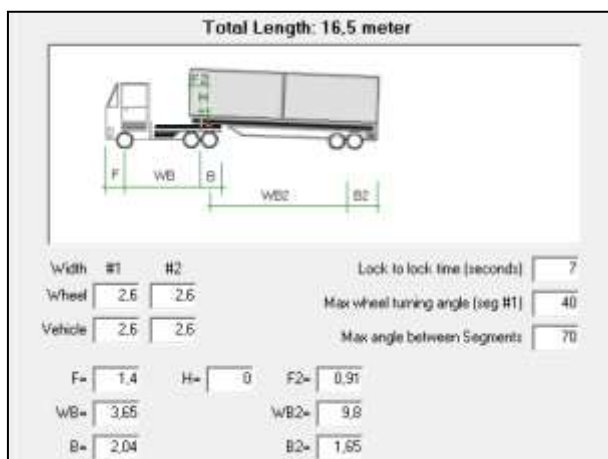
vengono monitorati due angoli: l'angolo di svolta del veicolo e l'angolo tra due segmenti consecutivi della traiettoria. Se uno di questi angoli eccede il valore di input dell'angolo massimo tollerabile dal veicolo, il calcolo si arresta e la sagoma del veicolo viene rappresentata fino al punto di arresto. Ci sono diverse tipologie di veicoli disponibili di default in CadTools, quali autovetture, autobus, autocarri, autoarticolati ed autotreni. È tuttavia possibile definire un veicolo personale semplicemente con la modifica dei parametri di lunghezza, larghezza, passo, ecc., di un analogo veicolo di default.

Dal calcolo si ottengono i seguenti risultati in base ai quali si possono condurre le relative verifiche d'interesse:

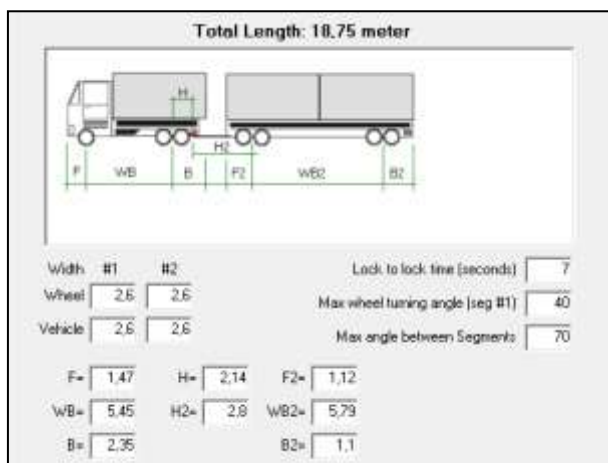
- Fascia d'ingombro definita dalla cassa del veicolo (involuppo);
- Fascia d'ingombro definita dalle ruote del veicolo;
- Fascia d'ingombro definita in caso di manovra inversa del veicolo (retromarcia).

Il comando Vehicle Turning Simulation di CadTools è stato quindi utilizzato per effettuare le verifiche nelle intersezioni oggetto di studio ed i veicoli pesanti usati sono:

- Autoarticolato:

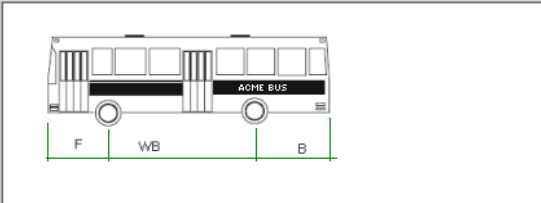


- Autotreno:



- Autobus:

Total Length: 15 meter



Width #1

Wheel

Vehicle

F=

WB=

B=

Lock to lock time (seconds)

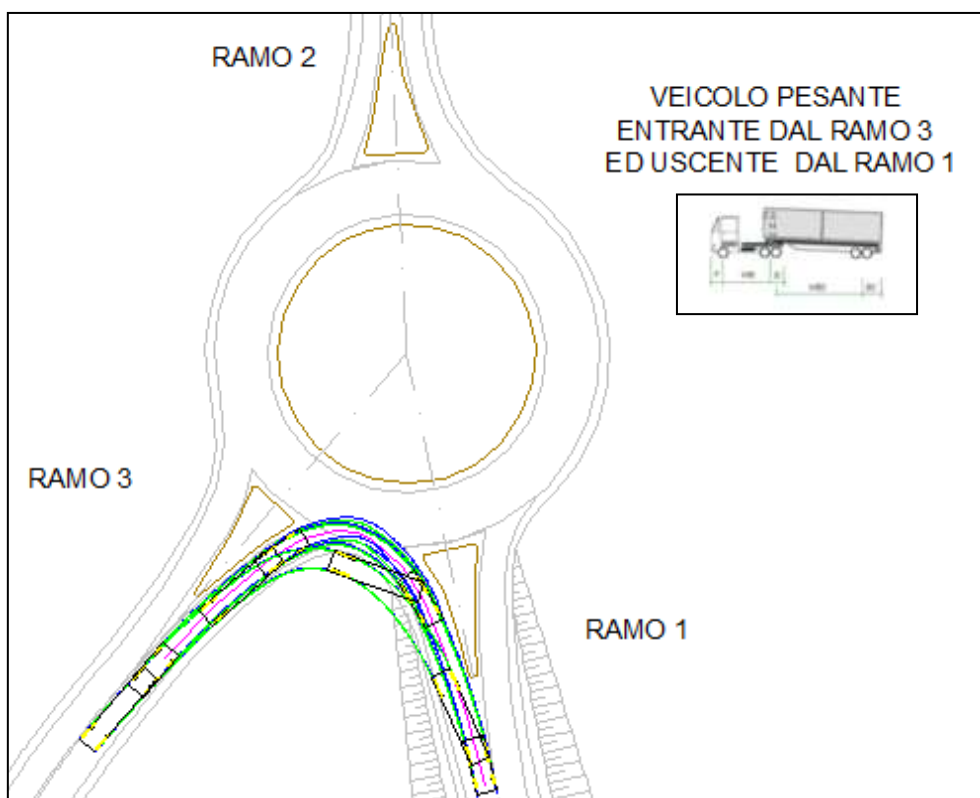
Max wheel turning angle (seg #1)

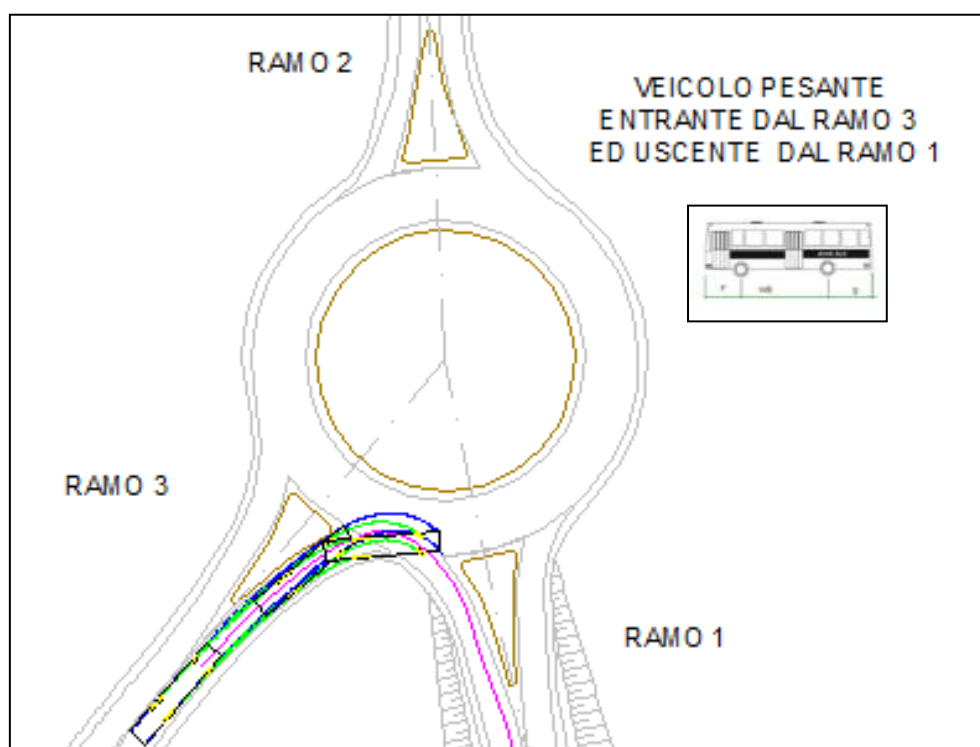
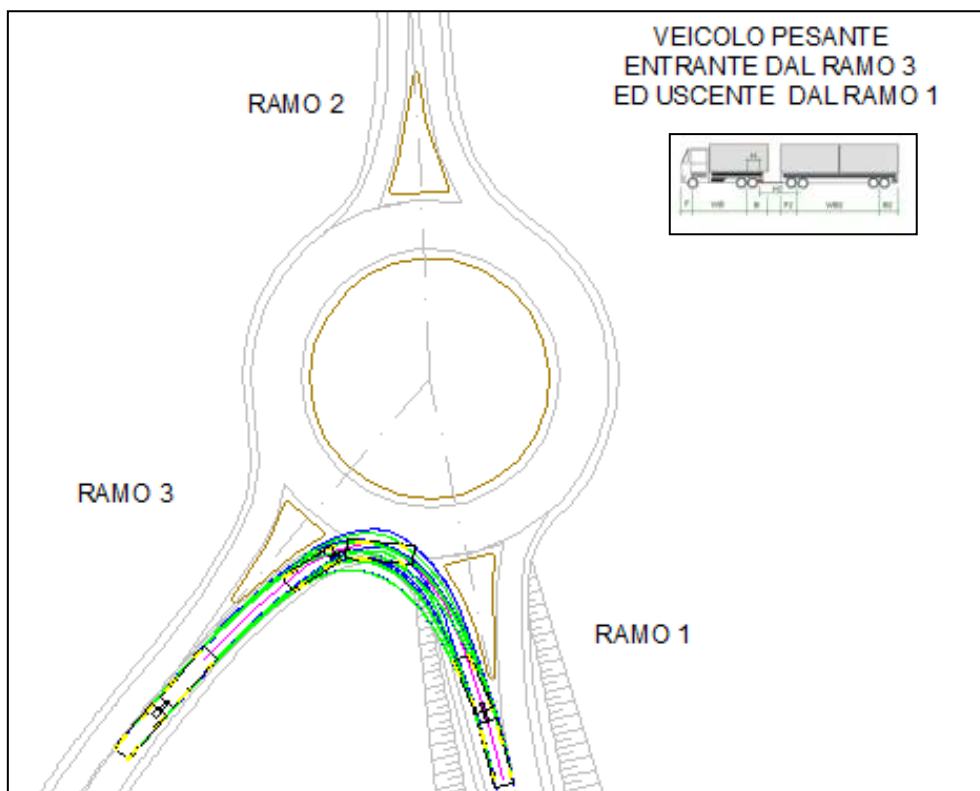
Max angle between Segments

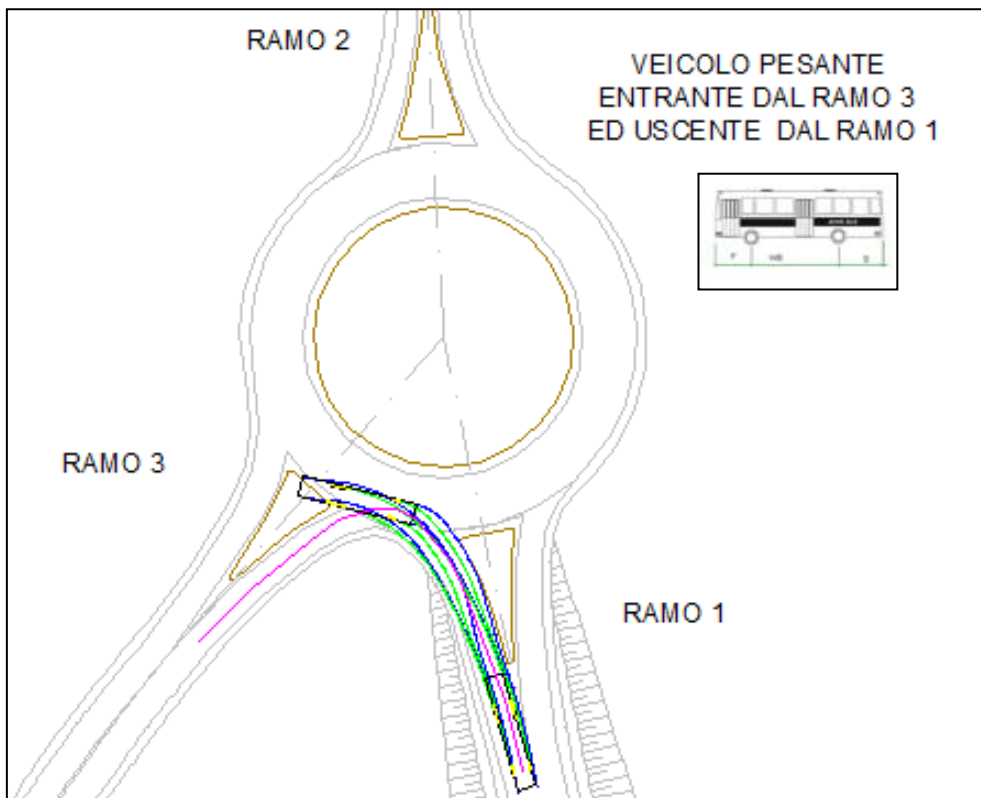
La verifica di percorribilità è stata eseguita, per ogni veicolo, su ciascun ramo di ogni intersezione. I risultati sono riportati negli allegati. In questa parte del rapporto vengono riportati unicamente i casi in cui la manovra per uno o più veicoli pesanti non era possibile.

4.1. ASSE NORD-SUD. ROTATORIA DI INNESTO CON LA SS12

Analizzando questa intersezione (nominata stato 0), i veicoli pesanti erano impossibilitati a svolgere in sicurezza la manovra di svolta tra il ramo 3 ed il ramo 1. Nelle figure sottostanti vengono riportati i casi critici simulati con il programma HCS. Le analisi sono state condotte andando a simulare l'ingombro di un autoarticolato, di un autotreno e in ultimo di un autobus.

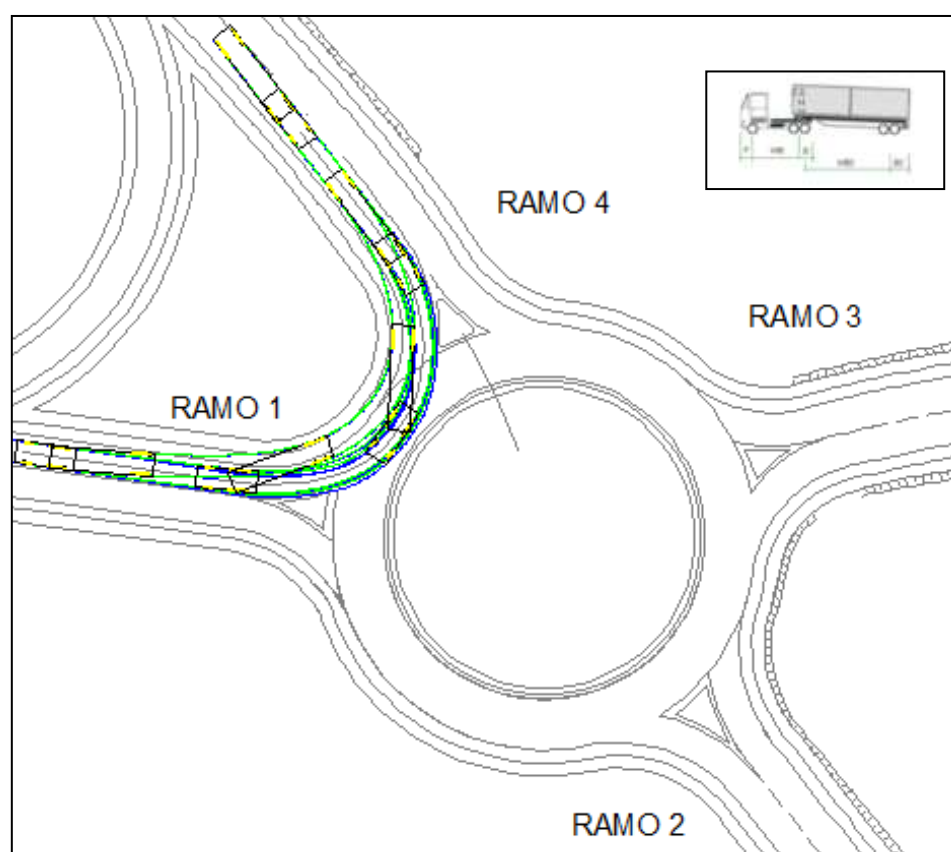
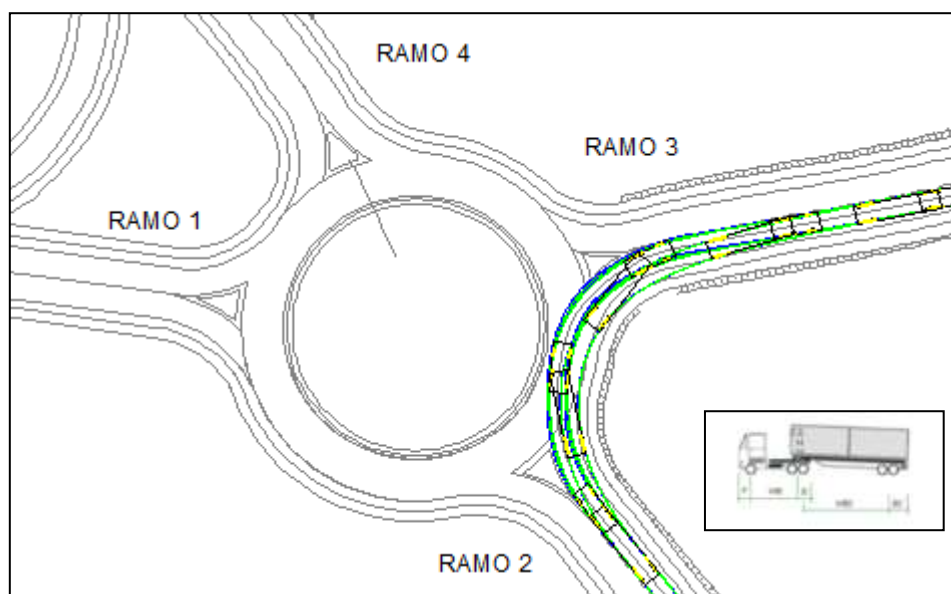






4.2. ASSE NORD-SUD ROTATORIA ANTRACCOLI LATO EST

Analizzando questa intersezione (nominata stato 0), i veicoli pesanti erano impossibilitati a svolgere in sicurezza la manovra di svolta tra il ramo 2 ed il ramo 3 e tra il ramo 4 ed il ramo 1. Nelle figure sottostanti vengono riportati i casi critici simulati con il programma HCS. Le analisi sono state condotte andando a simulare l'ingombro di un autoarticolato, di un autotreno e in ultimo di un autobus. Sotto viene mostrato solo il caso critico relativo alla svolta dell'autoarticolato.



5. RACCOMANDAZIONI

Sono state riscontrate alcune difformità geometriche rispetto ai valori stabiliti dal D.M. 19.04.2006 per le quattro intersezioni da analizzare. Inoltre la rotatoria di innesto con la SR 435 presenta un ingresso il cui livello di servizio è inferiore al livello minimo di funzionalità. Due rotatorie, la rotatoria di innesto con la SS12 e la rotatoria di Antraccoli- Est, presentano casi in cui le manovre di svolta dei veicoli pesanti non sono possibili.

5.1. DIFFORMITÀ GEOMETRICHE

5.1.1. LARGHEZZA DELLE CORSIE IN INGRESSO

In alcuni casi la larghezza delle corsie di ingresso è inferiore al valore stabilito dalla normativa, pari a 3.5 m per le corsie singole e 6 m complessivi per le entrate a doppia corsia. Per questi casi si indica la necessità di adeguare la larghezza al valore della Normativa.

Molte corsie mantengono inalterata la loro larghezza, nella maggior parte dei casi pari a 3.75 m, dal tratto di scorrimento fino all'immissione in rotatoria. La normativa impone la riduzione ai valori stabiliti, tuttavia si ritiene corretto mantenere il valore di 3.75 a tutto vantaggio del necessario allargamento in curva, stante il contenuto valore dei raggi in ingresso.

5.1.2. RAGGI IN INGRESSO

Al fine di ridurre l'ingombro, sono stati adottati raggi in ingresso mediamente pari a 17-20 m. Al fine di migliorare e, in taluni casi, permettere la svolta dei veicoli pesanti, si raccomanda di adottare come raggio minimo in ingresso il valore di 20 m.

5.1.3. LARGHEZZA DELLE CORSIE IN USCITA

La Normativa di riferimento impone una larghezza di 4.5 metri per rotatorie il cui diametro sia compreso tra i 40 m e i 50 m. Si indica la necessità di adeguare per ragioni di sicurezza le larghezze adottate (nella maggior parte dei casi pari a 4 m, in un caso di 3.75) al valore minimo imposto di 4.5 m.

5.1.4. RAGGI IN USCITA

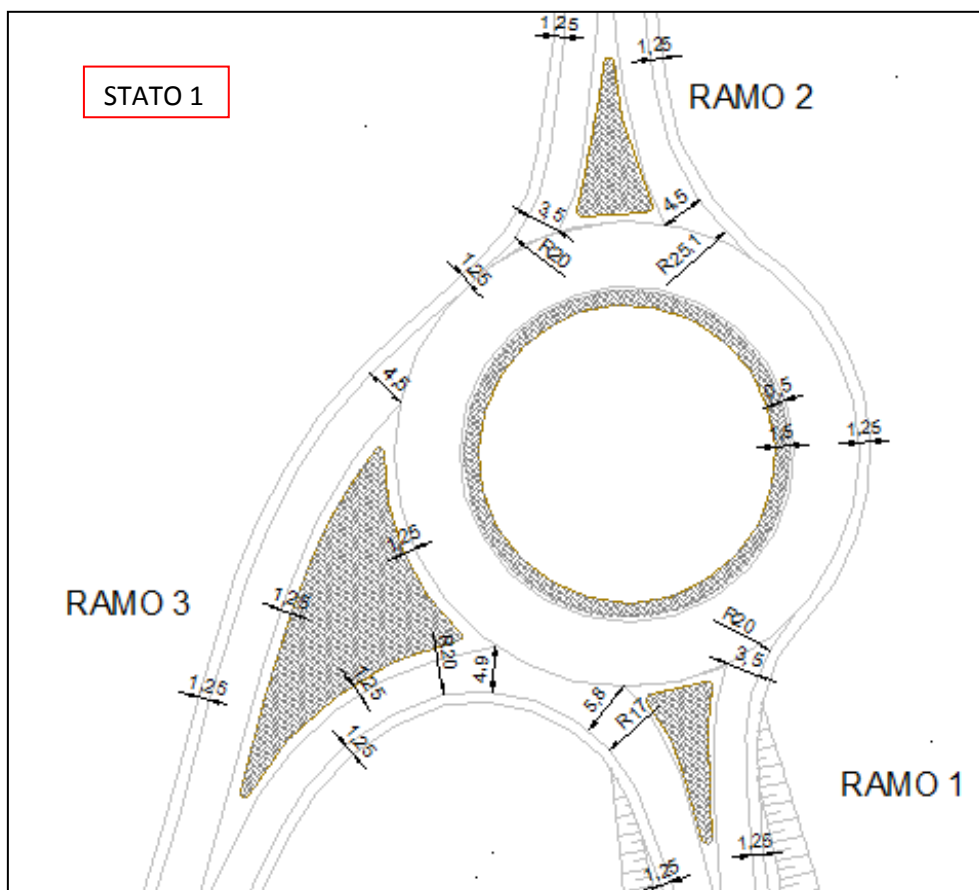
I raggi di uscita adottati sono molto contenuti, mediamente pari a 15-20 m. Si consiglia, per la svolta dei veicoli pesanti e per un generale miglioramento dell'efficienza della rotatoria, di portare il raggio di uscita minimo a 40 m.

5.2. ASSE NORD-SUD ROTATORIA DI INNESTO CON LA SS12-PROBLEMA FUNZIONALE

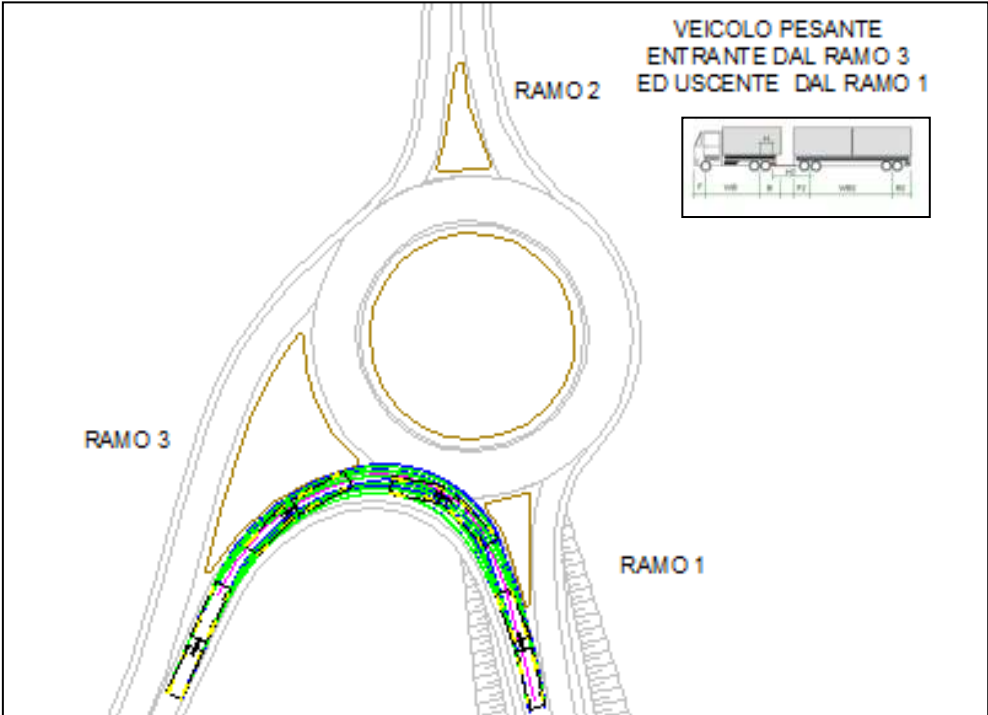
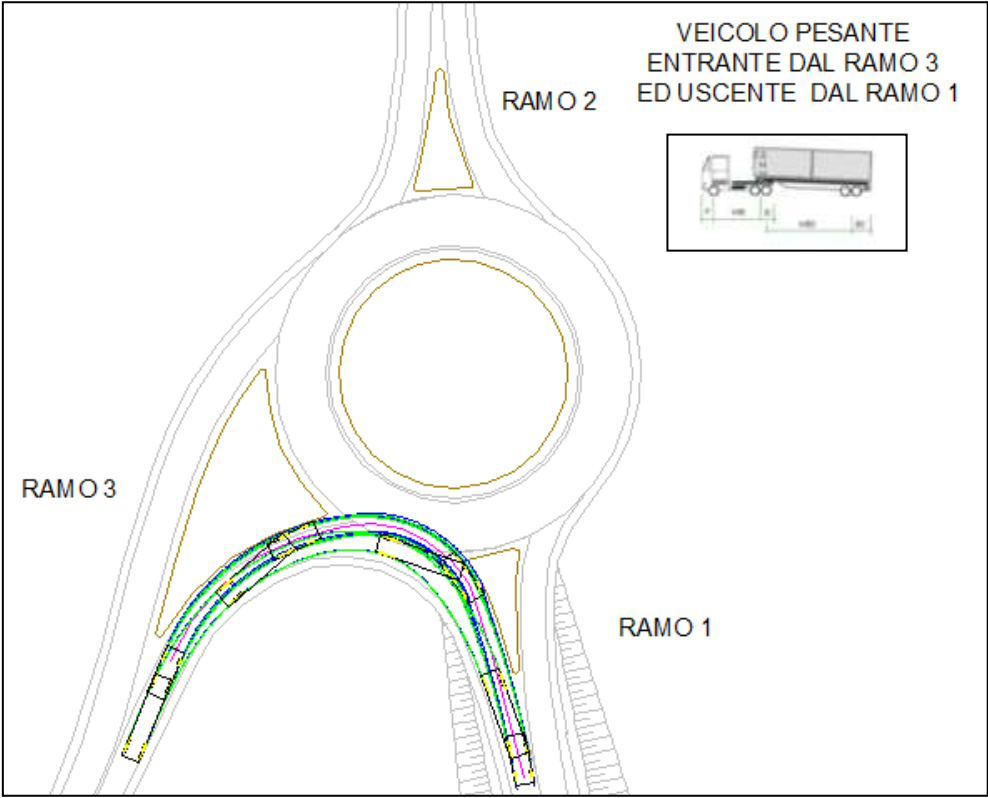
La rotatoria presenta un problema di svolta dei veicoli pesanti dal ramo 3 al ramo 1. Per risolvere tale problema vengono presentate due proposte.

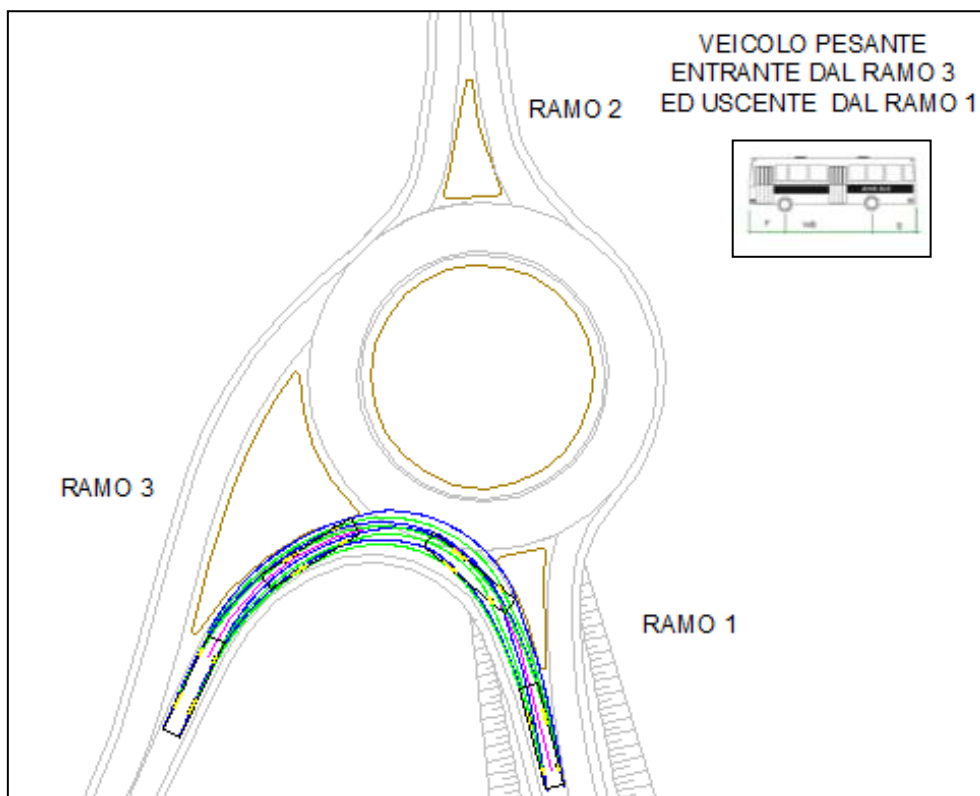
Per risolvere la svolta dei mezzi pesanti tra il ramo 3 e tra il ramo 1 sono state sviluppate due proposte (nominate con stato 1 e stato 2).

La prima proposta consiste in una ramificazione del ramo 3 senza invadere altri territori ma rimandando nell'area oggetto di studio prevista già allo stato 0. Per gli altri rami sono state effettuate modifiche geometriche in conformità alla normativa vigente e sono state riportate le relative dimensioni geometriche.

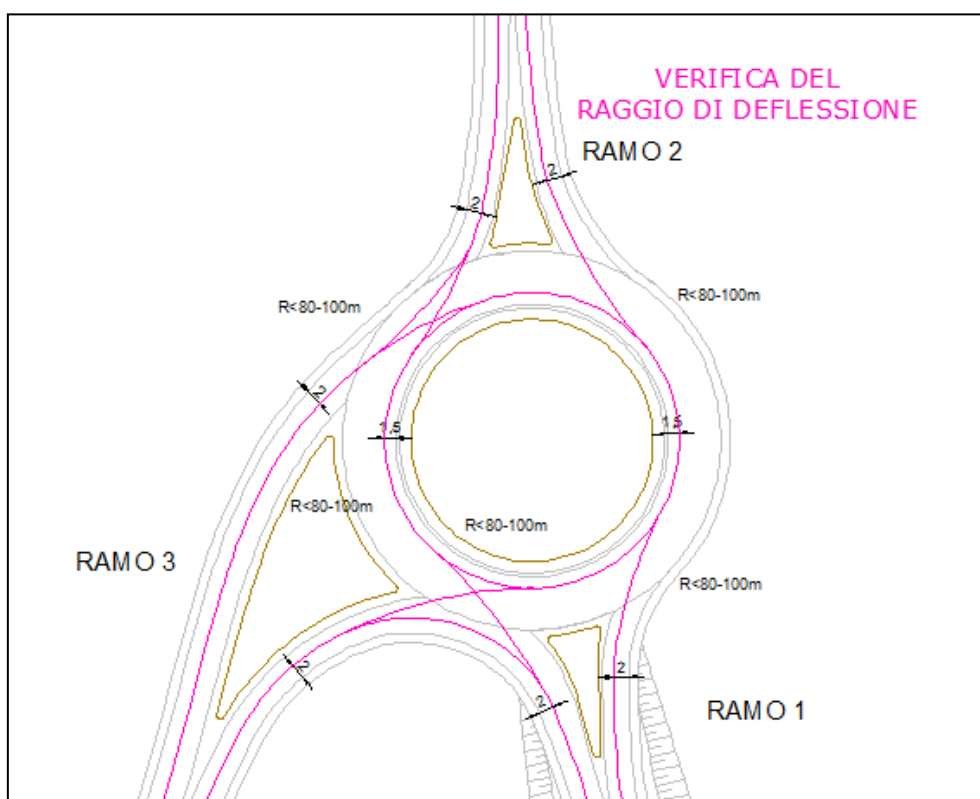


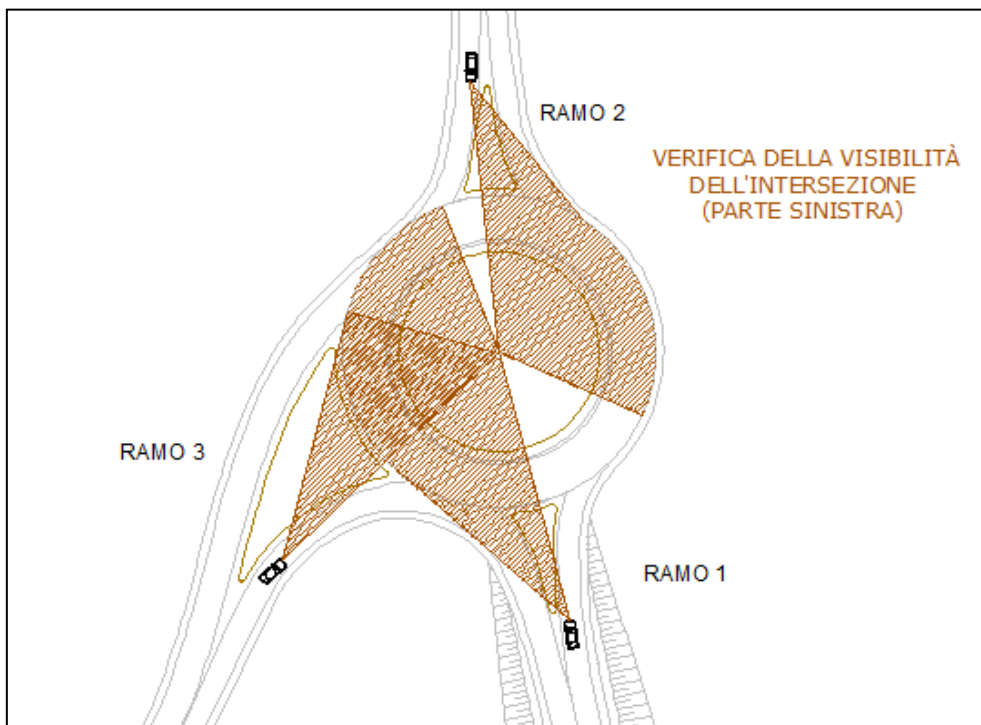
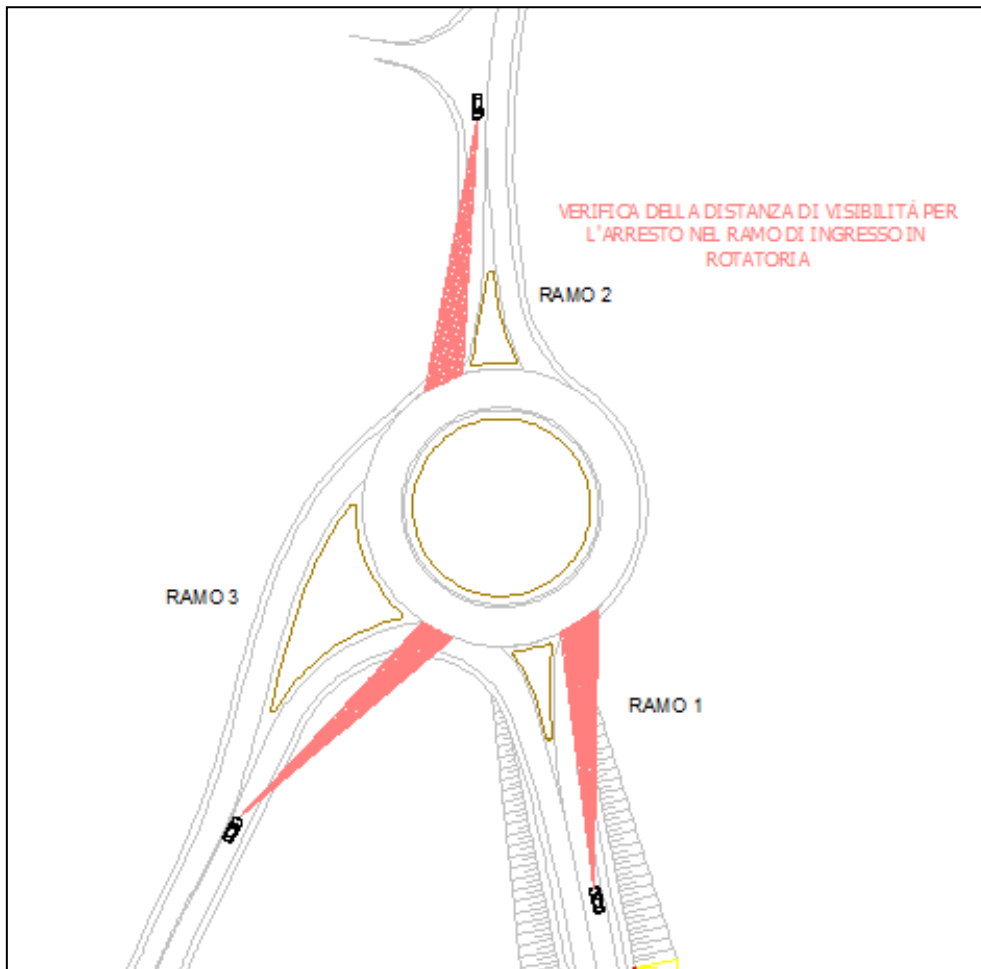
Con questa geometria i mezzi pesanti riescono a percorrere l'intersezione senza fuoriuscire dalla carreggiata come è possibile vedere nelle rappresentazioni seguenti.

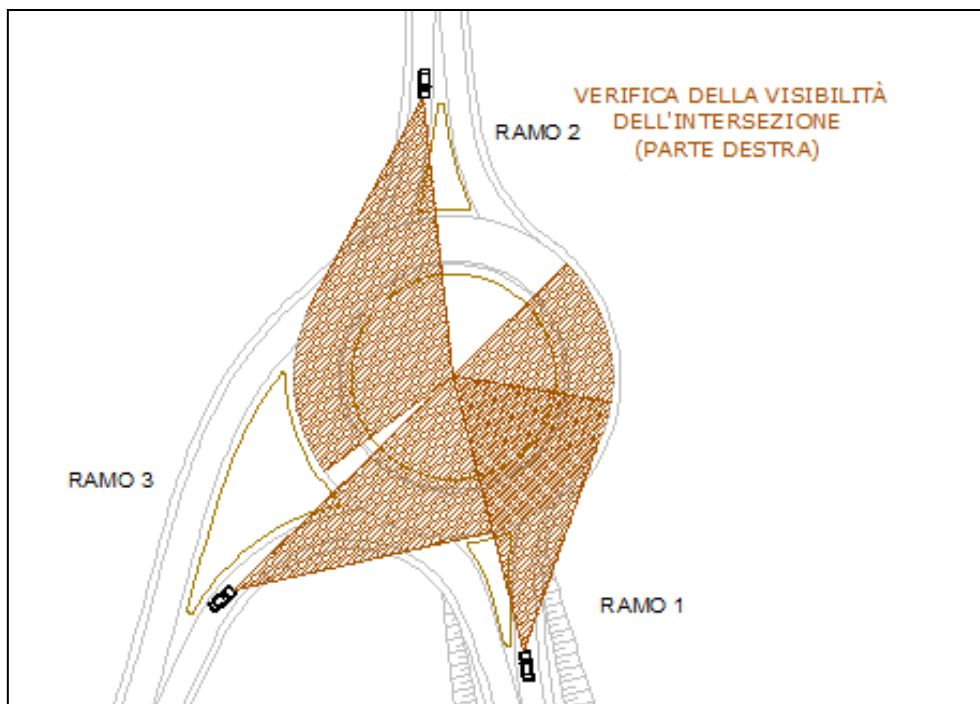




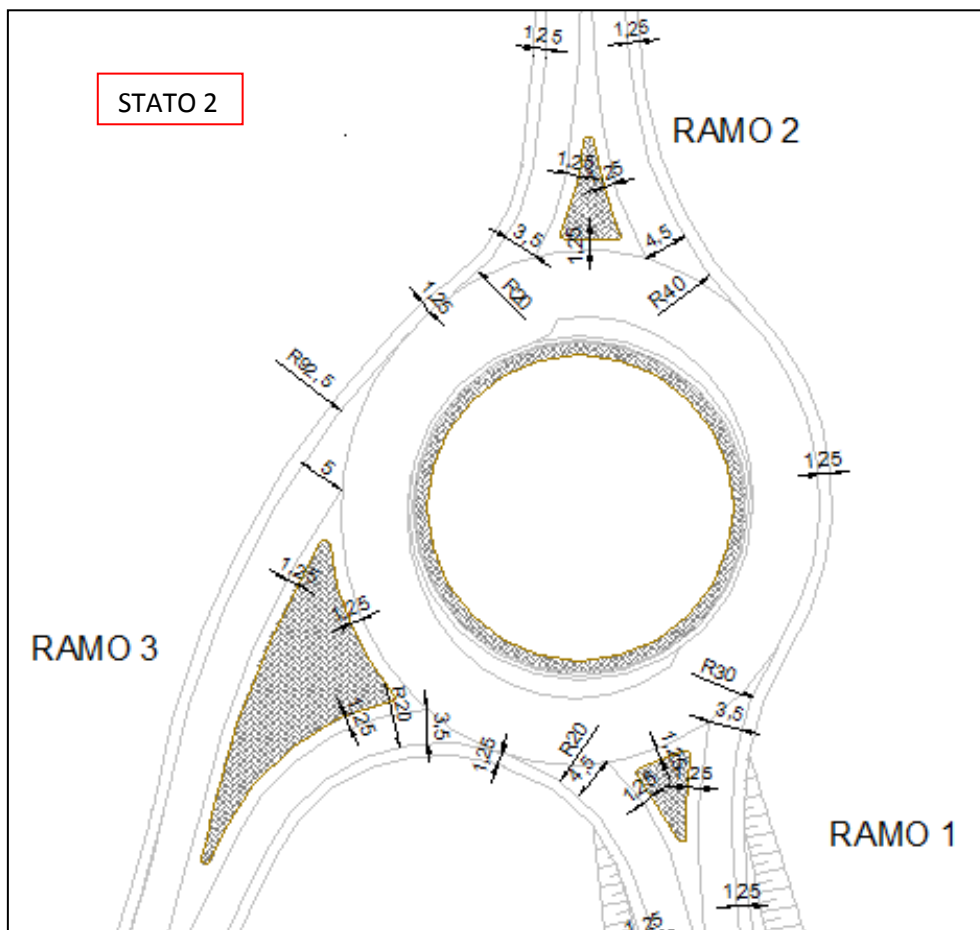
Di seguito si riportano le verifiche di interesse:



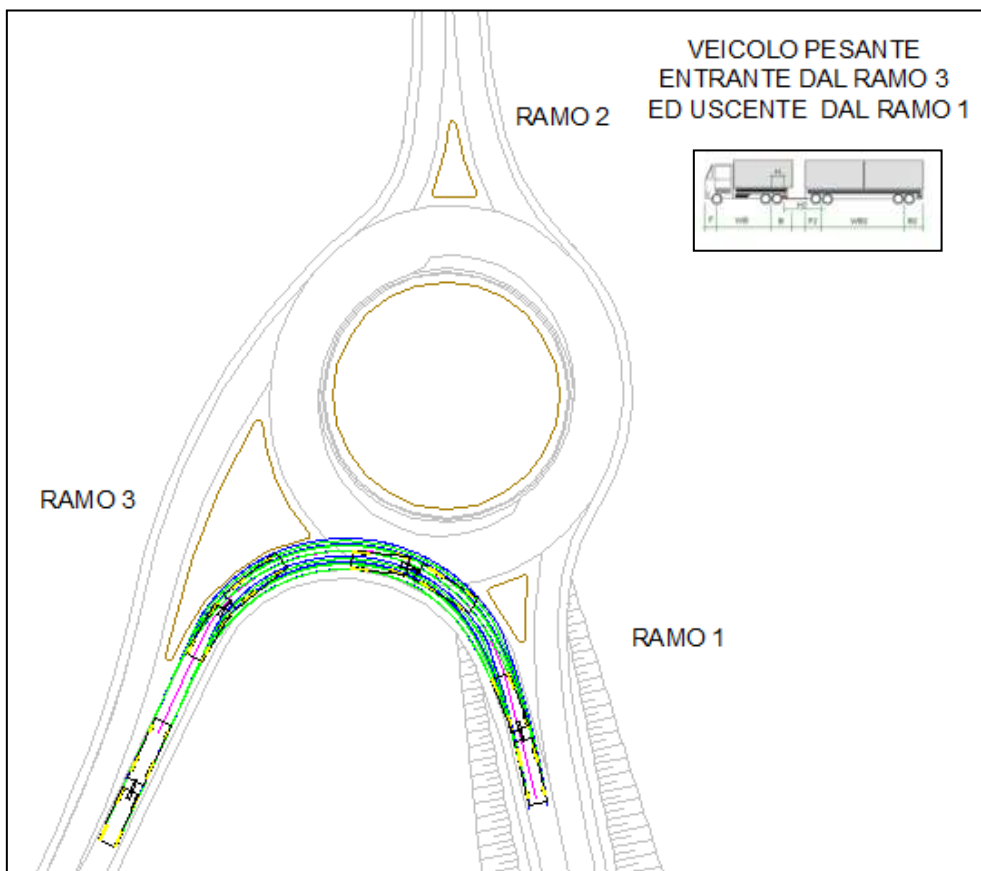
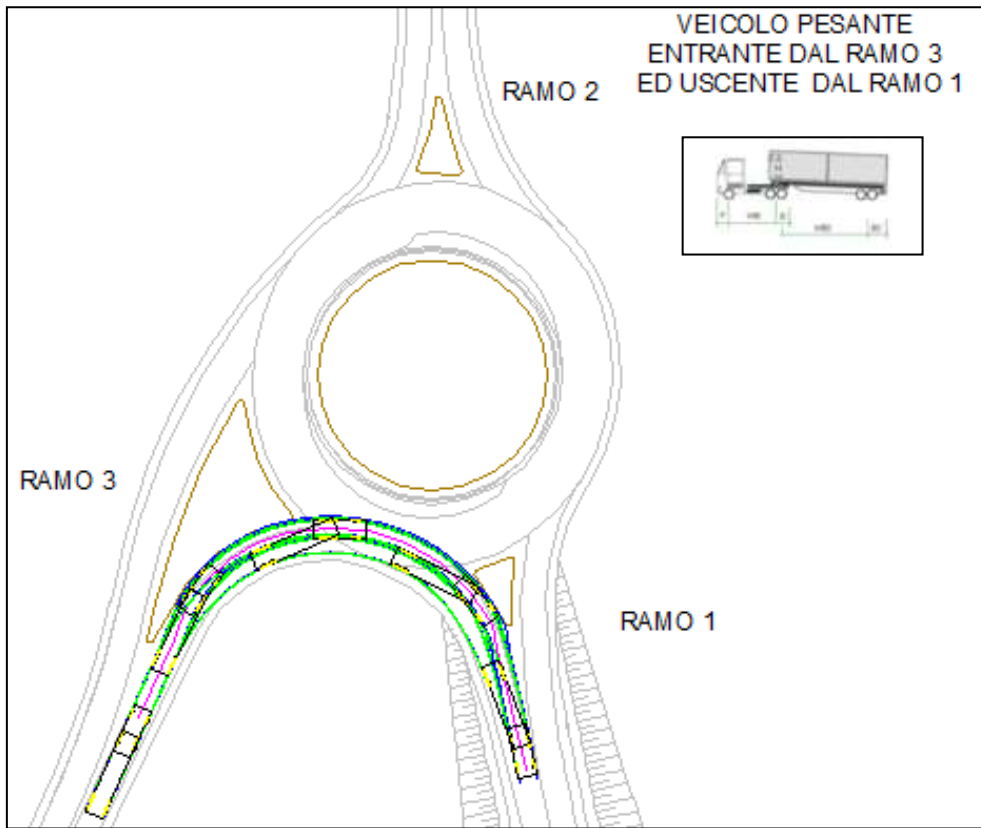


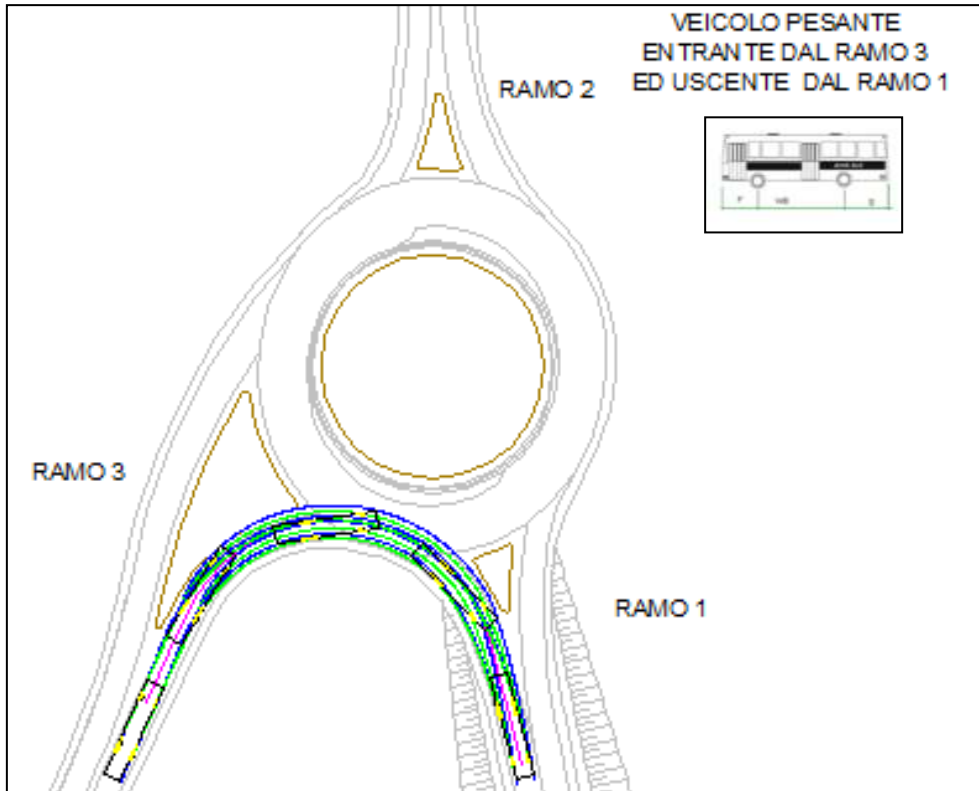


La seconda proposta vede la realizzazione di una rotatoria composta da una geometria a forma di ellisse dell'anello centrale e questo permette di risolvere il problema di svolta tra il ramo 3 ed il ramo 1. Sono stati eseguiti anche delle modifiche alla geometria degli altri rami in conformità alla normativa vigente e sono state riportate le relative dimensioni geometriche.

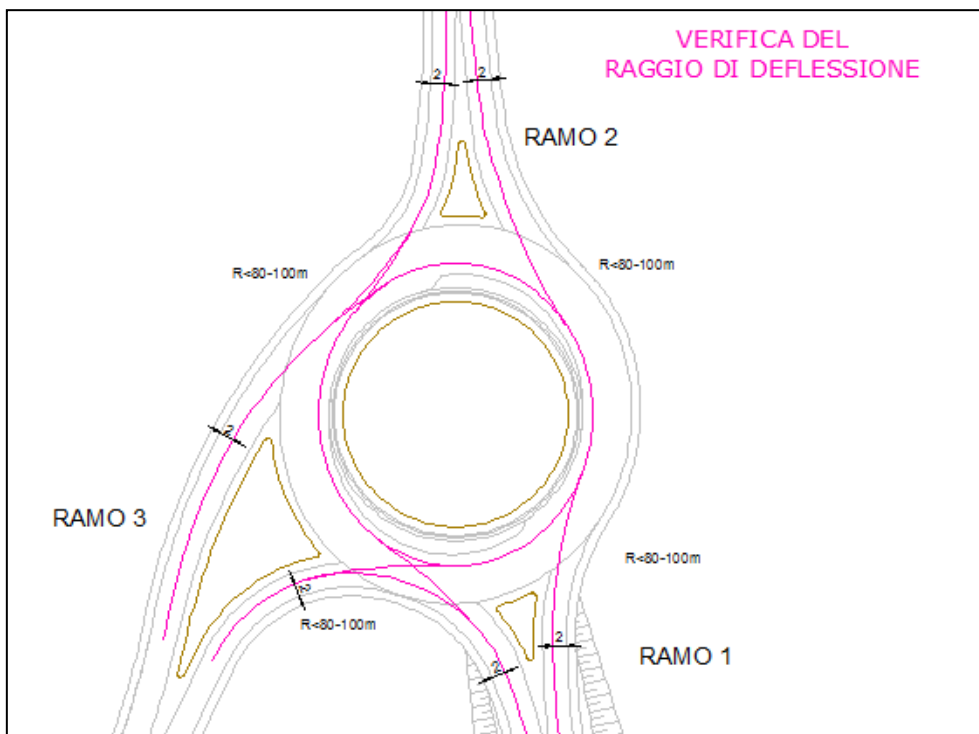


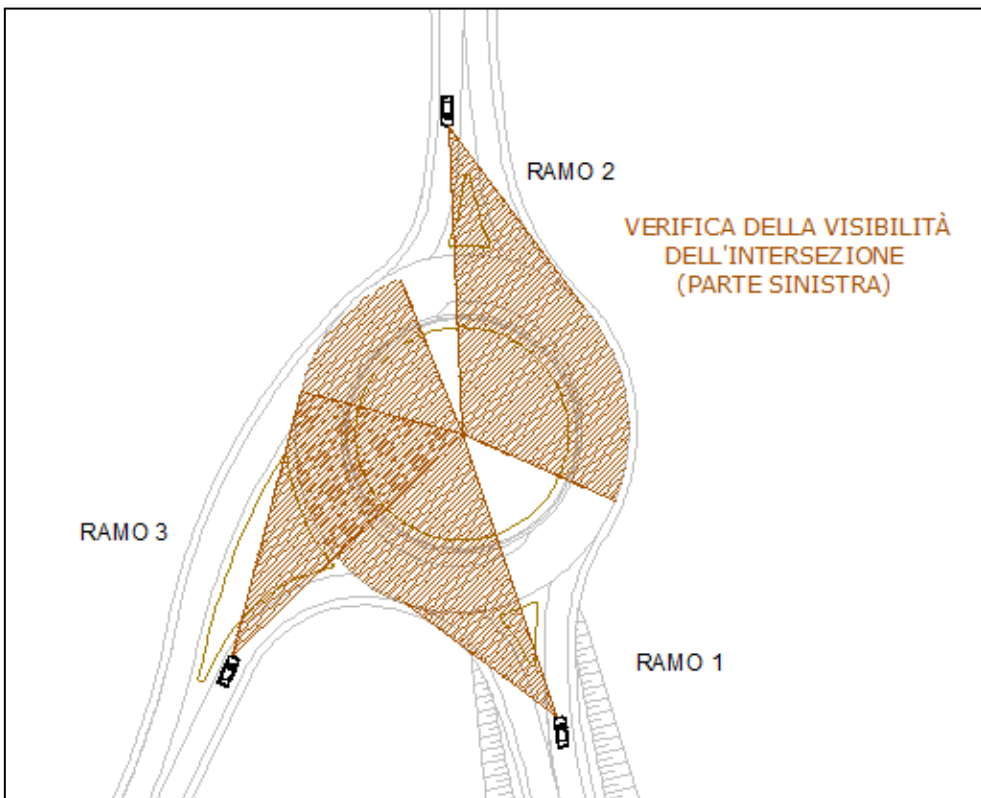
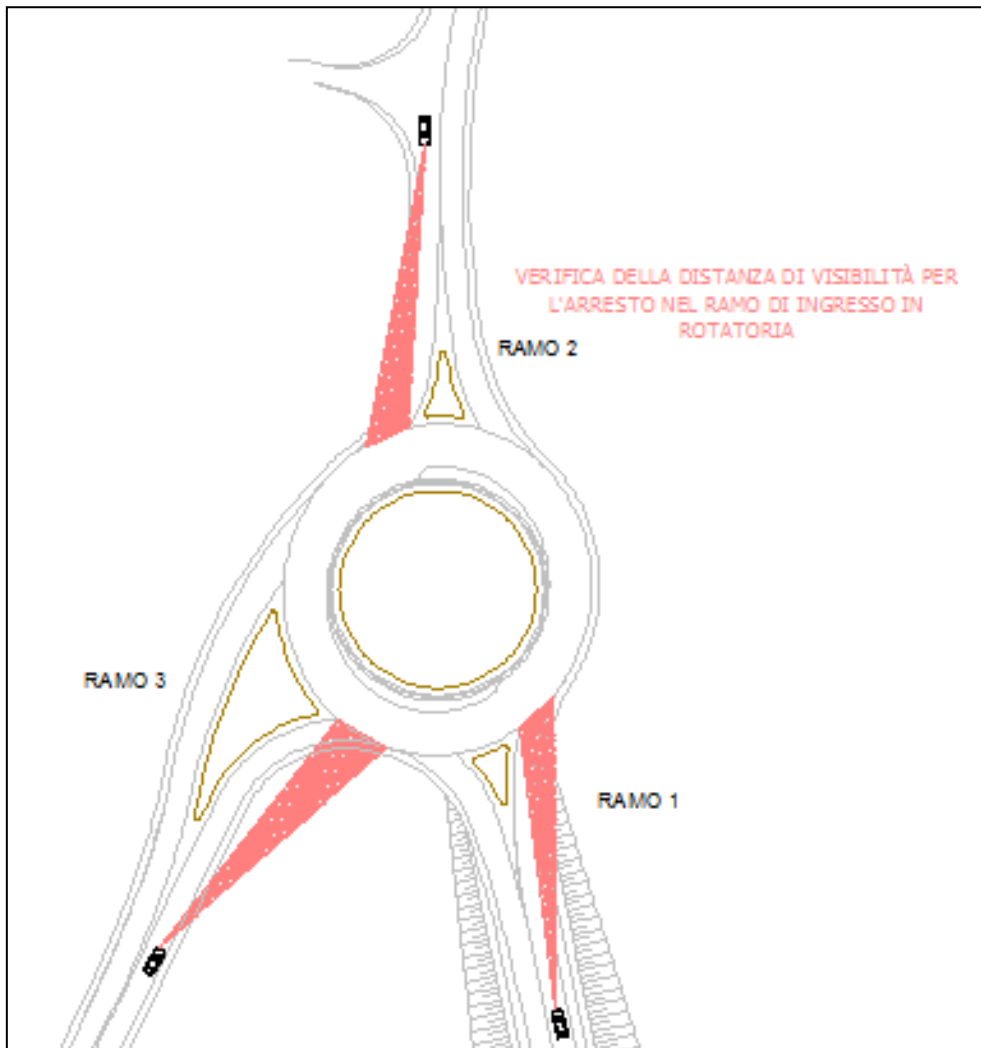
Anche con questa geometria i mezzi pesanti riescono a svoltare senza fuoriuscire dalla carreggiata come è possibile vedere nelle rappresentazioni seguenti.

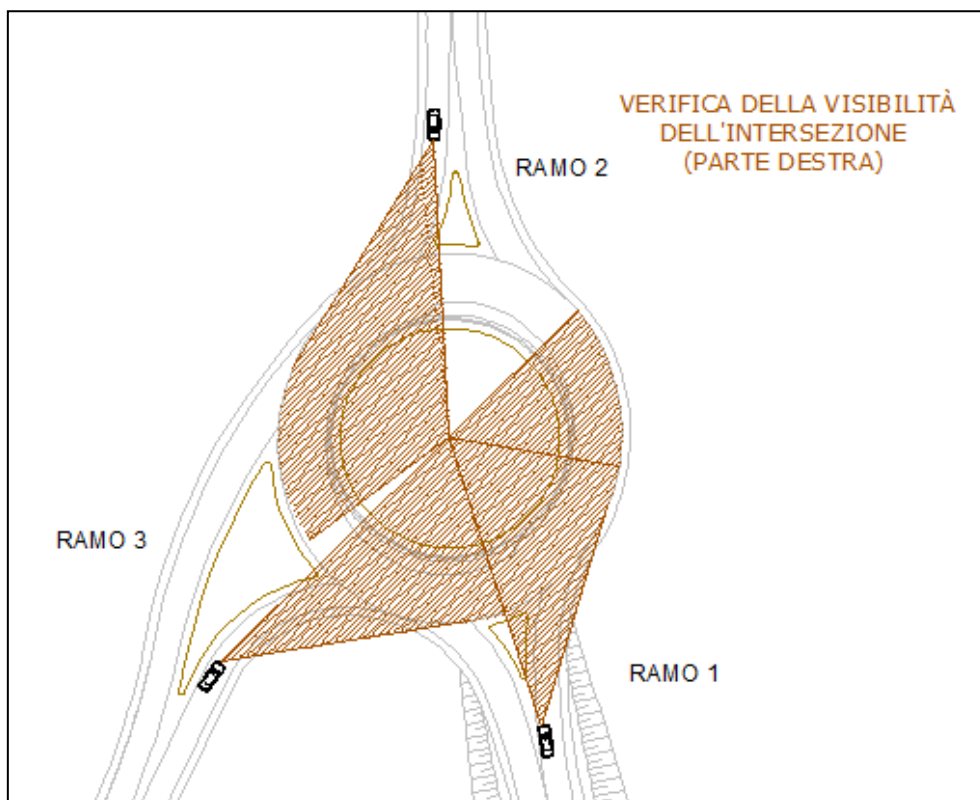




Di seguito si riportano le verifiche di interesse:



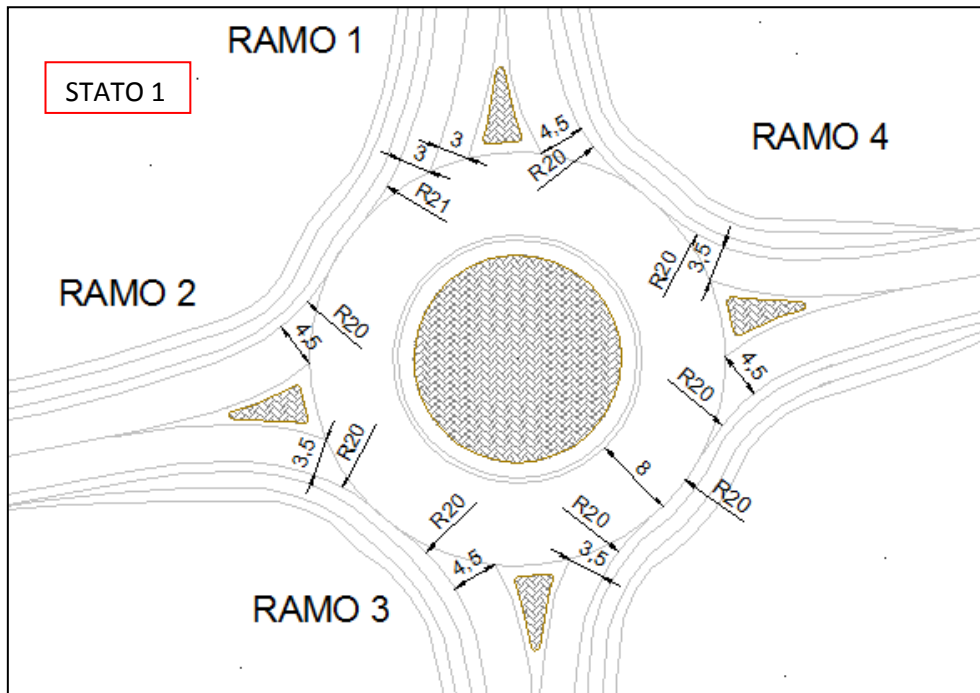




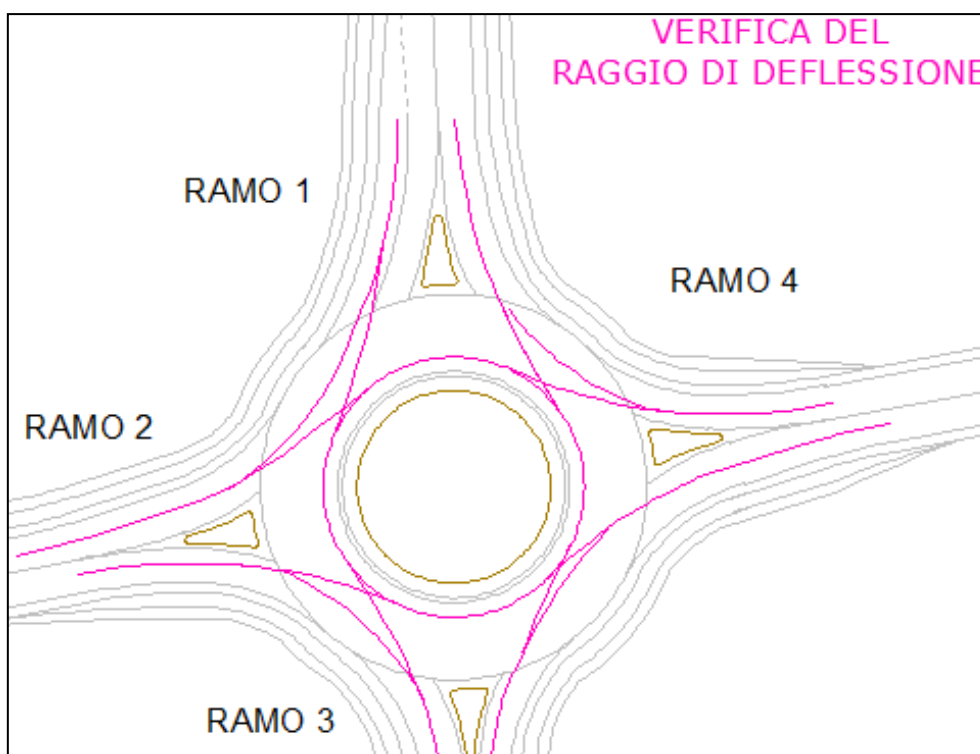
5.3. ASSE NORD-SUD ROTATORIA DI INNESTO CON LA SR 435-PROBLEMA FUNZIONALE

Analizzando questa intersezione i valori di capacità del ramo 1 non erano soddisfatti, quindi sono state studiate due possibili soluzioni (nominate con stato 1 e stato 2).

La prima soluzione vede la realizzazione di una doppia corsia di ingresso del ramo 1, senza andare ad invadere altro terreno limitrofo già previsto dallo stato 0. Di seguito viene riportata la geometria di questa intersezione ed i valori di capacità ottenuti con questa nuova soluzione.

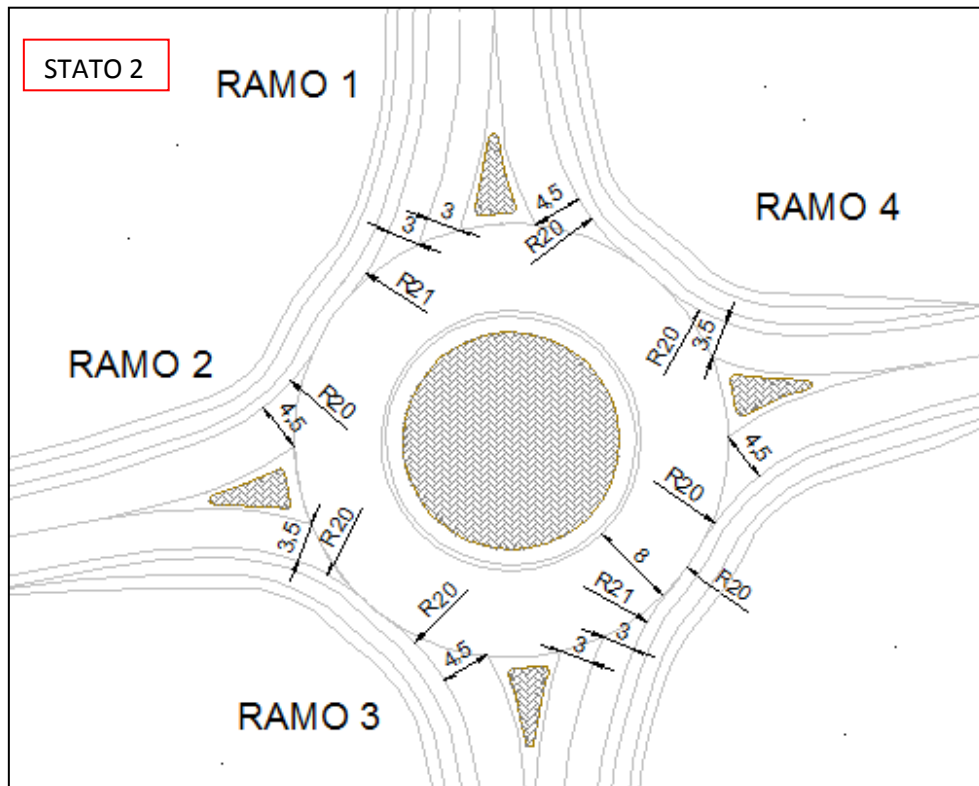


Di seguito vengono riportate le verifiche di interesse

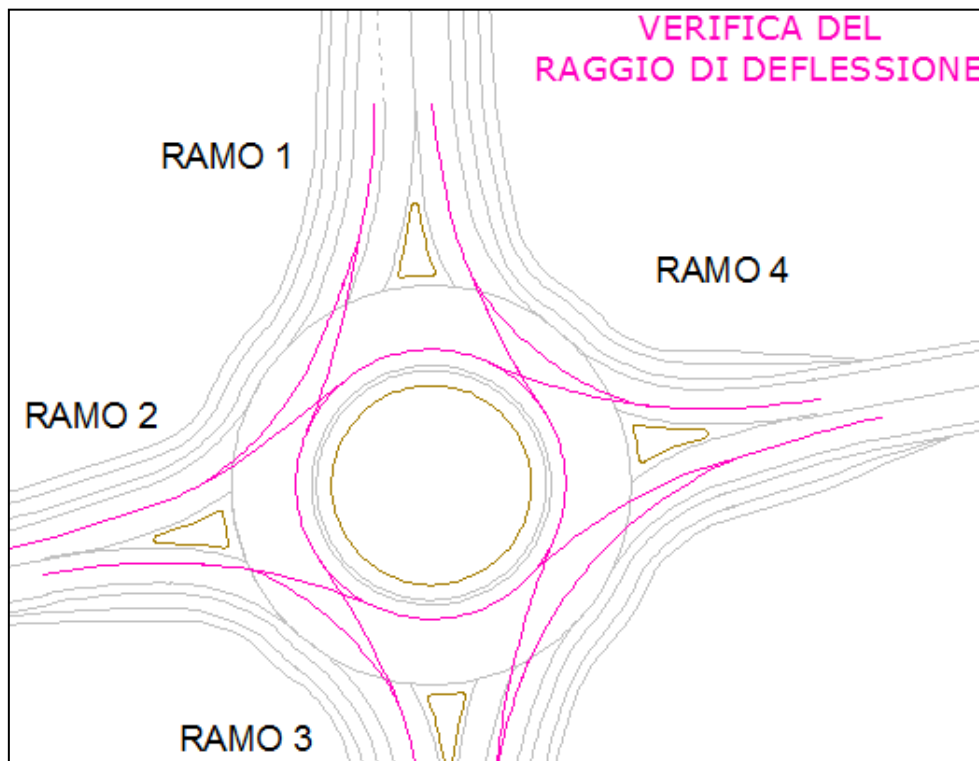


Intersezione	Data analisi				Fascia oraria di analisi				Periodo di analisi							
N.2A- Rotatoria di innesto con la SR435 (modificata)	8/02/2018				Ora di punta mattutina- giorno feriale				15 min.							
Caratteristiche dell'intersezione																
Ramo in entrata	Ovest				Est				Sud				Nord			
Numero corsie	1				1				1				2			
Manovre	U	Sx	Att.	Dx	U	Sx	Att.	Dx	U	Sx	Att.	Dx	U	Sx	Att.	Dx
Portata [pc/h]	0	176	245	123	0	130	414	186	0	275	124	172	0	229	115	366
% Veicoli pesanti	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
By-pass per svolta a destra	No				No				No				No			
Corsie in conflitto	1				1				1				1			
Pedoni in attraversamento [p/s]	0				0				0				0			
Intervallo critico e follow-up headway																
Ramo in entrata	Ovest				Est				Sud				Nord			
Corsia	Sx	Dx	By-pass	Sx	Dx	By-pass	Sx	Dx	By-pass	Sx	Dx	By-pass	Sx	Dx	By-pass	
Intervallo critico [s]		3.83			3.83			3.83			3.85	3.64				
Follow-up headway [s]		2.64			2.64			2.64			2.59	2.63				
Stima dei flussi, della capacità e dell'indice di saturazione																
Ramo in entrata	Ovest				Est				Sud				Nord			
Corsia	Sx	Dx	By-pass	Sx	Dx	By-pass	Sx	Dx	By-pass	Sx	Dx	By-pass	Sx	Dx	By-pass	
Portata [pc/h]	544		/	730		/	571		/	344		366	/			
Flusso circolante [pc/h]	474				575				650				819			
Flusso uscente	646				1055				486				368			
Capacità [pc/h]	980		/	913		/	869		/	777		807	/			
Indice di saturazione x	0.56		/	0.80		/	0.66		/	0.44		0.45	/			
Tempo di attesa e livello di servizio LoS																
Ramo in entrata	Ovest				Est				Sud				Nord			
Corsia	Sx	Dx	By-pass	Sx	Dx	By-pass	Sx	Dx	By-pass	Sx	Dx	By-pass	Sx	Dx	By-pass	
Attesa in corsia [s/veic]	10.9		/	21.6		/	15.0		/	10.5		10.4	/			
LoS corsia	B		/	C		/	B		/	B		B	/			
95% coda [veic]	3.5		/	8.7		/	5.1		/	2.3		2.4	/			
Attesa al ramo [s/veic]	10.9				21.6				15.0				10.4			
LoS ramo	B				C				B				B			
Attesa nell'intersezione [s/veic]/LoS	14.7								B							

La seconda soluzione vede la realizzazione di una geometria simmetrica per il ramo nord-sud, ovvero per il ramo 1 e per il ramo 3. Analizzando questa intersezione i valori di capacità per i rami oggetto di studio sono migliorati rispetto a quelli allo stato 0. Di seguito viene riportata la geometria di questa intersezione ed i valori di capacità ottenuti con questa nuova soluzione.



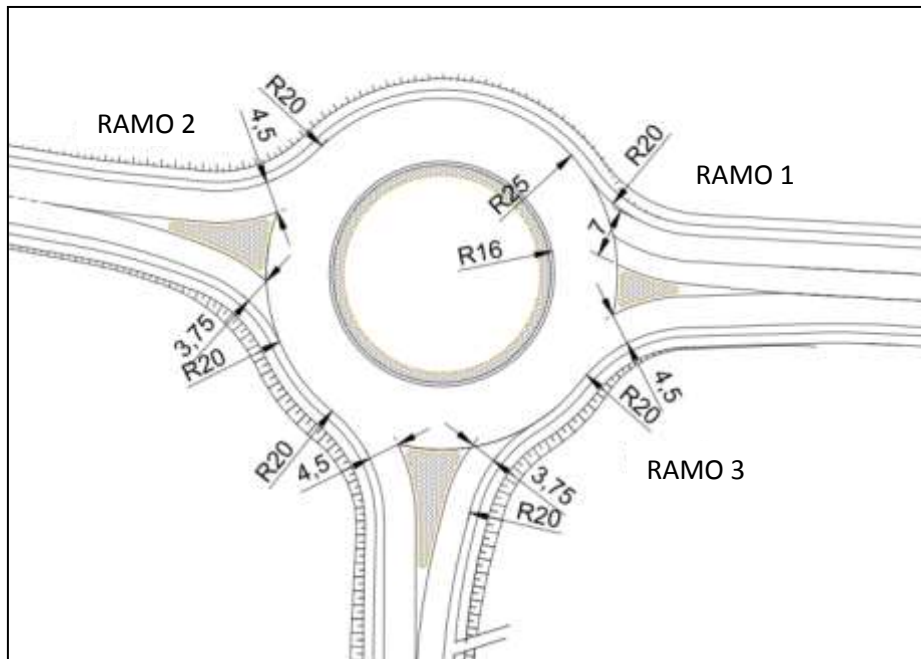
Di seguito vengono riportate le verifiche di interesse



Intersezione	Data analisi				Fascia oraria di analisi				Periodo di analisi							
N.2B- Rotatoria di innesto con la SR435 (modificata- due entrate)	8/02/2018				Ora di punta mattutina- giorno feriale				15 min.							
Caratteristiche dell'intersezione																
Ramo in entrata	Ovest				Est				Sud				Nord			
Numero corsie	1				1				2				2			
Manovre	U	Sx	Att.	Dx	U	Sx	Att.	Dx	U	Sx	Att.	Dx	U	Sx	Att.	Dx
Portata [pc/h]	0	176	245	123	0	130	414	186	0	275	124	172	0	229	115	366
% Veicoli pesanti	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
By-pass per svolta a destra	No				No				No				No			
Corsie in conflitto	1				1				1				1			
Pedoni in attraversamento [p/s]	0				0				0				0			
Intervallo critico e follow-up headway																
Ramo in entrata	Ovest				Est				Sud				Nord			
Corsia	Sx	Dx	By-pass	Sx	Dx	By-pass	Sx	Dx	By-pass	Sx	Dx	By-pass	Sx	Dx	By-pass	
Intervallo critico [s]	3.83				3.83				3.85				3.85			
Follow-up headway [s]	2.64				2.64				2.59				2.63			
Stima dei flussi, della capacità e dell'indice di saturazione																
Ramo in entrata	Ovest				Est				Sud				Nord			
Corsia	Sx	Dx	By-pass	Sx	Dx	By-pass	Sx	Dx	By-pass	Sx	Dx	By-pass	Sx	Dx	By-pass	
Portata [pc/h]	544			/	730			/	268	303	/	344	366	/		
Flusso circolante [pc/h]	474				575				650				819			
Flusso uscente	646				1055				486				368			
Capacità [pc/h]	980			/	913			/	876	900	/	777	807	/		
Indice di saturazione x	0.56			/	0.80			/	0.31	0.34	/	0.44	0.45	/		
Tempo di attesa e livello di servizio LoS																
Ramo in entrata	Ovest				Est				Sud				Nord			
Corsia	Sx	Dx	By-pass	Sx	Dx	By-pass	Sx	Dx	By-pass	Sx	Dx	By-pass	Sx	Dx	By-pass	
Attesa in corsia [s/veic]	10.9			/	21.6			/	7.4	7.7	/	10.5	10.4	/		
LoS corsia	B			/	C			/	A	A	/	B	B	/		
95% coda [veic]	3.5			/	8.7			/	1.3	1.5	/	2.3	2.4	/		
Attesa al ramo [s/veic]	10.9				21.6				7.6				10.4			
LoS ramo	B				C				A				B			
Attesa nell'intersezione [s/veic]/LoS	13.1								B							

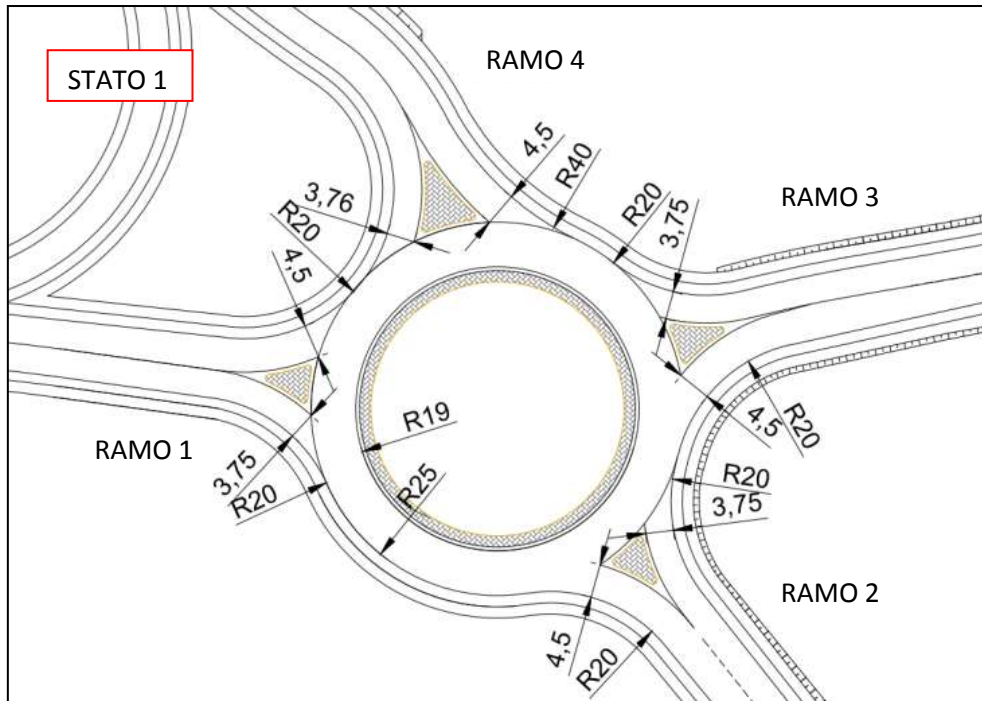
5.4. ASSE NORD-SUD INTERSEZIONE DI ANTRACCOLI-LATO OVEST- ADEGUAMENTO FUNZIONALE

L'intersezione di Antraccoli - lato Ovest non presenta particolari problemi di carattere funzionale, sebbene le corsie di uscita e la corsia nell'anello abbiano dimensioni inferiori ai minimi imposti dalla normativa. Si propone in figura un adeguamento delle larghezze delle corsie ed un incremento dei raggi di uscita ed entrata per ottenere un raggio minimo di 20 metri.

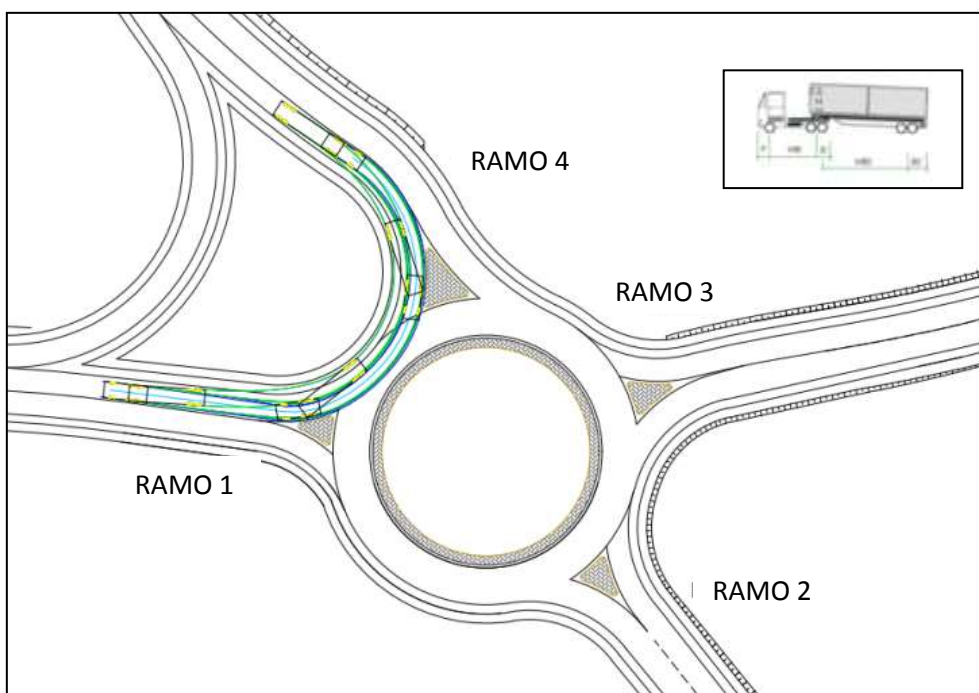


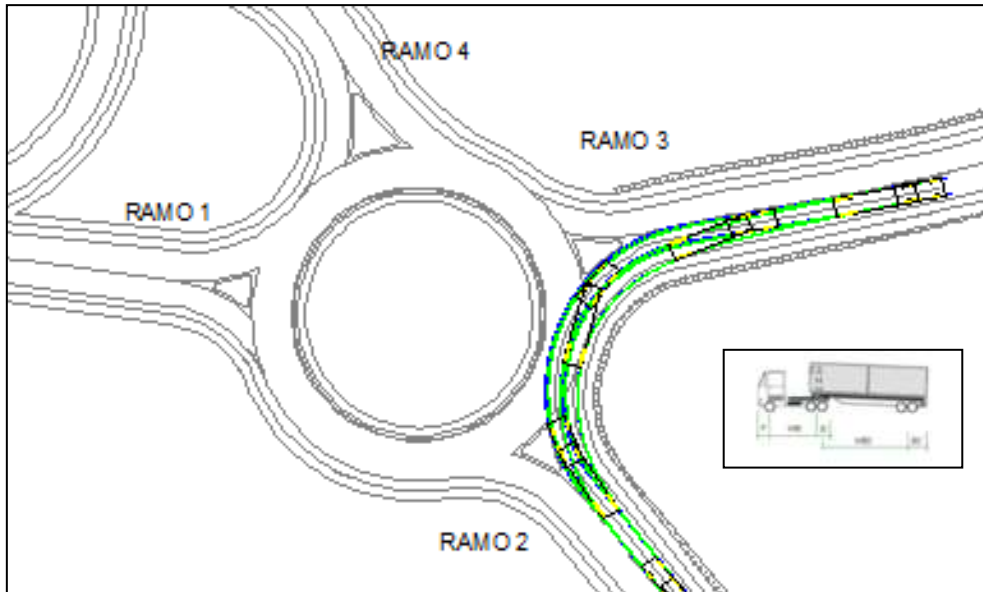
5.5. ASSE NORD-SUD INTERSEZIONE DI ANTRACCOLI-LATO EST-PROBLEMA FUNZIONALE

L'intersezione di Antraccoli - lato Est presenta un problema di impossibilità per un autoarticolato proveniente dal ramo 4 di svoltare direttamente al ramo 1, a causa del raggio ridotto del raccordo. La soluzione proposta prevede un incremento dell'angolo di incidenza del ramo 4, con conseguente spostamento del ramo stesso di circa quattro metri dalla posizione originaria.

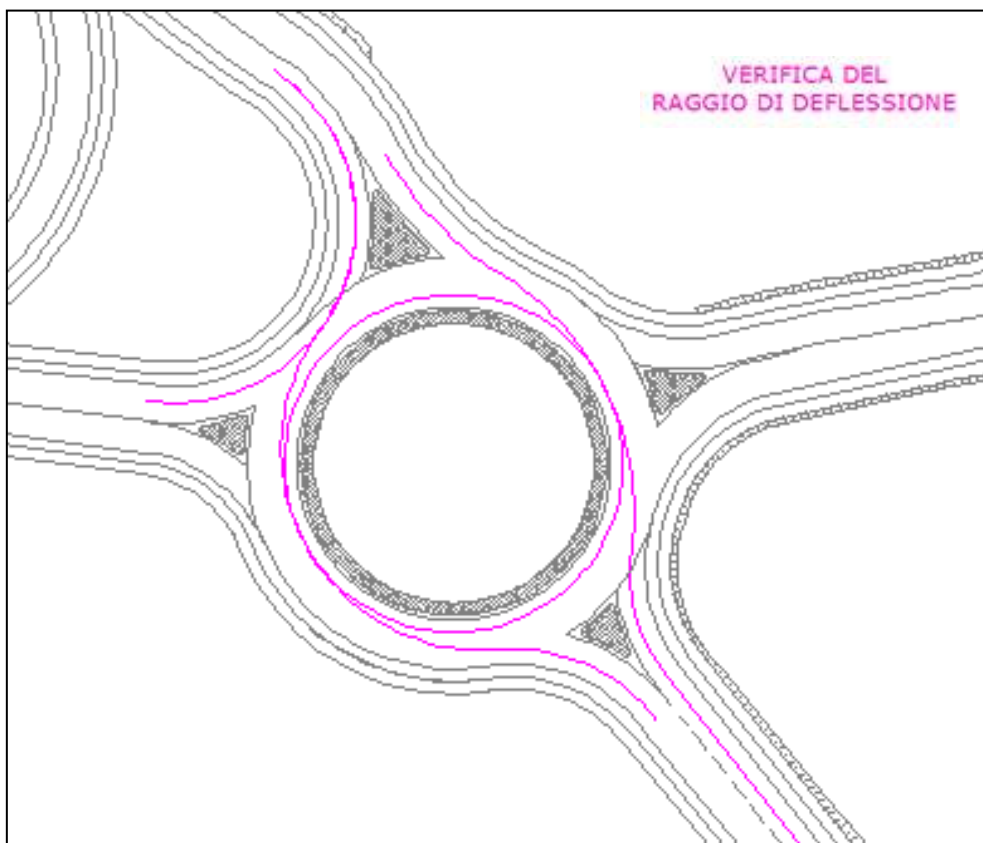


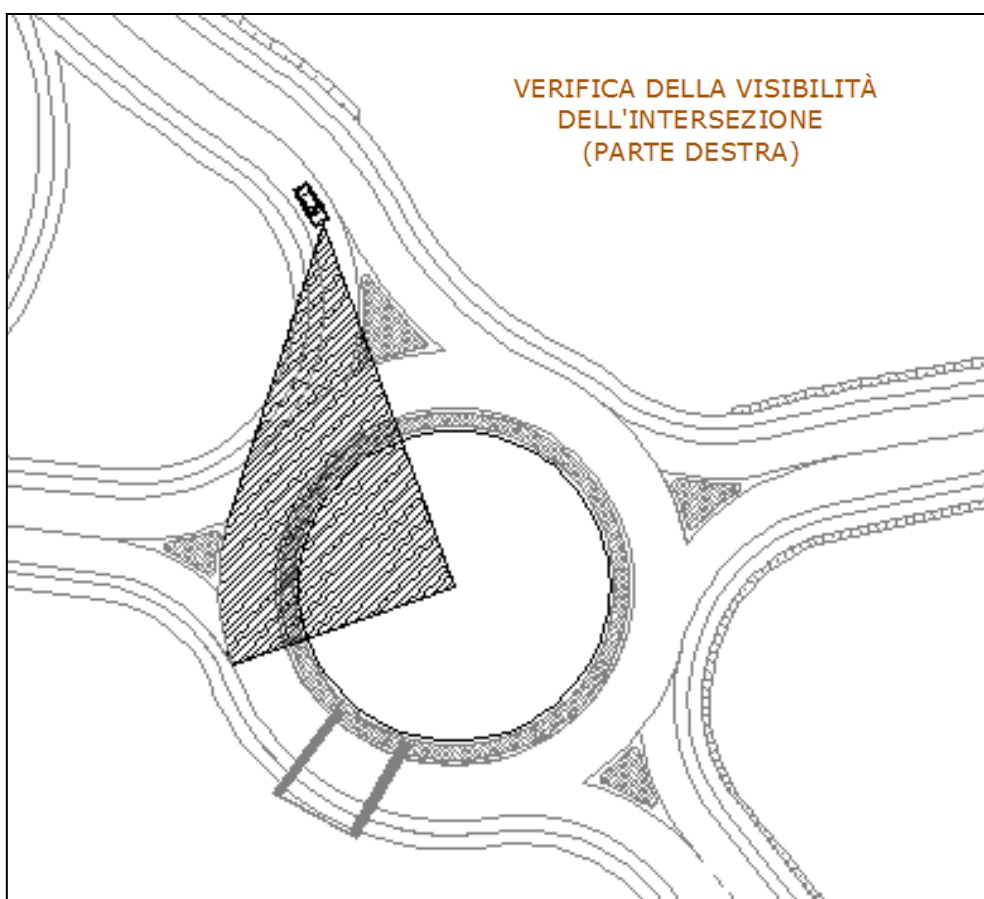
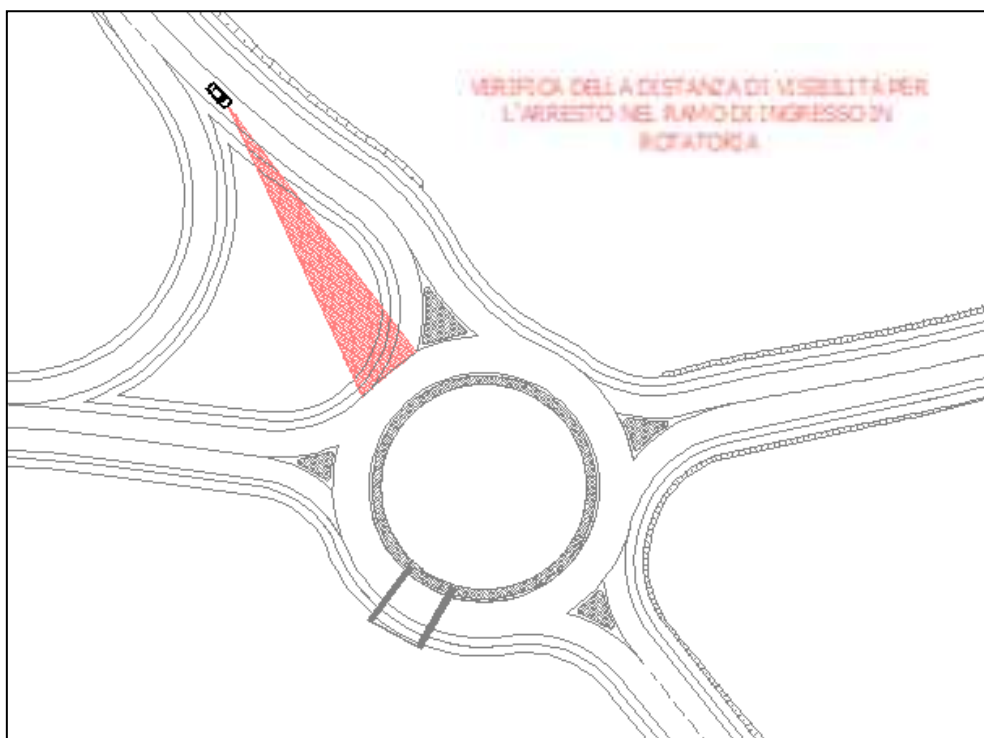
Con la nuova geometria proposta, la manovra di un autoarticolato diventa possibile.

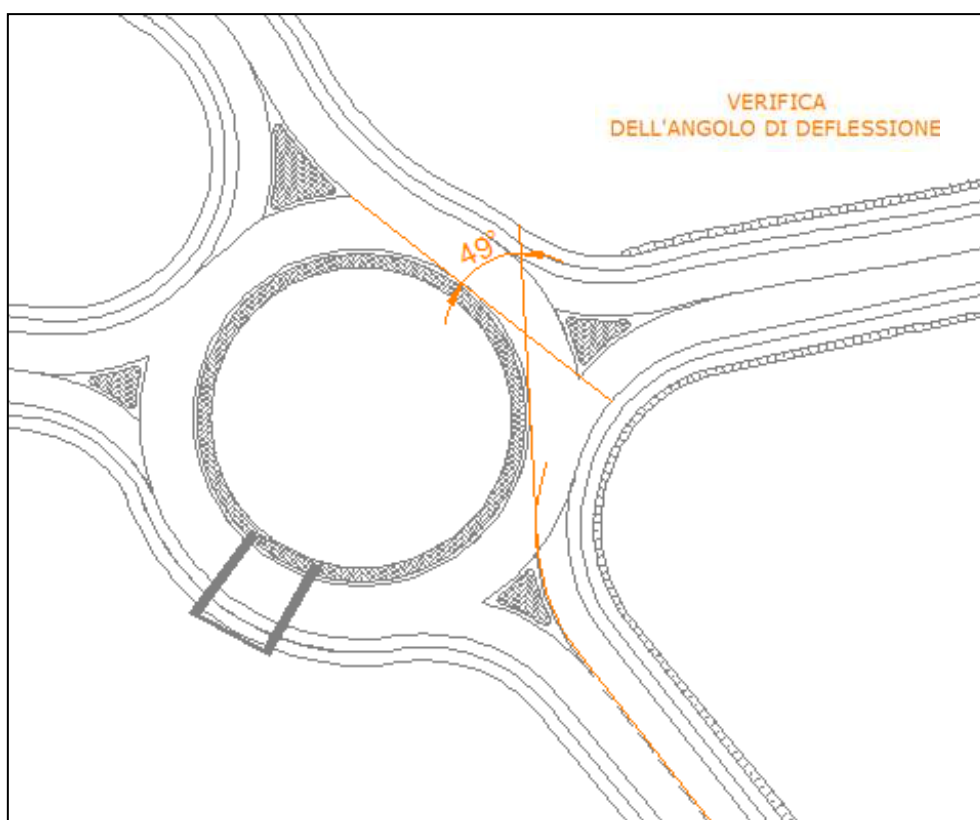




Di seguito vengono riportate le verifiche di interesse:

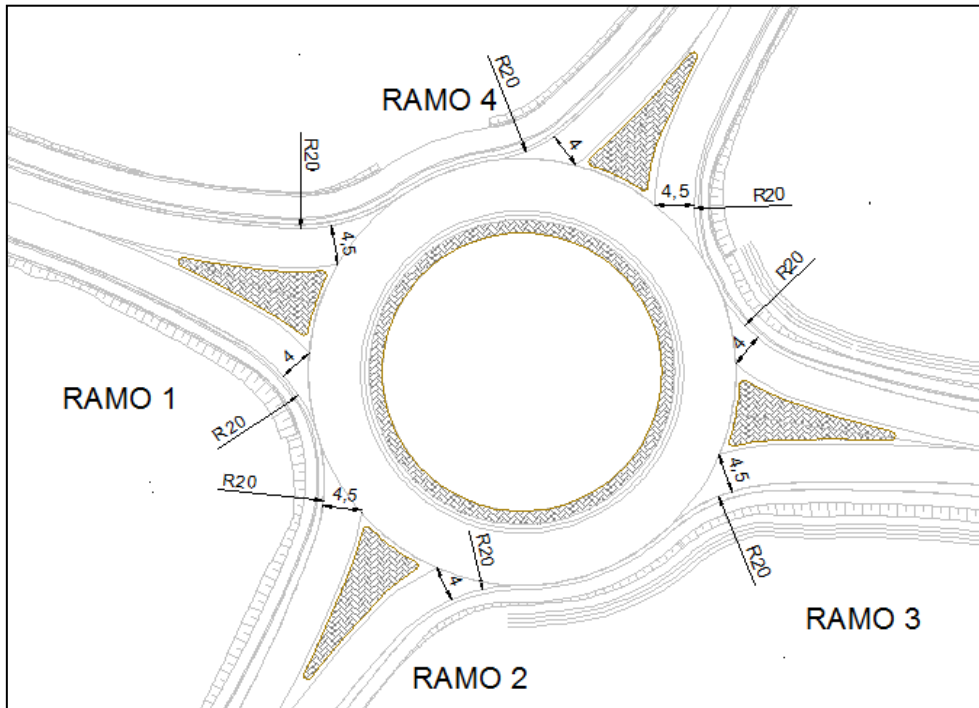






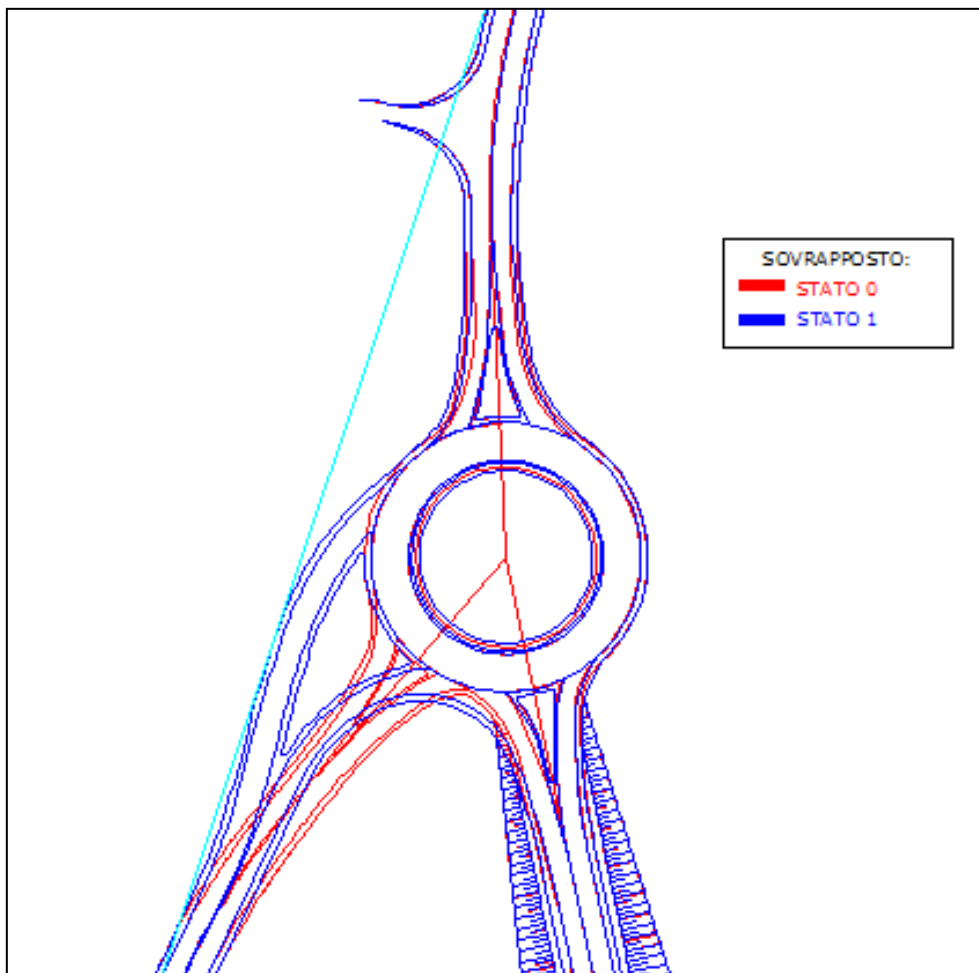
5.6 ASSE NORD-SUD INTERSEZIONE ROTATORIA SAN LUCA

L'intersezione in prossimità dell'Ospedale San Luca non presenta particolari problemi di carattere funzionale, sebbene le corsie di uscita e la corsia nell'anello abbiano dimensioni inferiori ai minimi imposti dalla normativa. Si propone in figura un adeguamento delle larghezze delle corsie ed un incremento dei raggi di uscita ed entrata per ottenere un raggio minimo di 20 metri.

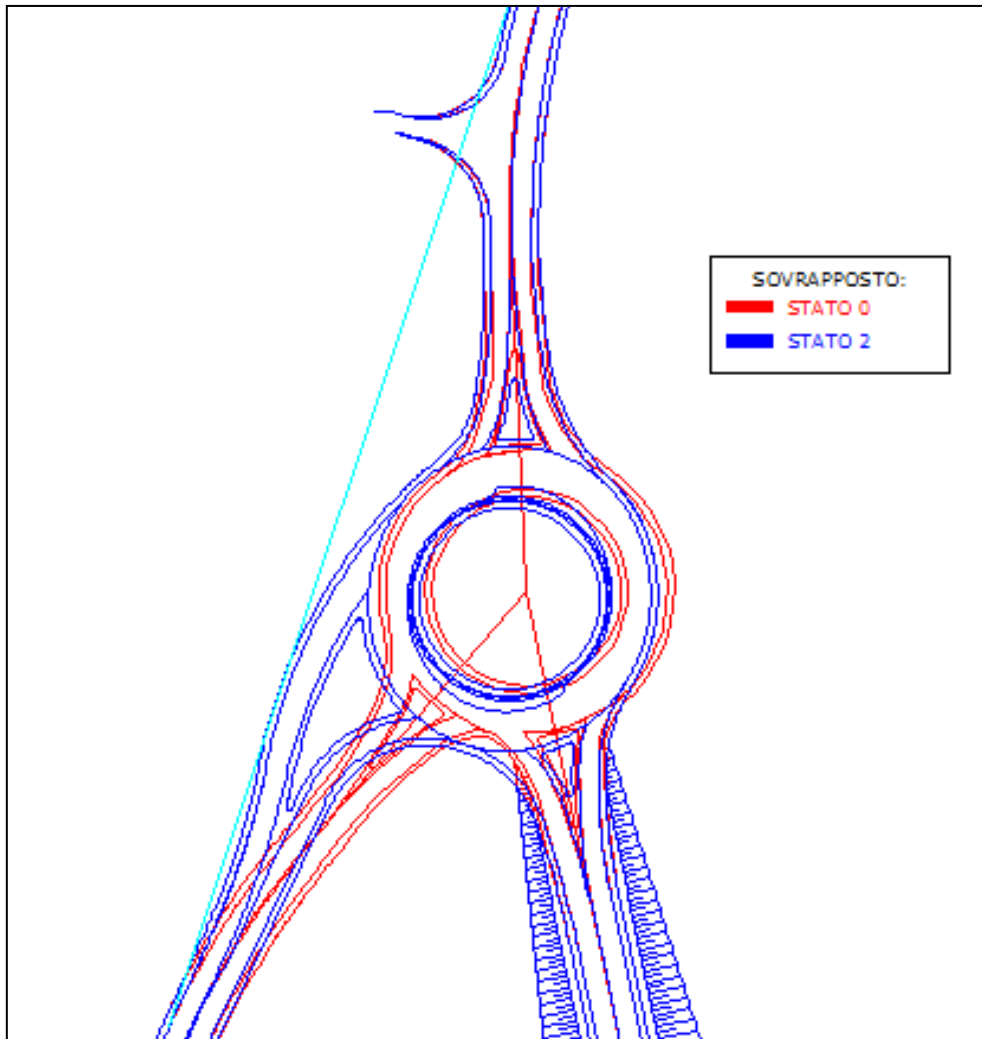


5.7 SOVRAPPOSTO

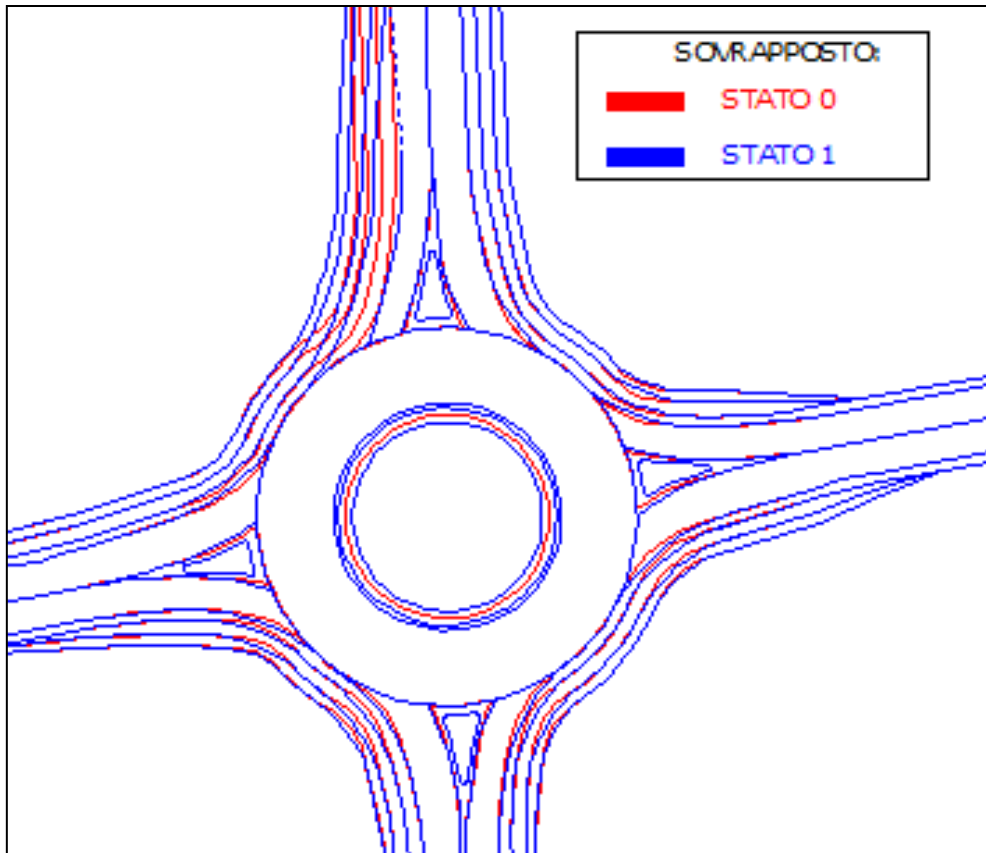
Intersezione ASSE NORD-SUD. ROTATORIA DI INNESTO CON LA SS12 (STATO 0-STATO 1) con la linea di delimitazione argine.



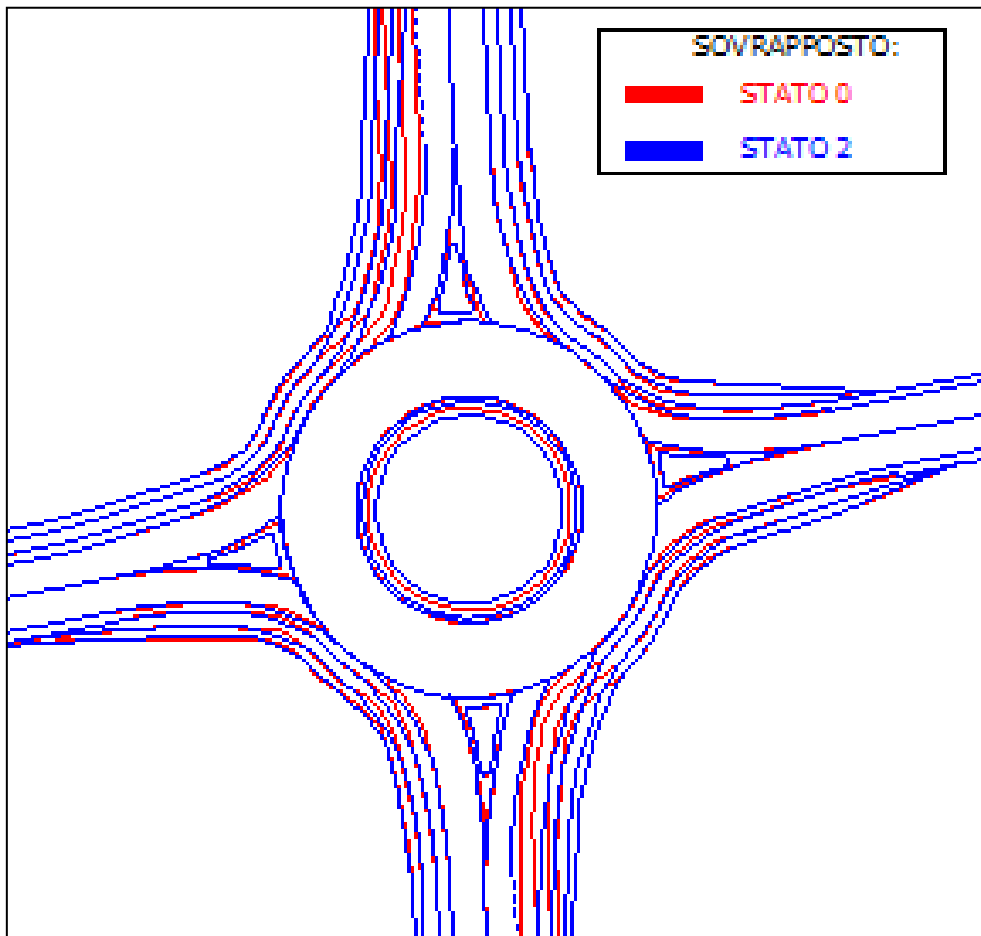
Intersezione ASSE NORD-SUD. ROTATORIA DI INNESTO CON LA SS12 (STATO 0-STATO 2) con la linea di delimitazione argine.



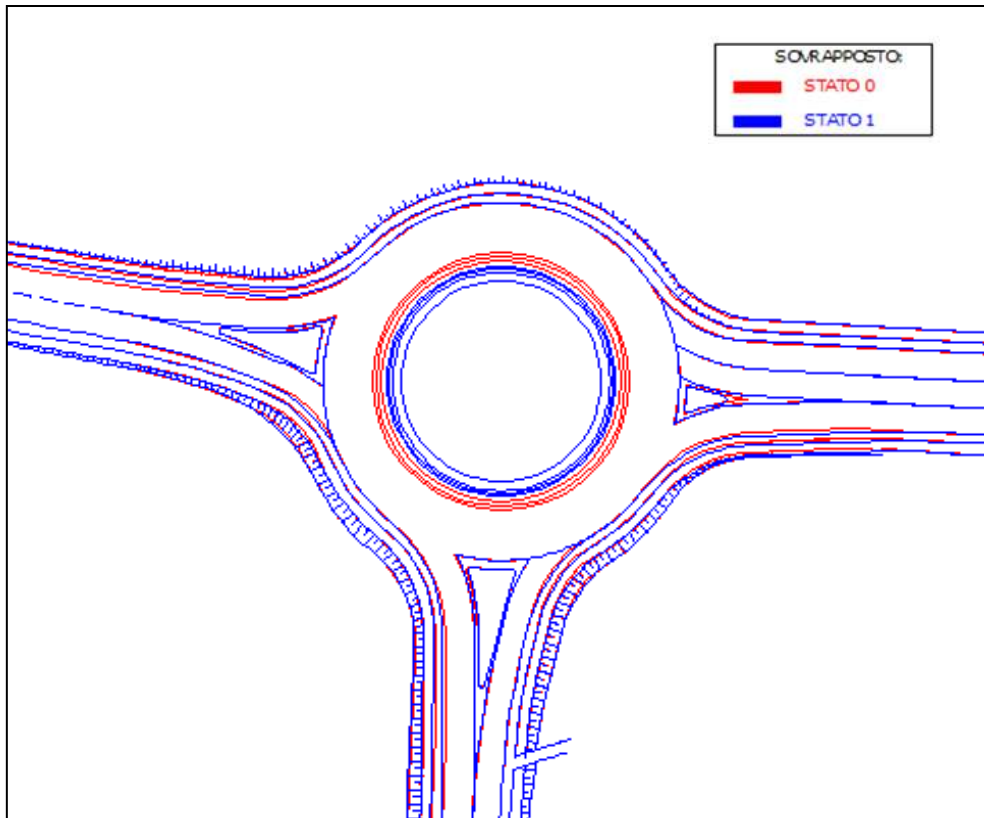
Intersezione ASSE NORD-SUD. ROTATORIA DI INNESTO CON LA SR 435 (STATO 0-STATO 1).



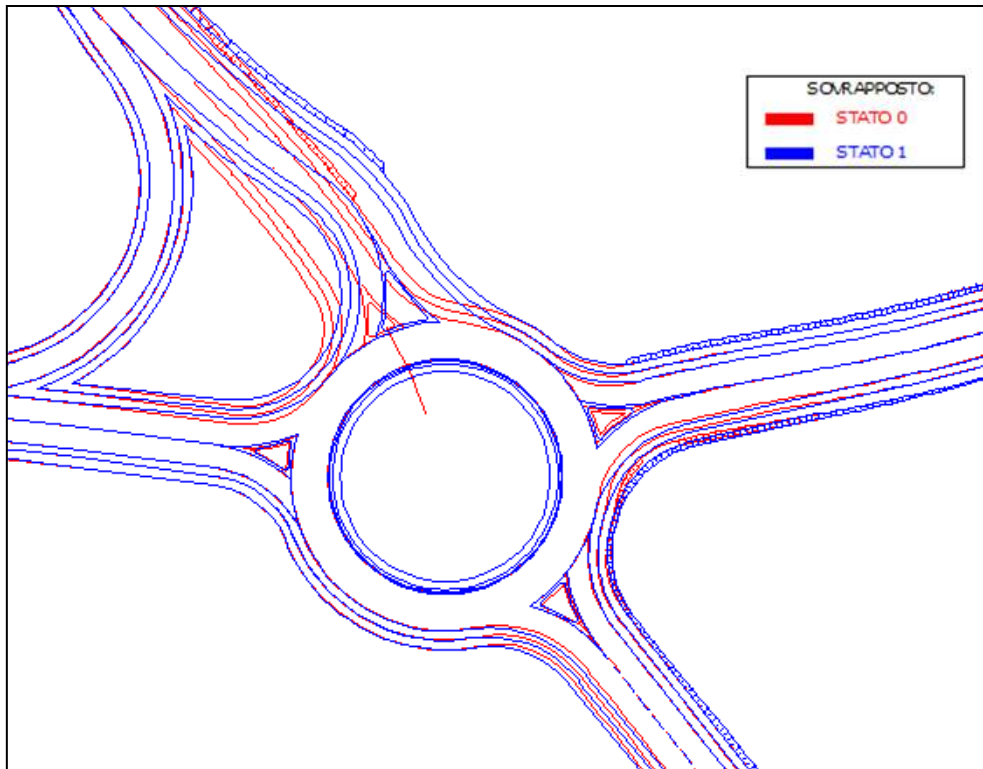
Intersezione ASSE NORD-SUD. ROTATORIA DI INNESTO CON LA SR 435 (STATO 0-STATO 2).



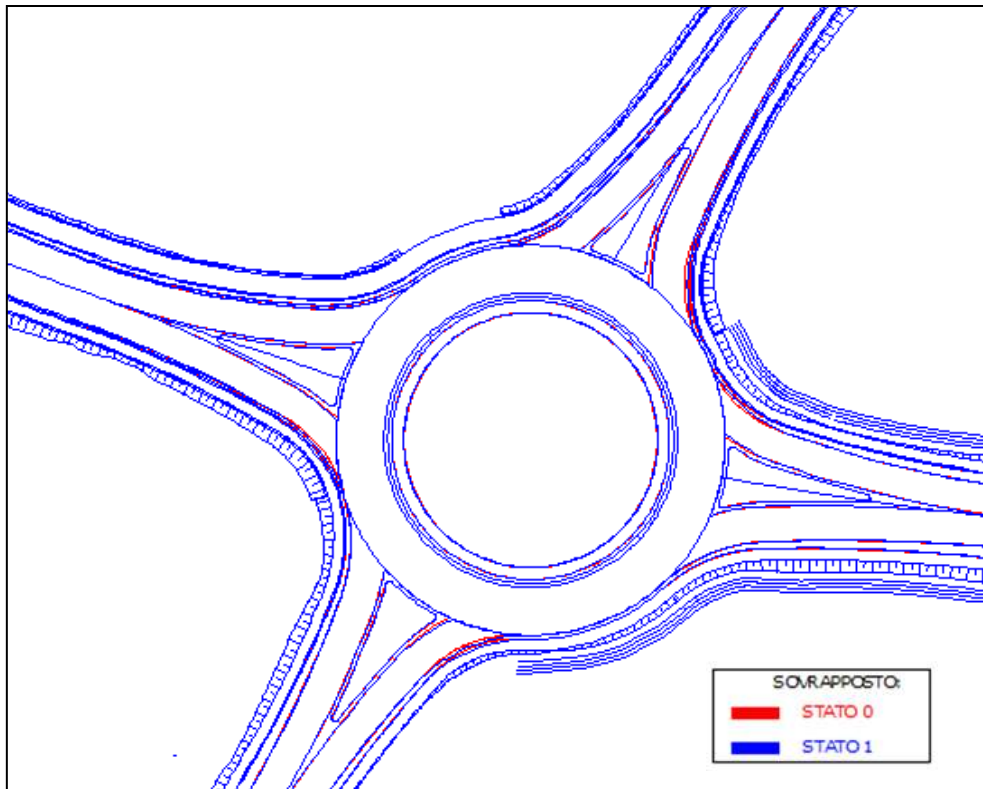
Intersezione ASSE NORD-SUD INTERSEZIONE DI ANTRACCOLI-LATO OVEST (STATO 0-STATO 1).



Intersezione ASSE NORD-SUD INTERSEZIONE DI ANTRACCOLI-LATO EST (STATO 0-STATO 1).



Intersezione ASSE NORD-SUD INTERSEZIONE ROTATORIA SAN LUCA (STATO 0-STATO 1).



Pisa, 18/05/2018

... - + ° * ° + - ...