



AUTOSTRADA REGIONALE CISPADANA DAL CASELLO DI REGGIOLO-ROLO SULLA A22 AL CASELLO DI FERRARA SUD SULLA A13

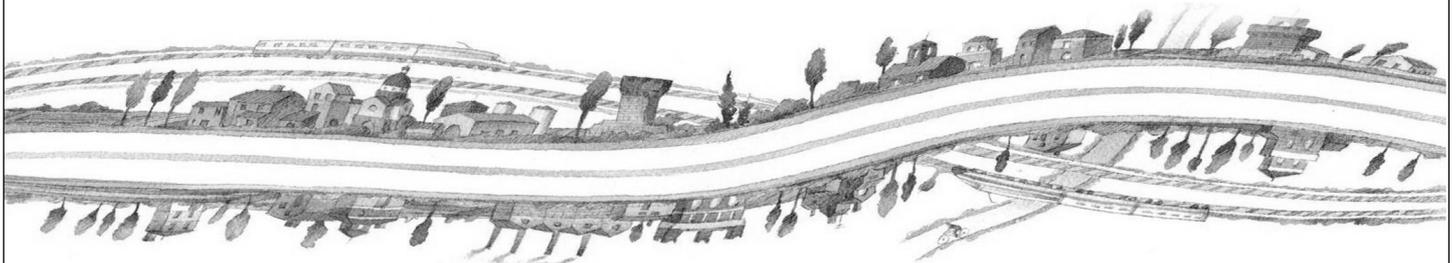
CODICE C.U.P. E81B08000060009

PROGETTO DEFINITIVO

**VIABILITA' DI ADDUZIONE AL SISTEMA AUTOSTRADALE D03 (ex 2RE)
Cispadana tra la SP n° 2 "Reggiolo-Gonzaga" e la ex SS n° 62 "della Cisa"
PROGETTAZIONE STRADALE**

ASSE STRADALE

RELAZIONE TECNICA SUL PROGETTO STRADALE



IL PROGETTISTA

Alpina S.p.A.
Dott. Ing. Marco Bonfanti
Ordine Ingegneri di Milano
n. A/23384

RESPONSABILE INTEGRAZIONE
PRESTAZIONI SPECIALISTICHE

Ing. Emilio Salsi
Albo Ing. Reggio-Emilia n° 945



IL CONCESSIONARIO

Autostrada Regionale
Cispadana S.p.A.
IL PRESIDENTE
Graziano Pattuzzi

G. Pattuzzi

G										
F										
E										
D										
C										
B										
A	17.04.2012	EMISSIONE				ing. Gardani	ing. Bonfanti	ing. Salsi		
REV.	DATA	DESCRIZIONE				REDAZIONE	CONTROLLO	APPROVAZIONE		
IDENTIFICAZIONE ELABORATO										DATA: MAGGIO 2012
NUM. PROGR.	FASE	LOTTO	GRUPPO	CODICE OPERA WBS	TRATTO OPERA	AMBITO	TIPO ELABORATO	PROGRESSIVO	REV.	SCALA: 1:250
5059	PD	0	D03	DCS03	0	SD	RT	01	A	

INDICE

1. PREMESSA.....	3
2. DESCRIZIONE DEL PROGETTO STRADALE.....	5
2.1 Piattaforma stradale e sezioni tipo	7
2.2 Andamento planimetrico	11
2.3 Andamento altimetrico	12
3. PROGETTAZIONE ASSI STRADALI	15
3.1. Inquadramento Normativo	15
3.2. Criteri progettuali principali	15
3.2.1. Caratteristiche planimetriche	15
3.2.2. Caratteristiche altimetriche	19
3.2.3. Analisi di visibilità	21
3.2.4. Rappresentazione dei risultati	24
3.3. Progettazione delle intersezioni a raso.....	24
3.3.1. Dimensionamento delle corsie nelle intersezioni a raso.....	24
3.3.2. Dimensionamento delle corsie specializzate	25
3.4. Progettazione delle intersezioni a rotatoria	28
3.4.1. Dimensionamento degli elementi modulari.....	28
3.3.1 Geometria della rotatoria e analisi di visibilità.....	30
3.3.2 Determinazione delle aree di visibilità	31
3.3.3 Determinazione del livello di servizio.....	32
4. RISULTATI DELLE VERIFICHE DI CONGRUENZA CON LE NORMATIVE DI RIFERIMENTO	36
4.1. Assi stradali	36
4.1.1. Andamento planimetrico	36
4.1.2. Andamento altimetrico.....	38
4.2. Intersezioni a raso	41



4.2.1.	Analisi delle caratteristiche geometriche delle intersezioni a raso.....	41
4.2.2.	Facilità di lettura delle intersezioni.....	42
4.2.3.	Analisi della visibilità delle intersezioni a raso	42
4.3.	Intersezioni a rotatoria	44
4.3.1.	Verifica delle caratteristiche geometriche per le rotatorie	44
4.3.2.	Analisi della Deflessione.....	47
4.3.3.	Analisi delle aree di visibilità.....	51
4.3.4.	Analisi del livello di servizio	54
4.3.5.	ALLEGATO LIVELLI DI SERVIZIO ROTATORIE.....	58

1. PREMESSA

Le viabilità di adduzione al sistema autostradale svolgono prevalentemente la funzione di raccordo diretto ai caselli autostradali in quanto costituiscono viabilità principali col compito di drenare il traffico verso l'Autostrada stessa. Tali opere, già presenti nella pianificazione sovraordinata e/o di settore, se realizzate contemporaneamente alla nuova Autostrada Regionale Cispadana, possono aumentare in modo significativo l'intera efficienza della rete, generando un sensibile miglioramento delle condizioni di mobilità di persone e merci all'interno del quadrante regionale interessato dalla nuova funzione autostradale.

Valutando la localizzazione delle suddette opere infrastrutturali è possibile cogliere la sinergia funzionale che esse potranno esprimere relazionandosi con la nuova Autostrada Regionale Cispadana.

Le Viabilità di adduzione previste suddivise per Provincie sono le seguenti:

- Viabilità di adduzione previste in Provincia di Parma
 - ❑ D01 (ex 1PR) - Riqualficazione della S.P. n° 72 "Parma-Mezzani" D01 (ex 1PR);
- Viabilità di adduzione previste in Provincia di Reggio Emilia
 - ❑ D02 (ex 1RE) - Variante alla SP n° 41 in corrispondenza del tracciato Cispadano - tratto tra SP n° 60 e Brescello);
 - ❑ D03 (ex 2RE) - Cispadana tra la S.P. n° 2 "Reggiolo - Gonzaga" e la ex S.S.n° 62 "della Cisa" D03.
- Viabilità di adduzione provincia di Ferrara
 - ❑ D04 – D05- D06 - D07 (ex 1FE) Raccordo Bondeno – Cento – Autostrada Cispadana.

Come detto sopra, le prime tre (Riqualficazione della S.P. n° 72 "Parma-Mezzani", Cispadana tra la S.P. n° 2 "Reggiolo - Gonzaga" e la ex S.S.n° 62 "della Cisa", Variante alla SP n° 41 in corrispondenza del tracciato Cispadano - tratto tra SP n° 60 e Brescello) ottenengono il significativo risultato di completare l'Asse Cispadano fino alla provincia di Parma, mettendo in diretto collegamento i territori di Parma – Reggio – Modena – Ferrara con il Mare Adriatico, oltre che portare grande beneficio sia all'Autostrada stessa in termini di traffico che ai predetti territori in termini di collegamento interprovinciale, anticipando alla fase di realizzazione dell'Autostrada stessa l'attuazione dell'atteso obiettivo del Piano Regionale Integrato dei Trasporti (PRIT), che individua in questo corridoio est-ovest uno degli elementi funzionali principali mancanti, per implementare il disegno strategico della mobilità regionale.



La quarta invece realizza il potenziamento della direttrice Nord-Sud (Raccordo Bondeno-Cento-Autostrada Cispadana), già programmata dalla Provincia di Ferrara, in quanto l'ambito territoriale interessato da questo potenziamento infrastrutturale denuncia da decenni una carenza di relazioni con il sistema della mobilità in genere, sia ferroviaria che stradale, ed un forte ritardo nell'attuazione di interventi risolutivi.

Oggetto della presente relazione è la viabilità di adduzione al sistema autostradale: **Cispadana tra la S.P. n° 2 "Reggiolo - Gonzaga" e la ex S.S. n° 62 "della Cisa"** (identificata dalla sigla **D03**).

2. DESCRIZIONE DEL PROGETTO STRADALE

L'intervento si colloca nel quadrante nord-est della Provincia di Reggio Emilia, ad ovest della nuova infrastruttura autostradale regionale Cispadana.

Il tracciato individuato è il collegamento mancante fra altri due tratti di Cispadana già realizzati ed attualmente in esercizio in provincia di Reggio Emilia:

- 1) la variante della ex S.S. n° 62 "della Cisa" agli abitati di Gualtieri e Guastalla;
- 2) il collegamento tra la S.P. n° 2 "Reggiolo – Gonzaga" ed il casello di Reggiolo.

Il tracciato si sviluppa dall'intersezione a rotatoria esistente, posta al confine dei Comuni di Guastalla e Luzzara, fino all'intersezione a "T" fra la S.P. n° 2 ed il tratto di Cispadana già realizzato nel Comune di Reggiolo, di cui al punto 2) sopra citato.

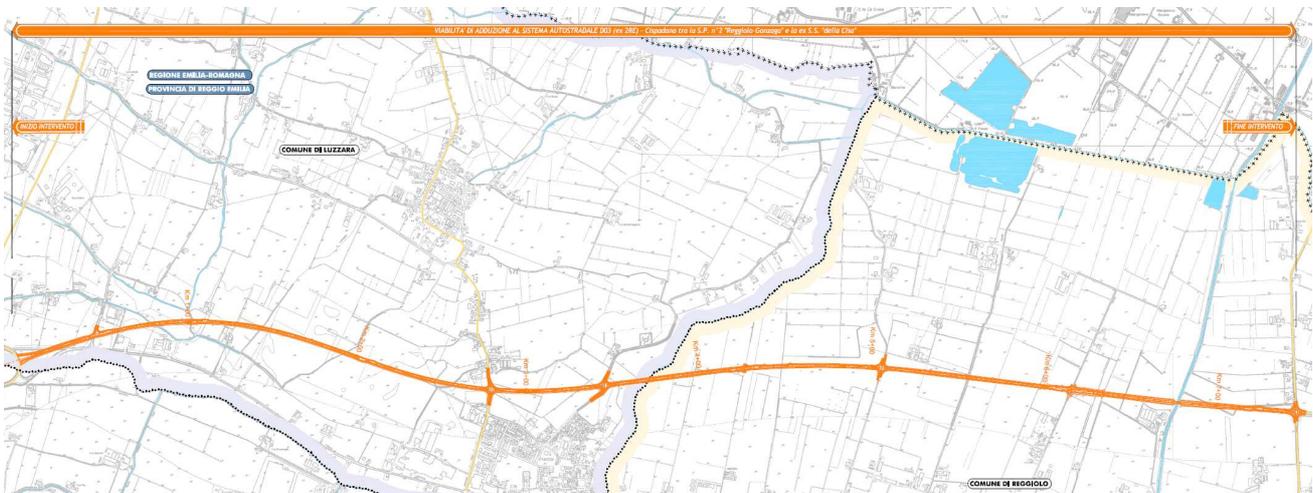


FIGURA 2-1 –INQUADRAMENTO TERRITORIALE OPERA D03

Oltre al naturale proseguimento del tracciato della Cispadana verso Ovest in direzione Parma, con volumi veicolari non trascurabili, come supportato dallo studio di traffico, la nuova opera infrastrutturale assolve anche un'importante funzione a servizio della nuova Autostrada Regionale Cispadana.

Il progetto dell'opera D03 parte dall'intersezione a rotatoria attualmente in esercizio, fra la variante all'ex S.S. n° 62 "della Cisa", la sua prosecuzione verso Suzzara e la S.P. n° 2 "per Guastalla". Dopo un'ampia curva, prosegue in direzione Sud-Est fino a lambire l'abitato di Villarotta, al confine tra i Comuni di Luzzara e Reggiolo, poi prosegue parallelamente all'attuale tracciato della S.P. n° 2 fino a terminare con una intersezione a rotatoria in corrispondenza del tratto di Cispadana attualmente in esercizio che realizza il collegamento con il casello di Reggiolo sull'Autostrada A22.

La strada si sviluppa per una lunghezza di circa 7'455 m interamente in rilevato con una altezza media di 1.50m sul piano campagna, insiste prevalentemente su terreno ad uso agricolo. L'unica opera d'arte maggiore è il ponte, di lunghezza pari a 32 m, previsto sul "Collettore Principale" alla progressiva Km 6+757. I rilevati in approccio al ponte sul "Collettore Principale" raggiungono l'altezza massima sul tutto il tracciato di 4.40m. Lungo il tracciato sono altresì collocati numerosi tombini idraulici per la sistemazione del reticolo idrografico.

Di seguito si riporta una breve descrizione delle intersezioni in progetto con la viabilità secondaria.

Intersezione a raso "T1"

L'intersezione canalizzata "T1", del tipo "destra-destra" è prevista al km 0+450 della nuova viabilità in progetto ed insiste su Via Bosa Est - accesso alla zona industriale "Bacchellino" nel comune di Luzzara; tale intersezione sostituisce l'intersezione prevista nel progetto preliminare su Via S.anna (km 1+020).

L'asse T1 costituisce il ramo della strada esistente di Via Bosa Est che viene adeguato per innestarsi sul nuovo tracciato della Cispadana D03.

Intersezione a rotatoria "R1"

L'intersezione del tipo a rotatoria "R1", prevista al km 2+797 della nuova viabilità in progetto, insiste su Via Lanzoni nel comune di Luzzara; tale rotatoria permette l'accesso alla località Negre e alla zona residenziale in Via Fosse Ardeatine nel comune di Luzzara.

Gli assi A e C sono rami della strada esistente di Via Luzzara che vengono adeguati e leggermente deviati per innestarsi sul nuovo tracciato della Cispadana D03.

Intersezione a rotatoria "R2"

L'intersezione del tipo a rotatoria "R2", prevista al km 3+454 della nuova viabilità in progetto, insiste su Via E. Fermi nel comune di Luzzara; tale rotatoria permette l'accesso alla zona agricola in località Casoni e il centro della frazione di Villarotta.

Gli assi A e C sono rami della strada esistente di Via Fermi che vengono adeguati e leggermente deviati per innestarsi sul nuovo tracciato della Cispadana D03.

Intersezione a raso "T2"

L'intersezione canalizzata "T2", prevista al km 4+267 della nuova viabilità in progetto insiste su Viale Lazzaro Spallanzani- accesso alla zona agricola in località Brugneto nel comune di Luzzara.

Intersezione a rotatoria "R3"

L'intersezione del tipo a rotatoria "R3", prevista al km 5+057 della nuova viabilità in progetto, insiste su Via Pandelici nel comune di Reggiolo; tale rotatoria permette la ricucitura con la viabilità secondaria e l'accesso alla località Pandelio e ai principali fondi agricoli esistenti.

Gli assi A e C sono rami della strada esistente di Via Pandelici che vengono adeguati in corrispondenza dell'intersezione sul nuovo tracciato della Cispadana D03.

Intersezione a raso "T3"

L'intersezione canalizzata "T3", prevista al km 6+158 della nuova viabilità in progetto insiste su Strada Rizza nel comune di Reggiolo. L'intersezione assolve la funzione di collegamento con le principali aziende agricole site in località Torreggiano nel comune di Luzzara.

Intersezione a rotatoria "R4"

L'intersezione del tipo a rotatoria "R4", è prevista a fine intervento, km 7+455, in corrispondenza dell'intersezione esistente tra il tratto di Cispadana attualmente in esercizio e Strada Cattanea sulla S.P. 2 nel comune di Reggiolo.

Gli assi A e C sono rami della strada esistente di Strada Cattanea, mentre l'asse B è il ramo sulla Cispadana esistente.

Lungo il nuovo tracciato sono stati previsti accessi diretti o raggruppati in controstrade poderali per ripristinare i collegamenti esistenti. In particolare sono previste opportune viabilità poderali sia a nord che a sud del tracciato in progetto, per ripristinare la viabilità con Strada Margonara al 5+555 con l'intersezione "R3" e per permettere l'accesso ai mezzi di manutenzione sul canale "Collettore Principale" tramite l'intersezione "T3 nel comune di Reggiolo.

2.1 Piattaforma stradale e sezioni tipo

La sezione stradale adottata è di tipo C1 - strada extraurbana secondaria, con larghezza della piattaforma di 10,50 m; la carreggiata stradale è organizzata con una corsia per senso di marcia da 3,75 m oltre due banchine da 1,50 m per lato. L'elemento di margine è composto dall'arginello, che secondo la costruzione geometrica definita dal D.M. 05/11/2001, è stato definito di 1.30m di larghezza.

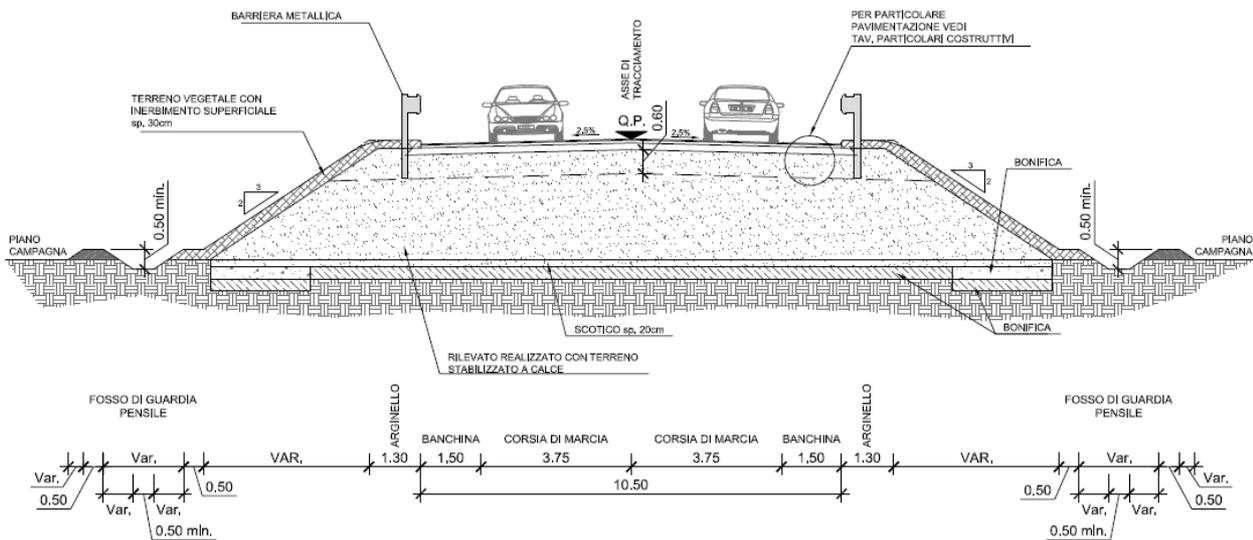


FIGURA 2-1 – SEZIONE TIPO IN RETTILO

Le scarpate nei tratti in rilevato hanno pendenza 2/3 con inerbimento superficiale stendendo una coltre di terreno vegetale spessa 30 cm.

Per la formazione del rilevato è previsto uno scotico superficiale di 20 cm e una bonifica di spessore variabile 0,30 ÷ 0,60 m mediante stabilizzazione a calce, con campo di applicazione definito dalle sezioni tipo geotecniche; al piede del rilevato è previsto un fosso di guardia pensile.

L'intervento in oggetto prevede la realizzazione di quattro rotatorie a raso. La prima è ubicata in corrispondenza dell'intersezione con via Lanzoni denominata Rotatoria "R1", la seconda è ubicata nell'intersezione con via Fermi e denominata Rotatoria "R2", la terza rotatoria denominata Rotatoria "R3" è stata posizionata su Via Padelici, mentre, la quarta rotatoria è collocata sulla strada Cispadana esistente (intersezione con gli assi A, C, E e asse principale) ed è denominata Rotatoria "R4".

Tutte e quattro le rotatorie sono caratterizzate da raggio esterno pari a 45,00m; per le rotatorie "R1", "R2" e "R3" la piattaforma pavimentata presenta larghezza pari a 8,00 m costituita da una corsia giratoria di 6,00 m affiancata da banchine in destra e sinistra pari a 1,00 metro mentre per la rotatoria R4 presenta una piattaforma pavimentata larghezza da 9,00 m costituita da una corsia giratoria di 8,00 m e banchine in destra e sinistra pari a 1,00. La pendenza trasversale corrente è pari al 2% verso l'esterno.

L'isola centrale sarà delimitata da cordoli in cls a sezione trapezia. La sistemazione a verde della stessa avverrà con terreno di riporto proveniente dagli scavi.

Lungo il perimetro esterno sono previsti elementi marginali analoghi a quelli adottati per il tracciato principale: costituiti da un arginello inerbito di larghezza pari a 1,30 metri. Le scarpate saranno realizzate con pendenza al 2/3 e rivestite da uno strato di terreno vegetale dello spessore di 30 cm (figura 2.2).

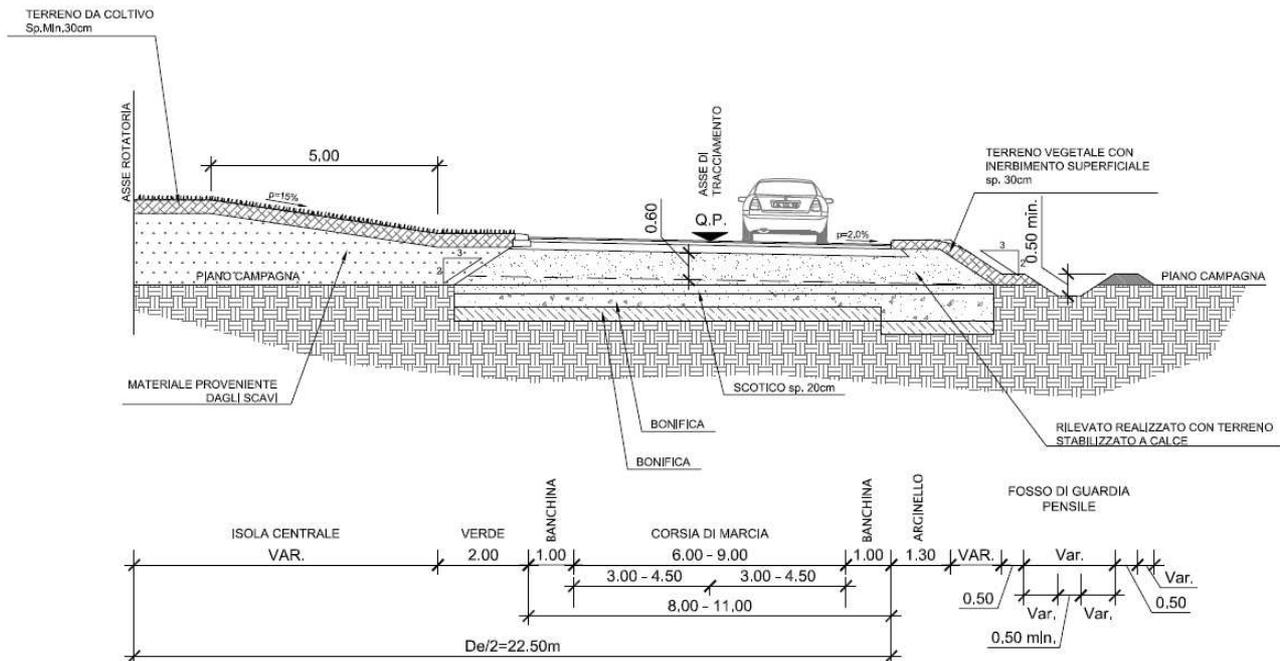


FIGURA 2-2 – SEZIONE TIPO IN ROTATORIA

Per i rami di ingresso ed uscita delle rotatorie, la piattaforma pavimentata risulta avere una larghezza pari rispettivamente a 5,00 m e 6,00 m così composta:

- Corsia in entrata L= 3,50 m;
- Corsia in uscita L= 4,5 m;
- Banchina in Sx L= 0,50 m;
- Banchina in Dx L= 1,00 m.

Gli elementi marginali rispettano quanto previsto per il rilevato e la trincea della viabilità principale.

Sull'asse principale, per ogni senso di marcia e secondo normativa, nei tratti ove la distanza tra le intersezioni è risultata superiore a 1000m e ad intervalli di 1000 m circa, sono previste piazzole di sosta. L'ubicazione della piazzola di sosta Le piazzole di sosta sono dimensionate con un allargamento della piattaforma di ulteriori 3,00 m oltre la banchina da 1,50m e presentano uno sviluppo pari a 65 m, di cui 25 m a larghezza costante e due tratti di 20 m a larghezza variabile, di raccordo alla piattaforma tipo.

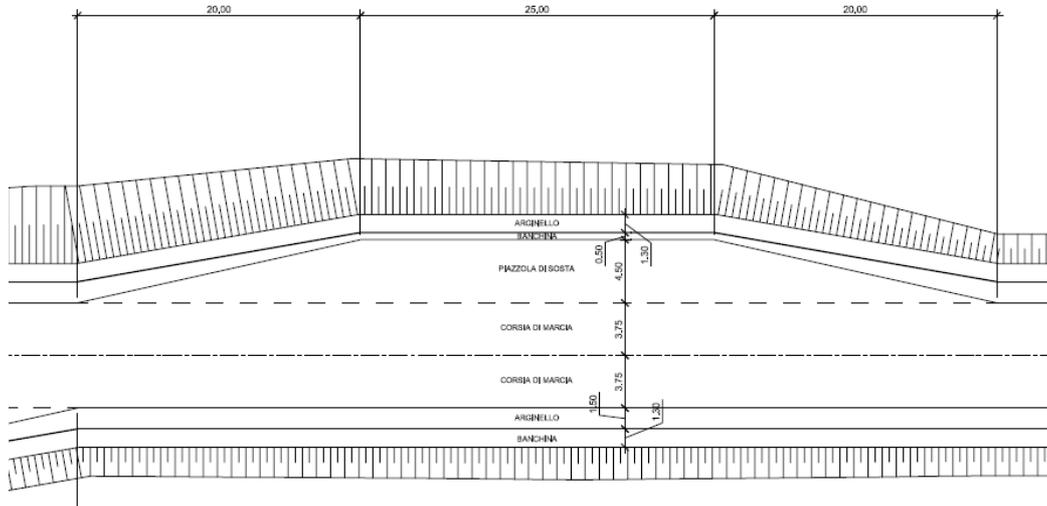


FIGURA 6.2-3 – SCHEMA PLANIMETRICO DELLA PIAZZOLA DI SOSTA

In corrispondenza, dell'opera d'arte la piattaforma mantiene inalterate le sue dimensioni prevedendo lateralmente la realizzazione del cordolo per l'installazione della barriera bordo opera.

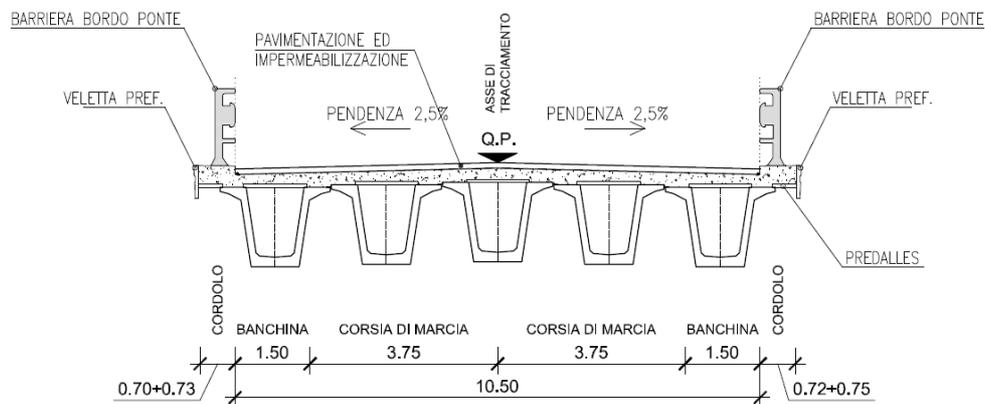


FIGURA 6.2-4– SEZIONE TIPO SU VIADOTTO

La sovrastruttura stradale prevede la seguente composizione:

- Strato di usura in splitt mastix asphalt. – sp. 3cm;
- Strato di collegamento in c.b. – sp. 7cm;
- Strato di base in c.b. – sp. 17 cm;

- Sottofondazione in materiale da rilevato – sp. min. 60 cm

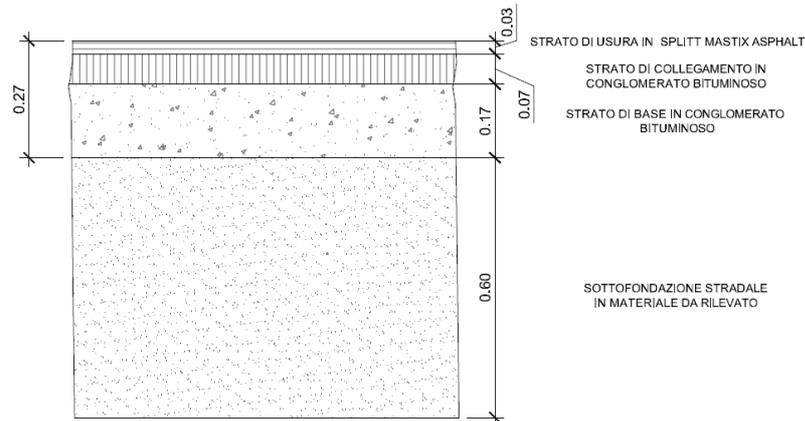


FIGURA 6.2-5– COMPOSIZIONE DELLA SOVRASTRUTTURA STRADALE

Per le intersezioni a rotatoria la sovrastruttura stradale prevede lo stesso spessore e composizione degli strati previsti sull'asse principale.

2.2 Andamento planimetrico

Nelle tabelle a seguire vengono sintetizzate le caratteristiche degli elementi planimetrici che compongono gli assi stradali. In colonna (5) è riportato il tipo di elemento planimetrico considerato utilizzando le seguenti abbreviazioni:

- R = Rettifilo
- C = Curva Circolare
- AT = Clotoide di Transizione
- AF = Clotoide di Flesso
- AC = Clotoide di Continuità

In colonna (7) è indicato il verso di percorrenza delle curve circolari nella direzione delle progressive crescenti (DX = curva destrorsa, SX = curva sinistrorsa), in colonna (8) il valore di pendenza trasversale, mentre in colonna (9) è riportato per ogni elemento il valore massimo della velocità di progetto dedotto dal diagramma delle velocità.

Nella colonna (8) l'abbreviazione R significa l'adozione in curva della pendenza trasversale in discesa verso il margine esterno (falda in contropendenza) come quella in rettifilo.

1. Asse "D03" – Cispadana tra la SP n° 2 "Reggiolo-Gonzaga" e la ex SS n° 62 "della Cisa" da pk 0+000 a pk 7+455,07

Elem.	Progr Inizio (m)	Progr Fine (m)	Lung. (m)	Tipo Elem.	Param.	Vs	lc (%)	Vp (Km/h)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
1	0	160.989	160.989	R			2,50	100
2	160.989	660.989	500	AT	1000			100
3	660.989	1464.528	803.539	C	2000	DX	-2.65	100
4	1464.528	1964.636	500.108	AF	1000.108			100
5	1964.636	2364.722	400.086	AF	1000.108			100
6	2364.722	3081.528	716.806	C	2500	SX	2.50	100
7	3081.528	3585.654	504.126	AT	1122.638			100
8	3585.654	4004.378	418.724	R	0		2.50	100
9	4004.378	5314.452	1310.074	C	5250	DX	2,50	100
10	5314.452	6617.688	1303.236	R	0		2.50	100
11	6617.688	6839.73	222.042	C	5250	SX	2.50	100
12	6839.73	7455.071	615.341	R	0		2.50	100

2.3 Andamento altimetrico

Il profilo altimetrico è costituito da tratti a pendenza costante (livellette) collegati da raccordi verticali convessi e concavi. I raccordi altimetrici si distinguono in convessi e concavi e sono realizzati mediante archi di parabola quadratica ad asse verticale, il cui sviluppo (L) viene calcolato con la seguente espressione:

$$L = R_v \times \frac{\Delta i}{100} \quad [m]$$

dove Δi , espressa in percentuale, è la variazione di pendenza fra le due livellette da raccordare e R_v è il raggio del cerchio osculatore, nel vertice della parabola.

Nelle tabelle a seguire vengono sintetizzate le caratteristiche degli elementi altimetrici che compongono l'asse stradale e gli assi del percorso ciclo-pedonale. In colonna (2) è riportato il tipo di raccordo altimetrico considerato utilizzando le seguenti abbreviazioni:

S = Raccordo verticale convesso (Sacca)

D = Raccordo verticale concavo (Dosso)

In colonna (3) è indicata la progressiva del vertice, nelle colonne (6), (7) e (8) rispettivamente l'inizio, la fine e lo sviluppo del raccordo, nelle colonne (9) e (10) la pendenza di ogni livelletta. Infine, in colonna (4) il valore del raggio di progetto.

Asse "D03" – Cispadana tra la SP n° 2 "Reggiolo-Gonzaga" e la ex SS n° 62 "della Cisa" da pk 0+000 a pk 7+455,07

N	Rv	delta i (%)	Progr Inizio (m)	Progr Fine (m)	Lung. (m)	i1 (%)	i2 (%)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
1	10'000	-0.75	305.2	380.2	75	0.05	-0.7
2	10'000	0.75	611.4	686.4	75	-0.7	0.05
3	25'000	-0.17	1191.9	1233.9	42	0.05	-0.12
4	30'000	0.16	1853.9	1901.3	47.4	-0.12	0.04
5	1'300	1.96	2746.8	2772.3	25.5	0.04	2
6	0	-2	2782.4	2782.4	0	2	0
7	0	-2	2811.4	2811.4	0	0	-2
8	1'300	2.04	2819.6	2846.1	26.5	-2	0.04
9	20'000	-0.24	2875.3	2923.3	48	0.04	-0.2
10	15'000	0.33	3334.4	3383.9	49.5	-0.2	0.13
11	1'300	1.87	3400.1	3424.4	24.3	0.13	2
12	0	-2	3439.3	3439.3	0	2	0
13	0	-2	3468.3	3468.3	0	0	-2
14	1'300	2.13	3476.4	3504.1	27.7	-2	0.13
15	10'000	-0.33	3916	3949	33	0.13	-0.2
16	10'000	0.4	4776.7	4816.7	40	-0.2	0.2
17	1'300	1.8	5000.2	5023.6	23.4	0.2	2
18	0	-2	5042.4	5042.4	0	2	0
19	0	-2	5071.4	5071.4	0	0	-2
20	10'000	2.2	5093.7	5093.7	0	-2	0.2
21	10'000	-0.6	5260.1	5320.1	60	0.2	-0.4
22	10'000	0.6	5697.4	5757.4	60	-0.4	0.2
23	10'000	0.4	6434.6	6474.6	40	0.2	0.6
24	10'000	-1.2	6713.4	6833.4	120	0.6	-0.6
25	10'000	0.4	7195.2	7235.2	40	-0.6	-0.2



N	Rv	delta i (%)	Progr Inizio (m)	Progr Fine (m)	Lung. (m)	i1 (%)	i2 (%)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
26	1'300	2.2	7407.8	7436.4	28.6	-0.2	2
27	0	-2	7440.7	7440.7	0	2	0

3. PROGETTAZIONE ASSI STRADALI

3.1. Inquadramento Normativo

Per il quadro normativo si fa riferimento all'elaborato:

PD_0_0000_0000_0_GE_KT_01 Elenco delle Normative di riferimento

3.2. Criteri progettuali principali

3.2.1. Caratteristiche planimetriche

La normativa di riferimento richiede il rispetto delle seguenti condizioni:

(a) *Raggio minimo delle curve planimetriche.*

Le curve circolari devono aver un raggio superiore al raggio minimo previsto dal DM 05/11/2001 che risulta:

- pari a 118 metri nel caso di strade extraurbane secondarie TIPO C
- pari a 45 metri nel caso di strade extraurbane locali TIPO F

(b) *Relazione raggio della curva (R)/lunghezza del rettilineo (L) che la precede:*

$$\begin{aligned} \text{per } L < 300 \text{ m} \quad R &\geq L \\ \text{per } L \geq 300 \text{ m} \quad R &\geq 400 \text{ m} \end{aligned}$$

(c) *Compatibilità tra i raggi di due curve successive.*

Nel caso di passaggio da curve di raggio più grande a curve a curve di raggio più piccolo si dovrà fare riferimento all'abaco estratto dalla norma e riportato in Figura 2;

(d) *Lunghezza massima dei rettilinei:*

$$L_{\max} = 22 \cdot V_{p,\max}$$

dove V è la velocità massima dell'intervallo delle velocità del progetto, espressa in km/h ed L si ottiene in metri.

(e) *Lunghezza minima dei rettifili.*

La verifica è stata eseguita facendo riferimento alla tabella estratta dalla norma e riportata in Tabella 1; per velocità la norma intende la massima desunta dal diagramma di velocità per il rettifilo considerato.

V_p [km/h]	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
L_{min} [m]	30	40	50	65	90	115	150	190	250	300	360

TABELLA 1 – LUNGHEZZA MINIMA DEI RETTIFILI IN RELAZIONE ALLA VELOCITÀ

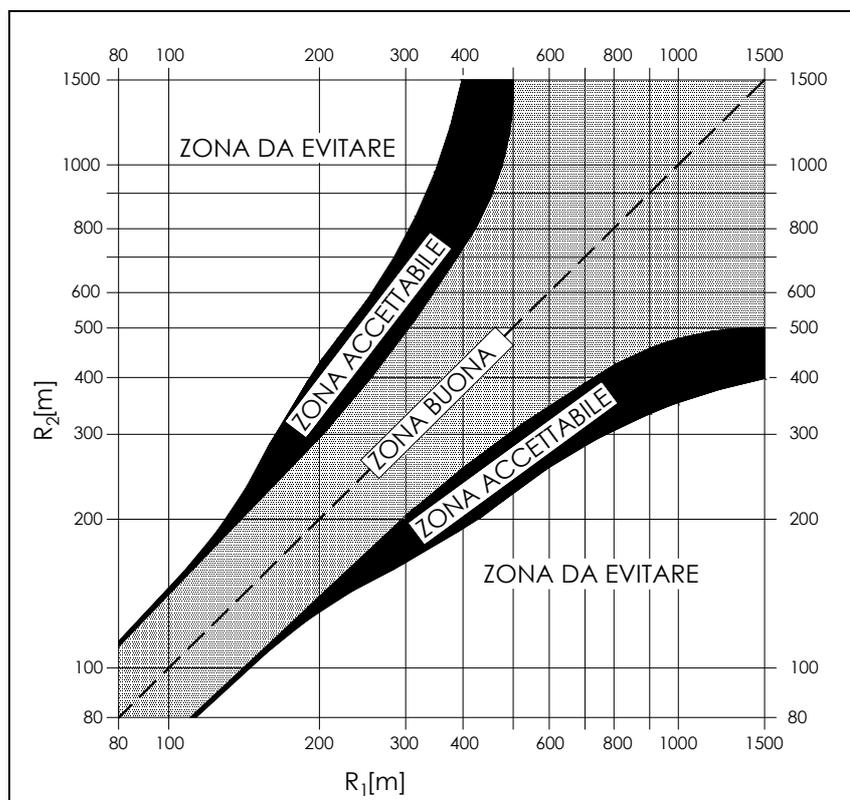


FIGURA 2 – ABACO DI KOPPEL (DM 05/ 11/01)

(f) *Congruenza del diagramma delle velocità.*

La norma prevede che per $V_{p,max} \leq 100$ km/h (e quindi per strade tipo C e F) nel passaggio da tratti caratterizzati dalla $V_{p,max}$ a curve a velocità inferiore, la differenza di velocità di progetto non deve superare 10 km/h (f1). Inoltre, fra due curve successive (nel caso di $V_{p1} > V_{p2}$) tale differenza, comunque mai superiore a 20 km/h, è consigliabile che non superi i 15 km/h (f2).

La costruzione del diagramma di velocità lungo l'asse stradale è stata effettuata secondo quanto prescritto dal DM 05/11/2001 e di seguito riportato.

- La velocità è mantenuta costante lungo lo sviluppo delle curve con raggio inferiore a $R_{2,5}$;
- la velocità varia crescendo verso la velocità massima dell'intervallo di progetto lungo i rettili, le clotoidi e gli archi con raggio non inferiore a $R_{2,5}$;
- Il valore di accelerazione e decelerazione è pari a 0,8 m/s². Tale valore è stato mantenuto invariato anche per i tratti in approccio alle intersezioni con schema a rotatoria.
- In corrispondenza delle rotatorie si è assunta una velocità di percorrenza pari a 30 km/h;
- La pendenza longitudinale non influenza la velocità di progetto.

(g) *Lunghezza minima delle curve circolari.*

La Norma prevede che una curva circolare, per essere percepita dagli utenti deve essere percorsa per almeno 2.5 secondi e quindi deve avere uno sviluppo minimo pari a:

$$L_{c,min} = 2.5 \cdot v_P$$

con v_P in m/s ed $L_{c,min}$ in m.

(h) *Verifica del parametro A degli elementi a curvatura variabile (Clotoidi)*

Criterio 1 (Limitazione del contraccolpo)

Affinché lungo un arco di clotoide si abbia una graduale variazione dell'accelerazione trasversale non compensata nel tempo (contraccolpo), fra il parametro A e la massima velocità V (km/h), desunta dal diagramma di velocità, per l'elemento di clotoide deve essere verificata la relazione:

$$A_{min} = \sqrt{\frac{v^3}{c} - \frac{gvR \cdot (q_f - q_i)}{c}}$$

dove:

- c = contraccollo;
- v = massima velocità (m/s), desunta dal diagramma di velocità, per l'elemento di clotoide considerato;
- q_i = pendenza trasversale nel punto iniziale della clotoide;
- q_f = pendenza trasversale nel punto finale della clotoide;
- g = accelerazione di gravità.

Ponendo $c = \frac{14}{v(m/s)} = \frac{50.4}{V(km/h)}$ si ottiene:

$$A_{\min} = \sqrt{\frac{v^4}{14} - \frac{gv^2R \cdot (q_f - q_i)}{14}} = \frac{v}{\sqrt{14}} \sqrt{v^2 - gR \cdot (q_f - q_i)}$$

che, esprimendo la velocità in km/h diviene:

$$A_{\min} = \frac{V}{3,6\sqrt{14}} \sqrt{\frac{V^2}{12,96} - gR \cdot (q_f - q_i)}$$

Il DM 6792/2001 propone, in alternativa, di effettuare il calcolo con una formula approssimata che non tiene conto della componente dell'accelerazione centripeta compensata dalla variazione di pendenza trasversale. L'espressione per il calcolo di A_{\min} diventa, in questo caso:

$$A_{\min} = \frac{V^2}{12,96\sqrt{14}} = 0.0206125 \cdot V^2 \cong 0.021 \cdot V^2$$

Critero 2 (Sovrapendenza longitudinale delle linee di estremità della carreggiata)

Nelle sezioni di estremità di un arco di clotoide la carreggiata stradale presenta differenti pendenze trasversali, che vanno raccordate longitudinalmente, introducendo una sovrappendenza nelle linee di estremità della carreggiata rispetto alla pendenza dell'asse di rotazione. Nel caso in cui il raggio iniziale sia di valore infinito (rettilineo o punto di flesso), il parametro deve verificare la seguente disuguaglianza:

$$A \geq A_{\min} = \sqrt{\frac{R}{\Delta l_{\max}} \times 100 \times B_i |q_i + q_f|}$$

dove:

- B_i = distanza fra l'asse di rotazione ed il ciglio della carreggiata nella sezione iniziale della curva a raggio variabile;
- i_{max} (%) = sovrappendenza longitudinale massima della linea costituita dai punti che distano B_i dall'asse di rotazione; in assenza di allargamento tale linea coincide con l'estremità della carreggiata;
- $q_i = \frac{i_{ci}}{100}$ dove i_{ci} = pendenza trasversale iniziale
- $q_f = \frac{i_{cf}}{100}$ con i_{cf} = pendenza trasversale finale
- $|q_i + q_f|$ è il valore assoluto della somma delle pendenze trasversali

Nel caso di curve di continuità il medesimo criterio diventa:

$$A \geq A_{\min} = \sqrt{\frac{B_i \cdot (|q_f| - |q_i|)}{\left(\frac{1}{R_i} - \frac{1}{R_f}\right) \cdot \frac{\Delta i_{\max}}{100}}}$$

Criterio 3 (Ottico)

Per garantire la percezione ottica del raccordo e del successivo cerchio deve essere verificata la relazione :

$$R/3 \leq A \leq R$$

che, nel caso di clotoidi di continuità, diventa:

$$R_2/3 \leq A \leq R_1$$

dove R_1 è il raggio minore ed R_2 il raggio maggiore dei due cerchi raccordati con la clotoide di continuità.

Oltre ai criteri precedentemente descritti si è proceduto alla verifica del rapporto A_E/A_U delle due clotoidi in ingresso e in uscita da una curva circolare e del rapporto A_1/A_2 tra due clotoidi in un flesso asimmetrico, secondo quanto prescritto dal D.M. 5/11/2001:

$$2/3 \leq A_E/A_U \leq 3/2 \quad 2/3 \leq A_1/A_2 \leq 3/2$$

3.2.2. Caratteristiche altimetriche

La normativa di riferimento richiede il rispetto delle seguenti condizioni:

- (i) *Pendenze longitudinali massime*

La pendenza massima delle livellette, consentita dal DM 05/11/01 per strade di tipo C (strade extraurbane secondarie), è pari al 7%.

La pendenza massima delle livellette, consentita dal DM 05/11/01 per strade di tipo F (strade extraurbane locali), è pari al 10%.

I suddetti valori della pendenza massima possono essere aumentati di una unità qualora, da una verifica da effettuare di volta in volta, risulti che lo sviluppo della livelletta sia tale da non penalizzare eccessivamente la circolazione, in termini di riduzione delle velocità e della qualità del deflusso.

(j) *Raccordi verticali convessi*

In base a quanto indicato dalla norma il raggio minimo dei raccordi verticali convessi (dossi) viene determinato come di seguito:

- se D è inferiore allo sviluppo L del raccordo si ha

$$R_v = \frac{D^2}{2 \cdot (h_1 + h_2 + 2 \cdot \sqrt{h_1 \cdot h_2})}$$

- se invece $D > L$

$$R_v = \frac{2 \cdot 100}{\Delta i} \cdot \left[D - 100 \cdot \frac{h_1 + h_2 + 2 \cdot \sqrt{h_1 \cdot h_2}}{\Delta i} \right]$$

dove:

- R_v = raggio del raccordo verticale convesso [m]
- D = distanza di visibilità da realizzare per l'arresto di un veicolo di fronte ad un ostacolo fisso [m]
- Δi = variazione di pendenza delle due livellette, espressa in percento
- h_1 = altezza sul piano stradale dell'occhio del conducente [m]
- h_2 = altezza dell'ostacolo [m]

Si pone di norma $h_1 = 1.10$ m. In caso di visibilità per l'arresto di un veicolo di fronte ad un ostacolo fisso, si pone $h_2 = 0.10$ m. In caso di visibilità necessaria per il cambiamento di corsia si pone $h_2 = 1.10$ m.

(k) *Raccordi verticali concavi*

In base a quanto indicato dalla norma il raggio minimo dei raccordi verticali concavi (sacche) viene determinato come di seguito:

se D è inferiore allo sviluppo del raccordo si ha

$$R_v = \frac{D^2}{2 \cdot (h + D \cdot \sin \vartheta)}$$

se invece $D > L$

$$R_v = \frac{2 \cdot 100}{\Delta i} \cdot \left[D - \frac{100}{\Delta i} \cdot (h + D \cdot \sin \vartheta) \right]$$

dove:

- R_v = raggio del raccordo verticale concavo [m]
- D = distanza di visibilità da realizzare per l'arresto di un veicolo di fronte ad un ostacolo fisso [m].
- Δi = variazione di pendenza delle due livellette espressa in percento
- h = altezza del centro dei fari del veicolo sul piano stradale
- ϑ = massima divergenza verso l'alto del fascio luminoso rispetto l'asse del veicolo.

Si pone di norma $h = 0.5$ m e $\vartheta = 1^\circ$.

La distanza di visibilità per il sorpasso è stata calcolata analogamente a quanto descritto per la verifica dei raccordi verticali convessi.

3.2.3. Analisi di visibilità

Per distanza di visuale libera (DVL) si intende la lunghezza del tratto di strada che il conducente riesce a vedere davanti a sé senza considerare l'influenza del traffico, delle condizioni atmosferiche e di illuminazione della strada.

Secondo quanto indicato dalle "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade" (DM 05/11/2001, prot. N° 6792), lungo il tracciato stradale la distanza di visuale libera deve essere confrontata, nel caso di strade ad unica carreggiata, con le seguenti distanze:

- **Distanza di visibilità per l'arresto**, che è pari allo spazio minimo necessario perché un conducente possa arrestare il veicolo in condizione di sicurezza davanti ad un ostacolo imprevisto. Questo valore deve essere garantito lungo lo sviluppo del tracciato.
- **Distanza di visibilità per la manovra di sorpasso**, che è pari alla lunghezza del tratto di strada occorrente per compiere una manovra completa di sorpasso in sicurezza, quando non si possa escludere l'arrivo di un veicolo in senso opposto.

La verifica di visibilità per l'arresto consiste nel confrontare le distanze di visuale libera per l'arresto (determinate lungo l'intero sviluppo del tracciato sia in corsia di sorpasso che in corsia di marcia lenta adottando un'altezza dell'occhio del guidatore a 1.10 m dal piano viabile ed un'altezza dell'ostacolo fisso di 0.10 m e collocando trasversalmente i punti di vista e di mira al centro della corsia) con le distanze di visuale

libera per l'arresto calcolate in funzione del diagramma di velocità del tracciato ed del suo andamento altimetrico (variazione della pendenza longitudinale)

Il valore di aderenza adottato nel calcolo delle distanze di arresto è quello proposto dal D.M. 5/11/2001 (e precisati nello stesso testo della norma stessa, vedi anche **Tabella 2**), riferito a condizioni di strada bagnata.

VELOCITA' (km/h)	25	40	60	80	100	120	140
f_i	0.45	0.43	0.35	0.30	0.25	0.21	-

TABELLA 2 – DM 6792/2001, COEFFICIENTI DI ADERENZA IMPEGNABILE LONGITUDINALMENTE

Per il calcolo è stata utilizzata la formula riportata al paragrafo 5.1.2. del DM 05/11/2001. Si è valutata la distanza di arresto punto per punto (passo 10 metri) in funzione della velocità di progetto (secondo quanto specificato in precedenza) e della pendenza longitudinale con la seguente espressione:

$$D_A = D_1 + D_2 = \frac{V_0}{3,6} \times \tau - \frac{1}{3,6^2} \int_{V_0}^{V_1} \frac{V}{g \times \left[f_i(V) \pm \frac{i}{100} \right] + \frac{Ra(V)}{m} + r_0(V)} dV \quad [m]$$

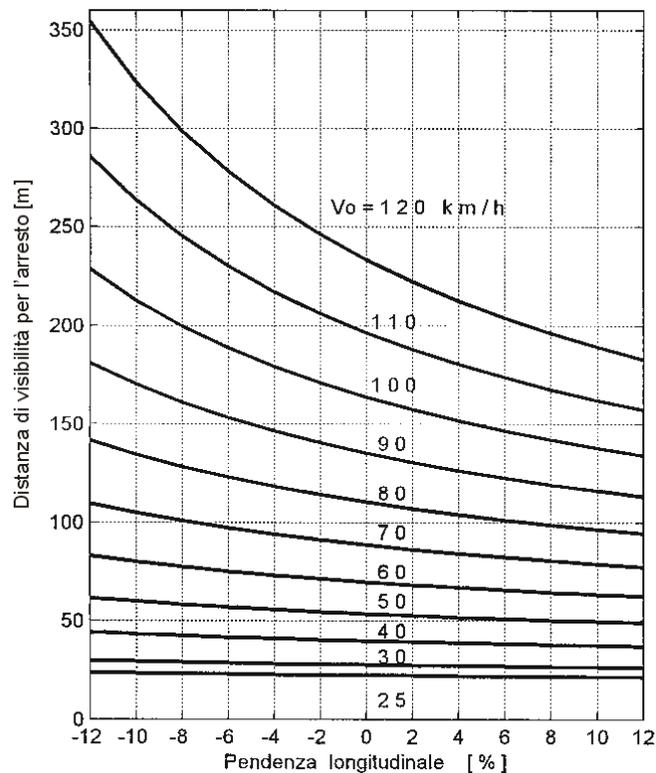
dove:

- D_1 = spazio percorso nel tempo τ
- D_2 = spazio di frenatura
- V_0 = velocità del veicolo all'inizio della frenatura [km/h]
- V_1 = velocità finale del veicolo, in cui $V_1 = 0$ in caso di arresto [km/h]
- i = pendenza longitudinale del tracciato [%]
- τ = tempo complessivo di reazione (percezione, riflessione, reazione e attuazione) [s]
- g = accelerazione di gravità [m/s²]
- Ra = resistenza aerodinamica [N]
- m = massa del veicolo [kg]
- f_i = quota limite del coefficiente di aderenza impegnabile longitudinalmente per la frenatura
- r_0 = resistenza unitaria al rotolamento, trascurabile [N/kg]

Per il tempo complessivo di reazione si sono assunti valori linearmente decrescenti con la velocità da 2,6 s per 20 km/h, a 1,4 s per 140 km/h, in considerazione della attenzione più concentrata alle alte velocità:

$$\tau = (2,8 - 0,01V) \quad [s] \quad \text{con } V \text{ in km/h}$$

Il D.M. 5/11/2001 definisce un abaco di correlazione tra la pendenza longitudinale e la distanza di arresto valido in condizione di pendenza costante. Nei tratti di variabilità di detta pendenza, ovvero in corrispondenza dei raccordi verticali, è stato assunto per essa il valore medio, così come suggerito dalla stessa normativa.



La **verifica di visibilità per il sorpasso** è stata condotta confrontando le distanze di visuale libera per il sorpasso con le corrispondenti distanze visibilità lungo tutto il tracciato.

Le distanze di visuale libera per il sorpasso sono state determinate considerando l'ostacolo mobile collocato nella corsia opposta, con altezza pari a 1,10.

Per il calcolo delle distanze di visibilità è stata utilizzata la formula riportata al paragrafo 5.1.3. del DM 05/11/2001:

$$D_s = 20 \times v = 5,5 V \quad [\text{m}]$$

dove:

- v = velocità del veicolo in [m/s], op. V in [km/h], desunta puntualmente dal diagramma delle velocità ed attribuita uguale sia per il veicolo in fase di sorpasso che per il veicolo proveniente in senso opposto.

3.2.4. Rappresentazione dei risultati

I risultati delle analisi sono riportati in forma tabulare nel capitolo che segue ed in forma grafica sintetica negli elaborati specifici allegati al presente progetto definitivo, nei quali sono riassunti, in funzione dello sviluppo longitudinale della strada, le seguenti informazioni:

- progressive;
- distanze ettometriche;
- andamento planimetrico;
- andamento altimetrico (profilo longitudinale);
- diagramma delle distanze di visuale libera e di visibilità per l'arresto e per il sorpasso per entrambi i sensi di marcia;
- diagramma delle velocità di progetto costruito secondo quanto prescritto dal D.M. 05/11/2001;
- rappresentazione grafica delle situazioni a norma (tratti in verde), fuori norma (tratti in rosso).

3.3. Progettazione delle intersezioni a raso

3.3.1. Dimensionamento delle corsie nelle intersezioni a raso

Le larghezze dei dispositivi aggiuntivi da inserire sulla strada principale per l'effettuazione di svolte a destra o a sinistra sono indicate nella seguente Tabella :

Elemento modulare	Strade extraurbane		Strade urbane	
	Tipo di strada principale	Larghezza corsie (m)	Tipo di strada principale	Larghezza corsie (m)
Corsie destinate alle traiettorie passanti	nei casi ammessi	(*)	nei casi ammessi	(*)
Corsie specializzate di uscita	C	3,50	E	3,00
	F	3,25	F	2,75
Corsie specializzate per l'accumulo in mezzera	C	3,25	E	3,00 (**)
	F	3,00	F	2,75 (**)

(*) si mantiene la larghezza delle corsie prevista nel D.M. 5/11/2001 per i tipi di strada interessati dall'intersezione;

(**) riducibili a 2,50 se le corsie non sono percorse da traffico pesante o da mezzi adibiti al trasporto pubblico.

TABELLA 3.1 LARGHEZZA DELLE CORSIE NELLE INTERSEZIONI A RASO

Le intersezioni in progetto nella presente viabilità sono tutte tra strade tipo C/F, la larghezza delle corsie specializzate è quindi pari a 3.50m.

3.3.2. Dimensionamento delle corsie specializzate

Le corsie specializzate, destinate ai veicoli che si accingono ad effettuare le manovre di svolta a destra ed a sinistra, e che consentono di non arrecare eccessivo disturbo alla corrente di traffico principale rappresentano uno degli elementi principali di dimensionamento delle intersezioni; possono essere di entrata (o di immissione), di uscita (o di diversione) e di accumulo per la svolta a sinistra, e possono essere realizzate nelle intersezioni lineari a raso e a livelli sfalsati, secondo quanto previsto nella Tabella seguente (DM 19/4/2006):

Tipo di strada principale	Tipologia di corsia specializzata		
	di uscita (o diversione)	di entrata (o immissione)	d'accumulo per svolta a sinistra
strade extraurbane			
A	Obbligatoria	Obbligatoria	Non ammessa
B	Obbligatoria	Obbligatoria	Non ammessa
C	Ammessa	Non ammessa	Ammessa
F	Ammessa	Non ammessa	Ammessa
strade urbane			
A	Obbligatoria	Obbligatoria	Non ammessa
D	Ammessa	Ammessa	Non ammessa
E	Ammessa	Ammessa	Ammessa
F	Ammessa	Ammessa	Ammessa

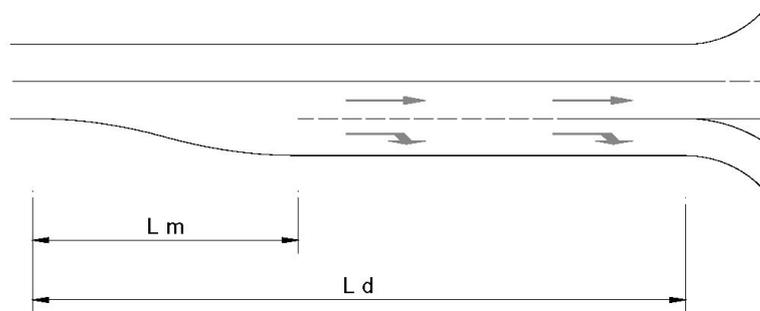
TABELLA 3.2 TIPOLOGIE DELLE CORSIE SPECIALIZZATE IN FUNZIONE DEL TIPO DI INTERSEZIONE

Le intersezioni previste lungo il tracciato dell'asse principale D03 (tipo C) sono del tipo F o assimilabile: l'unica corsia specializzata ammissibile è quindi la corsia di uscita (o diversione).

L'inserimento delle corsie specializzate, nei casi in cui queste sono "ammesse" deve essere valutato in relazione a criteri funzionali secondo quanto previsto dalla normativa.

La corsia di decelerazione si sviluppa in affiancamento alla strada a cui afferiscono ed è costituita dai seguenti due tratti:

- un tratto di manovra di lunghezza L_m
- un tratto di decelerazione di lunghezza L_d



TRATTO DI DECELERAZIONE L_d

Con riferimento al caso di configurazione parallela, la lunghezza del tratto di decelerazione L_d (avente inizio all'inizio del tratto di manovra e fine all'inizio della rampa in uscita) è correlata alla diminuzione di velocità longitudinale tra quella del ramo da cui provengono i veicoli in uscita e quella ammissibile con il raggio di curvatura della rampa.

La lunghezza del tratto di decelerazione L_d viene calcolata pertanto mediante criterio cinematico utilizzando la seguente espressione:

$$L_{d,u} = \frac{v_1^2 - v_2^2}{26a} 2/3Lm$$

dove:

- L_d (m) è la lunghezza necessaria per la variazione cinematica;
- v_1 (m/s) è la velocità di ingresso nel tronco di decelerazione assumibile:
 - nella velocità dell'ottantacinquesimo percentile (V85) del flusso da cui provengono i veicoli in uscita, per le strade esistenti;
 - V_p per le strade di progetto (V_p : velocità di progetto desunta dal diagramma di velocità [km/h]);
- v_2 (m/s) è la velocità di uscita dal tronco di decelerazione assumibile nella velocità di progetto corrispondente al raggio R della curva di deviazione verso la strada secondaria nel caso in cui non sia necessaria la fermata dei veicoli;
- a (m/s²) è la decelerazione assunta per la manovra pari a 2 m/s² per tutte le strade
- L_m tratto di manovra

TRATTO DI MANOVRA L_m

La lunghezza del tratto di manovra L_m varia in funzione della velocità di progetto. I valori indicati dalla norma da utilizzare sono:

- 30 m per ambito extraurbano
- 20 m per ambito urbano

Per le intersezioni a raso in progetto la velocità dell'asse principale è sempre pari a 100km/h; di conseguenza i criteri riportati nella normativa di riferimento richiederebbero una corsia di uscita paria a 190m, ovvero un tratto di decelerazione pari a 160m e un tratto di manovra di 30m. Tale indicazione progettuale risulta non adeguata in relazione ai flussi di traffico - poco consistenti - che insistono sulle intersezioni a raso in progetto.

Inoltre, considerando che per le intersezioni tra strade tipo C/F la corsia di uscita è, secondo il DM 19/4/2006, ammissibile ma non obbligatoria si è scelto, in considerazione dei flussi di traffico insistenti sulle intersezioni secondarie, di non inserire una corsia specializzata di uscita ma una deviazione ad ago dalla linea di marcia, ovvero una pseudo-corsia di uscita al fine di agevolare le manovre di uscita senza penalizzare il flusso sulla corrente principale.

PSEUDO-CORSIA DI USCITA

La pseudo-corsia deve consentire ai veicoli in uscita una deviazione ad ago dalla linea di marcia normale fino a che la sagoma del veicolo non sia totalmente uscita dalla carreggiata principale, e venga alla fine raggiunto il calibro della corsia.

L'inclinazione dell'ago di manovra deve consentire uno stacco abbastanza graduale delle traiettorie di svolta. In letteratura si consigliano, pertanto, deviazioni comprese tra 1/10 e 1/15 rispetto al ciglio della strada principale; ne deriva che la lunghezza della pseudo-corsia (L^*u) viene espressa dalla seguente formula:

$$L^*u = d^*/p$$

Dove:

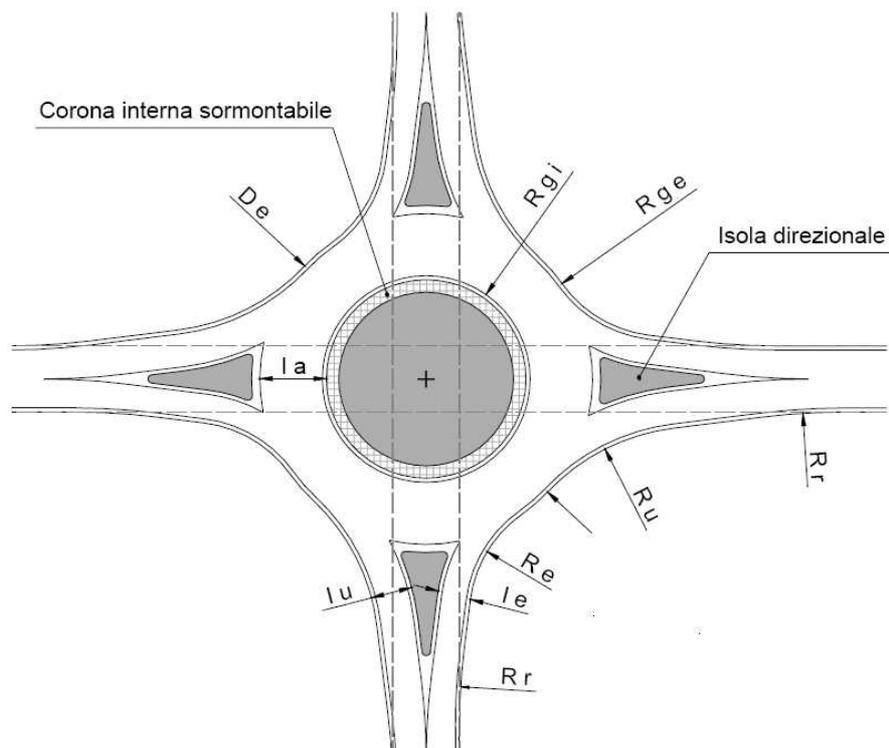
p = inclinazione dell'ago di uscita (1/10 oppure 1/15);

d^* = larghezza della sezione terminale della pseudo-corsia (m). Coincide col modulo standard della corsia di uscita riportato nella Tabella 2.3.4-1.

Per le intersezioni a raso in progetto si è scelto una inclinazione di 1/15 e di conseguenza, data la larghezza delle corsie di 3.50m, la lunghezza delle pseudo-corsie di uscita è pari a 55.00m (L^*u).

3.4. Progettazione delle intersezioni a rotatoria

3.4.1. Dimensionamento degli elementi modulari



ELEMENTI DI PROGETTO DELLE ROTATORIE

Per la progettazione degli elementi costituenti le rotatorie non sono presenti elementi normativi specifici a livello nazionale (raggio d'entrata, raggio d'uscita, raggio di raccordo); si è quindi scelto di far riferimento alla normativa della Regione Lombardia e in particolare al Regolamento Regionale 24 aprile 2006, N. 7 (Tabella riepilogativa Par. 3.A.8.7)

In tabella si riportano le larghezze degli elementi modulari, come definite dalla normativa nazionale:

DM 2006	De (m)
---------	--------

	MINI ROTATORIE 14 < De < 25	COMPATTE 25 ≤ De < 40	CONVENZIONALI De ≥ 40
CORSIA ANELLO GIRATORIO (1 CORSIA INGRESSO)	7 - 8	7.00	6.00
CON PIÙ CORSIE DI INGRESSO	8.5 - 9	8.5 - 9	9.00
BRACCI DI INGRESSO 1 CORSIA	3.50		
2 CORSIE	6.00		
BRACCI DI USCITA	4.00	4.50	

In tabella si riportano le larghezze degli elementi modulari, come definite dalla Regione Lombardia - Regolamento Regionale 24 aprile 2006, N. 7:

	Notazione	Intervello di validità	Mini rotatorie sormontabili	Mini rotatorie parzialmente sormontabili	Rotatorie compatte	Grandi Rotatorie
Diametro esterno della rotatoria	De	De ≥ (14 m) 18 m	14÷18	18÷26	26÷50	>50 m
Raggio giratorio esterno	Rge	De/2	7÷9	9÷13	13÷25	>25 m
Raggio giratorio interno	Rgi	Rgi - la	0÷2	variabile	variabile	variabile
Larghezza dell'anello	la	7 m ≤ la ≤ 9 m	7÷8	7÷8	8÷9	9÷10
Larghezza anello interno sormontabile	Lis	0 ≤ lis ≤ 2 m	Isola centrale completamente sormontabile	1,5÷2	1,5÷2	0
Raggio d'entrata	Re	10 m ≤ Re ≤ De/2	10	10÷13	10÷25	10÷De/2
Larghezza corsia	Le*	4 m ≤ le ≤ 4,5 m	le ≤ 4,5	le ≤ 4,5	4 ≤ le ≤ 4,5	4 ≤ le ≤

entrante		(1 corsia) $7 m \leq l_e \leq 9 m$ (2 corsie)	(1 c.)	(1 c.)	(1 c.) $7 \leq l_e \leq 9$ (2 c.)	4,5 (1 c.) $7 \leq l_e \leq 9$ (2 c.)
Raggio d'uscita	R_u	$15 m \leq R_u \leq 30 m$	15÷30	15÷30	15÷30	15-30 m
Larghezza corsia uscita	l_u	$4,5 m \leq l_u \leq 6 m$ (1 corsia) $7,5 m \leq l_u \leq 9 m$ (2 corsie)	$l_u \leq 6$ (1 c.)	$l_u \leq 6$ (1 c.)	$4,5 \leq l_u \leq 6$ (1 c.) $7,5 \leq l_u \leq 9$ (2 c.)	$4,5 \leq l_u \leq 6$ (1 c.) $7,5 \leq l_u \leq 9$ (2 c.)
Raggio di raccordo	R_r	$2 \times D_e$	28÷36	36÷52	52÷100	>100 m

(*) Al fine di migliorare le performances in termini di capacità, di smaltimento dei flussi di traffico e di sicurezza complessiva del nodo, si ritiene ragionevole intendere il valore della larghezza della corsia di ingresso indicata dalla norme regionali come valore minimo. Nel progetto verranno quindi adottate dimensioni leggermente superiori.

La norma non fornisce chiare indicazioni relativamente alle dimensioni delle banchine da prevedere nella corona rotatoria. Per quanto riguarda la banchina esterna è stata assunta una larghezza pari a 1.00. Per la banchina interna dovranno essere utilizzate dimensioni minime di 0.50 m, incrementabili se necessario ai fini della funzionalità della rotatoria in relazione agli ingombri dei veicoli pesanti, previa verifica del rispetto degli angoli di deflessione.

Onde garantire la migliore efficacia dello scolo delle acque meteoriche, la normativa regionale prescrive la pendenza della carreggiata anulare nelle rotatorie aventi diametro esterno $D_e \leq 50$ m rivolta verso l'esterno (pendenza 1,5- 2%). Mentre per rotatorie con diametro $D_e > 50$ m una pendenza verso l'interno (1,5-3%).

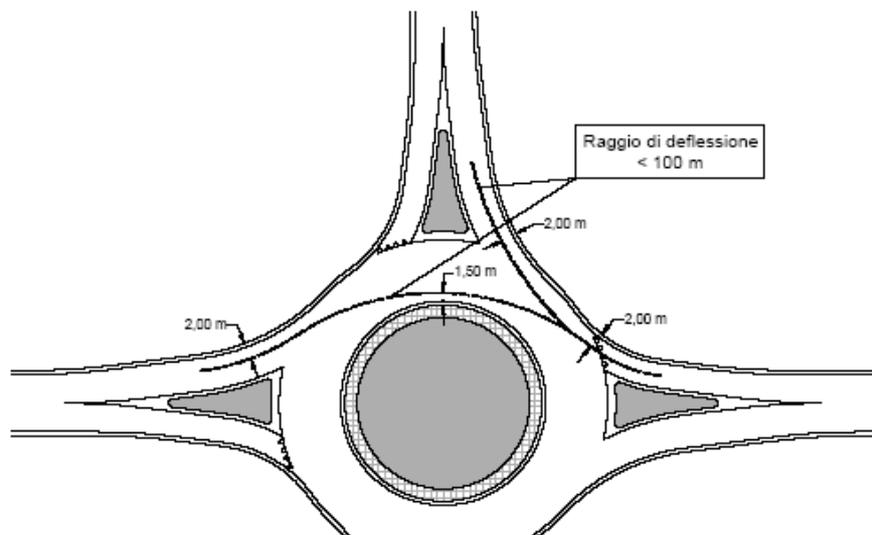
3.3.1 Geometria della rotatoria e analisi di visibilità

La regola principale per il disegno progettuale 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.

Lo scopo primario delle rotatorie è un assoluto controllo delle velocità all'interno dell'incrocio ed è essenziale che la geometria complessiva impedisca valori cinematici superiori ai limiti usualmente assunti a base di progetto.

Per la verifica della deflessione si è fatto riferimento alla normativa della Regione Lombardia la cui verifica è compatibile con la verifica dell'angolo beta (DM 2006); il riferimento in particolare al Regolamento Regionale (regione lombardia) 24 aprile 2006, N. 7 (Par. 3.A.6)

La normativa di riferimento definisce deflessione di una traiettoria il raggio dell'arco di circonferenza passante a 1,5 m dal bordo dell'isola centrale e a 2 m dal bordo delle corsie d'entrata e d'uscita, siano esse adiacenti o opposte (si veda la figura sotto riportata). Occorre verificare l'ampiezza del raggio di deflessione per le manovre relative ad ogni braccio di ingresso e uscita. Tale raggio deve essere inferiore a 100 metri: in tal modo la velocità in rotatoria non potrà mai essere superiore ai 50 Km/h.



COSTRUZIONE DELLA VERIFICA DI DEFLESSIONE DA GARANTIRE NELLE ROTATORIE

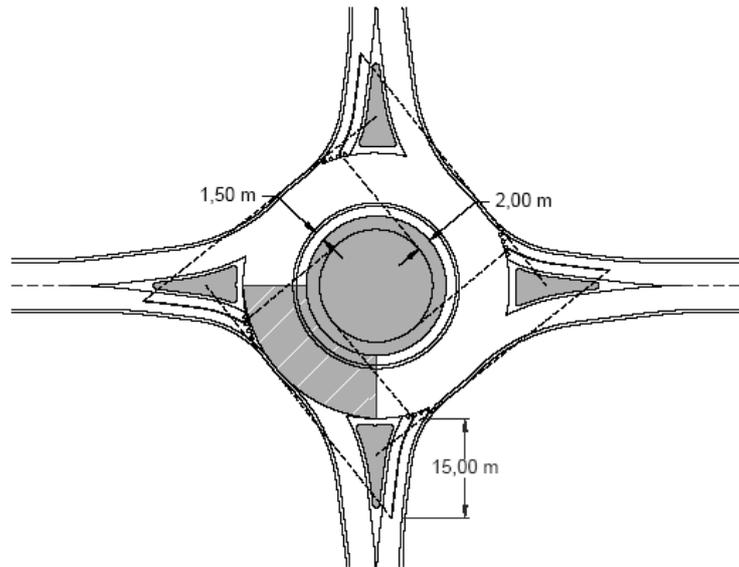
3.3.2 Determinazione delle aree di visibilità

Gli utenti che si avvicinano ad una rotatoria devono percepire i veicoli con precedenza all'interno della corona in tempo per modificare la propria velocità per cedere il passaggio o eventualmente fermarsi. In particolare, onde garantire un'adeguata visibilità, si devono adottare le seguenti prescrizioni:

- il punto di osservazione si pone ad una distanza di 15 m dalla linea di arresto coincidente con il bordo della circonferenza esterna;
- la posizione planimetrica si pone sulla mezzeria della corsia di entrata in rotatoria (o delle corsie di entrata) e l'altezza di osservazione si colloca ad 1 m sul piano viabile;

- la zona di cui è necessaria la visibilità completa corrisponde al quarto di corona giratoria posta alla sinistra del canale di accesso considerato.

La modalità di costruzione delle aree di visibilità è rappresentata nella figura seguente.



COSTRUZIONE DELL'AREA DI VISIBILITÀ DA GARANTIRE NELLE ROTATORIE

3.3.3 Determinazione del livello di servizio

Il calcolo della capacità delle rotatorie

Il calcolo della capacità di una rotatoria in ambito extraurbano, a titolo indicativo, può essere effettuato attraverso la metodologia francese proposta dal SETRA. Tale metodo ha il pregio di fornire, oltre al valore della capacità, anche altri elementi utili per la conoscenza del livello di servizio di una rotatoria.

La capacità, espressa dalla formula seguente, è funzione decrescente del traffico di disturbo Q_d che ne ostacola l'ingresso, mentre aumenta in funzione della larghezza della corsia di entrata ENT:

$$Q_e = (1130 - 0.7Q_d)[1 + 0.1(ENT - 3.5)]$$

dove:

Q_e = capacità di un braccio di ingresso [veic/h]

ENT = larghezza della corsia in entrata misurata dietro il primo veicolo fermo all'altezza della linea del "dare precedenza" [m]

Q_d = traffico di disturbo [veic/h]:

$$Q_d = (Q_c + 2/3 Q_u') [1 - 0.085(ANN - 8)]$$

Q_c = traffico circolante, ovvero flusso che percorre l'anello all'altezza della immissione

[veic/h]

ANN = larghezza dell'anello [m]

Q_u' = traffico uscente equivalente [veic/h]:

$$Q_u' = Q_u(15 - SEP)/15$$

Q_u = traffico uscente [veic/h]

SEP = larghezza dell'isola spartitraffico all'estremità del braccio [m]

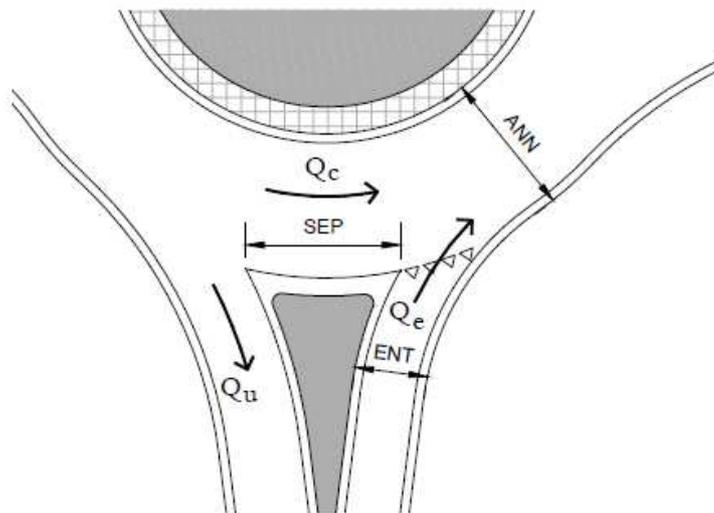


FIGURA 6-1 CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E DI TRAFFICO DI UNA ROTATORIA

In ambito urbano, invece, una metodologia che si può seguire è quella proposta dal CETUR. In questo caso la capacità si esprime con la formula:

$$Q_e = \gamma (1500 - 0.83 Q_d) \text{ [veic/h]}$$

dove:

Q_e = capacità di un braccio di ingresso [veic/h]

$\gamma = 1$ nel caso di una corsia in ingresso

$\gamma = 1,5$ per due o più corsie all'ingresso

Q_d = traffico di disturbo [veic/h]:

$$Q_d = \alpha Q_c + 0.2 Q_u$$

$\alpha = 1$ qualora si sia in presenza di una rotatoria con $ANN < 8$ m

$\alpha = 0.7$ per $ANN \geq 8$ m e $R \geq 20$ m

$\alpha = 0.9$ per $ANN \geq 8$ m e $R < 20$ m

ANN = larghezza dell'anello [m]

R = raggio esterno della rotatoria ($D_e/2$) [m]

Le verifiche di capacità, attraverso usuali modelli di calcolo, sono sempre consigliate per ottenere un corretto dimensionamento degli elementi compositivi l'intersezioni. Sono necessarie in tutti i casi in cui il flusso totale entrante sia complessivamente maggiore di 2000 veic./ora (traffico dell'ora di punta) e comunque nel caso in cui:

- almeno una delle arterie afferenti abbia una connotazione non locale;
- la rotatoria sia necessaria al fine di garantire l'accessibilità a nuovi contesti
- residenziali/commerciali/produttivi che vadano a modificare le condizioni di deflusso attuali
- a generare nuovo traffico indotto;
- l'isola centrale abbia una forma non circolare;
- si vogliano inserire due corsie in uscita;
- si voglia inserire una corsia per la svolta a destra svincolata.

Determinazione del livello di servizio.

Le caratteristiche di livello di servizio a cui si fa riferimento nel progetto delle rotatorie sono quelle stesse che vengono considerate nello studio di una qualsiasi intersezione a raso: il tempo medio di attesa dei veicoli alle immissioni ed un adeguato percentile della lunghezza della coda. Questi elementi possono essere calcolati con lo stesso modello teorico utilizzato per le altre intersezioni a raso, basato sul concetto di intervallo critico precedentemente definito, le cui variabili sono il flusso in entrata e quello che percorre l'anello.

La valutazione del livello di servizio per ogni singolo ramo avviene secondo il metodo dell'Highway Capacity Manual (2000).

Il livello di servizio 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 D.M. 19/04/2006 "il livello di servizio dell'intersezione non dovrà essere inferiore a quello prescritto dal D.M. 05.11.2001 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 D.M. 05/11/2001.

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 6 m 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 la seguente tabella:

Livello di servizio	Tempo d'attesa medio
A	< 10 s
B	10 - 15 s
C	15 - 25 s
D	25 - 35 s
E	35 - 50 s
F	> 50 s

4. RISULTATI DELLE VERIFICHE DI CONGRUENZA CON LE NORMATIVE DI RIFERIMENTO

4.1. Assi stradali

Nel seguito si riportano i risultati delle analisi di congruenza del progetto stradale rispetto ai criteri indicati nella normativa di riferimento DM 05/11/2001 condotte per il solo asse principale "D03" che costituisce la Cispadana tra la SP n° 2 "Reggiolo-Gonzaga" e la ex SS n° 62 "della Cisa".

Per gli altri assi non è stata condotta la verifica trattandosi per lo più dell'adeguamento di brevi tratti di strade esistenti che si configurano come rami d'innesto alle rotatorie o alle intersezioni a raso che sottendono tratti di raccordo per l'inserimento dell'isola divisionale.

4.1.1. Andamento planimetrico

Nelle tabelle a seguire vengono sintetizzati i risultati della verifica delle caratteristiche degli elementi planimetrici che compongono gli assi stradali condotte per il solo asse principale. In colonna (5) è riportato il tipo di elemento planimetrico considerato utilizzando le seguenti abbreviazioni:

- R = Rettifilo
- C = Curva Circolare
- AT = Clotoide di Transizione
- AF = Clotoide di Flesso
- AC = Clotoide di Continuità

In colonna (7) è indicato il verso di percorrenza delle curve circolari nella direzione delle progressive crescenti (DX = curva destrorsa, SX = curva sinistrorsa), in colonna (8) il valore di pendenza trasversale, in colonna (9) è riportato per ogni elemento il valore massimo della velocità di progetto dedotto dal diagramma delle velocità mentre, nella colonna (10) vengono riportati gli esiti della verifica.

1. Asse "D03" – Cispadana tra la SP n° 2 "Reggiolo-Gonzaga" e la ex SS n° 62 "della Cisa" da pk 0+000 a pk 7+455,07

ELEMENTI TRACCIATO PLANIMETRICO									VERIFICA CLOTOIDI						
Elem.	Progr Inizio (m)	Progr Fine (m)	Lung. (m)	Tipo Elem.	Param.	Vs	lc (%)	Vp (Km/h)	Parametri min/max				Rapporti		Esito Verif.
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	A1	A2	A3min	A3max	A/Au	A1/A2	(10)
1	0	160.989	160.989	R			2,50	100							
2	160.989	660.989	500	AT	1000			100	0,00	239.1	666.7	2000	1,00		OK
3	660.989	1464.528	803.539	C	2000	DX	-2.65	100							
4	1464.528	1964.636	500.108	AF	1000.108			100	117.9	171.5	666.7	2000	1,00	1,00	OK
5	1964.636	2364.722	400.086	AF	1000.108			100	117.9	171.5	666.7	2000	0.89	1,00	OK
6	2364.722	3081.528	716.806	C	2500	SX	2.50	100							
7	3081.528	3585.654	504.126	AT	1122.638			100	0	229	833.3	2500	0.89		OK
8	3585.654	4004.378	418.724	R	0		2.50	100							
9	4004.378	5314.452	1310.074	C	5250	DX	2.50	100							
10	5314.452	6617.688	1303.236	R	0		2.50	100							
11	6617.688	6839.73	222.042	C	5250	SX	2.50	100							
12	6839.73	7455.071	615.341	R	0		2.50	100							

ELEMENTI TRACCIATO PLANIMETRICO									VERIFICA RETTIFI E CURVE							
Elem.	Progr Inizio (m)	Progr Fine (m)	Lung. (m)	Tipo Elem.	Param.	Vs	lc (%)	Vp (Km/h)	CURVE			RETTIFI			Esito Verif.	
									Raggi min.			Lmin	Lmin	Lmax		Lflesso
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(a)	(b)	(c)	(m)	(m)	(m)	(m)	(10)
1	0	160.989	160.989	R			2,50	100					150	2200		OK
2	160.989	660.989	500	AT	1000			100								
3	660.989	1464.528	803.539	C	2000	DX	-2.65	100	118,11	400	160.99	69,44				OK
4	1464.528	1964.636	500.108	AF	1000.108			100								
5	1964.636	2364.722	400.086	AF	1000.108			100								

ELEMENTI TRACCIATO PLANIMETRICO									VERIFICA RETTIFILI E CURVE						Esito	
Elem.	Progr Inizio (m)	Progr Fine (m)	Lung. (m)	Tipo Elem.	Param.	Vs	Ic (%)	Vp (Km/h)	CURVE			RETTIFILI				Verif.
									Raggi min.			Lmin	Lmin	Lmax	Lflesso	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(a)	(b)	(c)	(m)	(m)	(m)	(m)	(10)
6	2364.722	3081.528	716.806	C	2500	SX	2.50	100	118,11	400		69,44				OK
7	3081.528	3585.654	504.126	AT	1122.638			100								
8	3585.654	4004.378	418.724	R	0		2.50	100					150	2200		OK
9	4004.378	5314.452	1310.074	C	5250	DX	2.50	100	118,11	400		69,44				OK
10	5314.452	6617.688	1303.236	R	0		2.50	100					150	2200		OK
11	6617.688	6839.73	222.042	C	5250	SX	2.50	100	118,11	400		69,44				OK
12	6839.73	7455.071	615.341	R	0		2.50	100					150	2200		OK

4.1.2. Andamento altimetrico

La pendenza longitudinale delle livellette degli assi in esame risulta sempre inferiore al valore massimo indicato dalla normativa che prescrive per strade di categoria C – strade secondarie extraurbane di non superare la pendenza del 7% e per le strade di categoria F – strade extraurbane locali di non eccedere il 10%.

Nelle tabelle a seguire vengono riportati i risultati della verifica della distanza di visibilità per l'arresto per i raccordi verticali, effettuata con riferimento alla velocità desunta dal diagramma di velocità dell'asse stradale.

In colonna (11) è indicato il valore della velocità di progetto desunta dal diagramma di velocità dell'asse stradale, nella colonna (12) è indicata la distanza d'arresto, nella colonna (13) è indicato il valore del raggio minimo che soddisfa la visibilità per l'arresto e nella colonna (14) viene indicato l'esito della verifica.

1. Asse "D03" – Cispadana tra la SP n° 2 "Reggiolo-Gonzaga" e la ex SS n° 62 "della Cisa" da pk 0+000 a pk 7+455,07

ELEMENTI TRACCIATO ALTIMETRICO - VERTICI							
N	Prog.	Quota	Parziale	i (%)	Dislivello	Lunghezza	Esito Verif.
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
0	-225.52	22.80	0.00	0	0	0	
1	342.73	23.08	568.25	0.05	0.28	568.25	OK
2	648.93	20.94	306.20	-0.70	-2.14	306.21	OK
3	1212.85	21.22	563.93	0.05	0.28	563.93	OK

ELEMENTI TRACCIATO ALTIMETRICO - VERTICI							
N	Prog.	Quota	Parziale	i (%)	Dislivello	Lunghezza	Esito Verif.
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
4	1877.57	20.44	664.72	-0.12	-0.78	664.72	OK
5	2759.52	20.79	881.95	0.04	0.35	881.95	OK
6	2782.42	21.25	22.90	2.00	0.46	22.90	OK
7	2811.42	21.25	29.00	0.00	0.00	29.00	OK
8	2832.85	20.82	21.43	-2.00	-0.43	21.44	OK
9	2899.32	20.84	66.47	0.04	0.03	66.47	OK
10	3359.15	19.93	459.82	-0.20	-0.92	459.82	OK
11	3412.26	19.99	53.11	0.13	0.07	53.11	OK
12	3439.27	20.53	27.01	2.00	0.54	27.01	OK
13	3468.27	20.53	29.00	0.00	0.00	29.00	OK
14	3490.21	20.10	21.94	-2.00	-0.44	21.95	OK
15	3932.45	20.67	442.25	0.13	0.57	442.25	OK
16	4796.65	18.94	864.20	-0.2	-1.7284	864.2006	OK
17	5011.91	19.37	215.26	0.20	0.43	215.26	OK
18	5042.39	19.98	30.48	2.00	0.61	30.49	OK
19	5071.39	19.98	29.00	0.00	0.00	29.00	OK
20	5093.70	19.54	22.30	-2.00	-0.45	22.31	OK
21	5290.12	19.93	196.42	0.20	0.39	196.42	OK
22	5727.40	18.18	437.28	-0.40	-1.75	437.29	OK
23	6454.60	19.63	727.20	0.20	1.45	727.20	OK
24	6773.40	21.55	318.80	0.60	1.91	318.80	OK
25	7215.1607	18.8965	441.7624	-0.6	-2.6506	441.7704	OK
26	7422.0833	18.4827	206.9227	-0.2	-0.4138	206.9231	OK
27	7440.7264	18.8556	18.6431	2	0.3729	18.6469	OK
28	7455.2264	18.8556	14.5	0	0	14.5	OK

ELEMENTI TRACCIATO ALTIMETRICO								VERIFICA RACCORDI ALTIMETRICI			
N	Rv	delta i (%)	Progr Inizio (m)	Progr Fine (m)	Lung. (m)	i1 (%)	i2 (%)	Vp (Km/h)	Da (m)	Rv,min (m)	Esito Verif.
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
1	10'000	-0.75	305.2	380.2	75	0.05	-0.7	100	125.308	1286.01	OK
2	10'000	0.75	611.4	686.4	75	-0.7	0.05	100	162.079	1286.01	OK
3	25'000	-0.17	1191.9	1233.9	42	0.05	-0.12	100	164.455	1286.01	OK
4	30'000	0.16	1853.9	1901.3	47.4	-0.12	0.04	100	163.924	1286.01	OK

ELEMENTI TRACCIATO ALTIMETRICO								VERIFICA RACCORDI ALTIMETRICI			
N	Rv	delta i (%)	Progr Inizio (m)	Progr Fine (m)	Lung. (m)	i1 (%)	i2 (%)	Vp (Km/h)	Da (m)	Rv,min (m)	Esito Verif.
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
5	1'300	1.96	2746.8	2772.3	25.5	0.04	2	100	36.686	1286.01	OK
6	0	-2	2782.4	2782.4	0	2	0	100	28.693	7919.92	OK
7	0	-2	2811.4	2811.4	0	0	-2	100	28.359	7919.92	OK
8	1'300	2.04	2819.6	2846.1	26.5	-2	0.04	100	28.965	1286.01	OK
9	20'000	-0.24	2875.3	2923.3	48	0.04	-0.2	100	48.55	1286.01	OK
10	15'000	0.33	3334.4	3383.9	49.5	-0.2	0.13	100	60.235	1286.01	OK
11	1'300	1.87	3400.1	3424.4	24.3	0.13	2	100	37.283	1286.01	OK
12	0	-2	3439.3	3439.3	0	2	0	100	28.693	7919.92	OK
13	0	-2	3468.3	3468.3	0	0	-2	100	28.359	7919.92	OK
14	1'300	2.13	3476.4	3504.1	27.7	-2	0.13	100	29.5	1286.01	OK
15	10'000	-0.33	3916	3949	33	0.13	-0.2	100	164.418	1286.01	OK
16	10'000	0.4	4776.7	4816.7	40	-0.2	0.2	100	106.286	1286.01	OK
17	1'300	1.8	5000.2	5023.6	23.4	0.2	2	100	38.179	1286.01	OK
18	0	-2	5042.4	5042.4	0	2	0	100	28.693	7919.92	OK
19	0	-2	5071.4	5071.4	0	0	-2	100	28.359	7919.92	OK
20	10'000	2.2	5093.7	5093.7	0	-2	0.2	100	33.8	1286.01	OK
21	10'000	-0.6	5260.1	5320.1	60	0.2	-0.4	100	87.614	1286.01	OK
22	10'000	0.6	5697.4	5757.4	60	-0.4	0.2	100	162.89	1286.01	OK
23	10'000	0.4	6434.6	6474.6	40	0.2	0.6	100	165.008	1286.01	OK
24	10'000	-1.2	6713.4	6833.4	120	0.6	-0.6	100	166.401	1978.49	OK
25	10'000	0.4	7195.2	7235.2	40	-0.6	-0.2	100	100.905	1286.01	OK
26	1'300	2.2	7407.8	7436.4	28.6	-0.2	2	100	35.702	1286.01	OK
27	0	-2	7440.7	7440.7	0	2	0	100	28.693	7919.92	OK

4.1.3. Verifiche di visibilità

La definizione dell'asse stradale ha seguito un percorso iterativo di successivi affinamenti finalizzati all'ottimizzazione del progetto in relazione:

- Alla congruenza geometrica degli elementi componenti il tracciato, sia per quanto riguarda la loro successione, sia per gli aspetti cinematici che regolano le effettive velocità di percorrenza dell'asse;
- Alla verifica delle visuali libere, attraverso la definizione degli opportuni allargamenti in curva.

In pratica, si è proceduto prima ad uno studio per l'ottimizzazione della composizione degli elementi del tracciato in modo tale che fossero coordinati e compatibili con le velocità di progetto, successivamente si è

proceduto all'analisi delle visuali libere confrontando le distanze minime da garantire lungo il tracciato in base al diagramma di velocità e all'andamento altimetrico, confrontate con quelle effettivamente disponibili e calcolate. La verifica da esisto positivo se la distanza minima calcolata è minore di quella disponibile. Di conseguenza sono state identificate le criticità di ostacolo e quindi definiti gli opportuni allargamenti della piattaforma stradale.

Questo processo è stato sviluppato per ogni curva del tracciato, su entrambe le direttrici di marcia.

La verifica delle visuali libere è stata sviluppata mediante l'utilizzo di un applicativo Autocad che, partendo da un modello 3D della strada, comprensivo degli ostacoli fissi limitanti la visibilità è in grado di stimare le distanze di visuali disponibili, valutando di fatto gli effetti combinati dell'andamento planimetrico e dell'altimetria del tracciato ai fini della percezione che l'utente ha della strada. Il programma traccia tutti i raggi di visione a partire dall'asse della singola corsia, arrestandole in corrispondenza del primo ostacolo incontrato, sia esso il pavimentato od un ostacolo posizionato marginalmente alla carreggiata. Di seguito, in base al diagramma di velocità ed all'andamento altimetrico, il programma calcola le relative distanze minime da garantire lungo il tracciato, che saranno confrontate con quelle effettivamente disponibili e calcolate secondo il procedimento grafico esposto prima.

In termini di visibilità planimetrica la distanza di visuale libera risulta sempre compatibile con la distanza necessaria per l'arresto, non si è quindi reso necessario allargare la piattaforma stradale.

Lungo l'asse "D03" è stata anche condotta la verifica della visibilità per il sorpasso (come richiede il DM 5/11/2001) che viene soddisfatta per parte del tracciato stradale. Dai risultati ottenuti si evince che viene garantita la visibilità per il sorpasso lungo 2 tratti discontinui di lunghezza rispettivamente pari a circa 870,00 m e 1050,00 m.

Negli appositi elaborati grafici predisposti per le verifiche di ottemperanza al DM. 5/11/2001, sviluppati per le due corsie di marcia, vengono riportate le analisi di visuale libera.

4.2. Intersezioni a raso

4.2.1. Analisi delle caratteristiche geometriche delle intersezioni a raso

La analisi delle caratteristiche geometriche delle intersezioni a T è stata sviluppata prendendo in esame i seguenti aspetti:

- Facilità di lettura della intersezione;
- Visibilità;

4.2.2. Facilità di lettura delle intersezioni

Le tre intersezioni presenti lungo il presente progetto risultano generalmente ben riconoscibili da parte degli utenti che percorrono l'infrastruttura. Procedendo nel verso delle progressive sia crescenti che decrescenti, le intersezioni appaiono, la prima, T1 sul lato nord, in prossimità di una clotoide tra un rettilineo e una curva di raggio pari a 2000 m su livelleta con lieve pendenza (0.7%); la seconda, T2 lato nord e sud, in corrispondenza di un'ampia curva di raggio pari a 5250 m e livelleta al 0.2%; la terza intersezione, T3 lato nord e sud, è pieno rettilineo con livelleta anch'essa pari al 0.2 %. Le intersezioni considerate sono quindi collocate in posizioni sufficientemente visibili e riconoscibili.

4.2.3. Analisi della visibilità delle intersezioni a raso

Al fine di valutare la compatibilità delle caratteristiche planimetriche del tracciato stradale con la localizzazione delle intersezioni a raso (a "T") previste in progetto è stata svolta una verifica dei triangoli di visibilità. Detta verifica è stata svolta con riferimento ad una regolazione di entrambe le manovre di immissione dal ramo secondario tramite segnale di STOP (come da progetto). La verifica dei triangoli di visibilità delle intersezioni in esame è riportata nelle figure seguenti (Figure 1, 2). Le verifiche sono state condotte nell'ipotesi che gli eventuali dispositivi di sicurezza presenti, per classe e tipologia di dispositivo utilizzata, non costituiscano ostacolo per la visuale ($H < 1.10$ m).

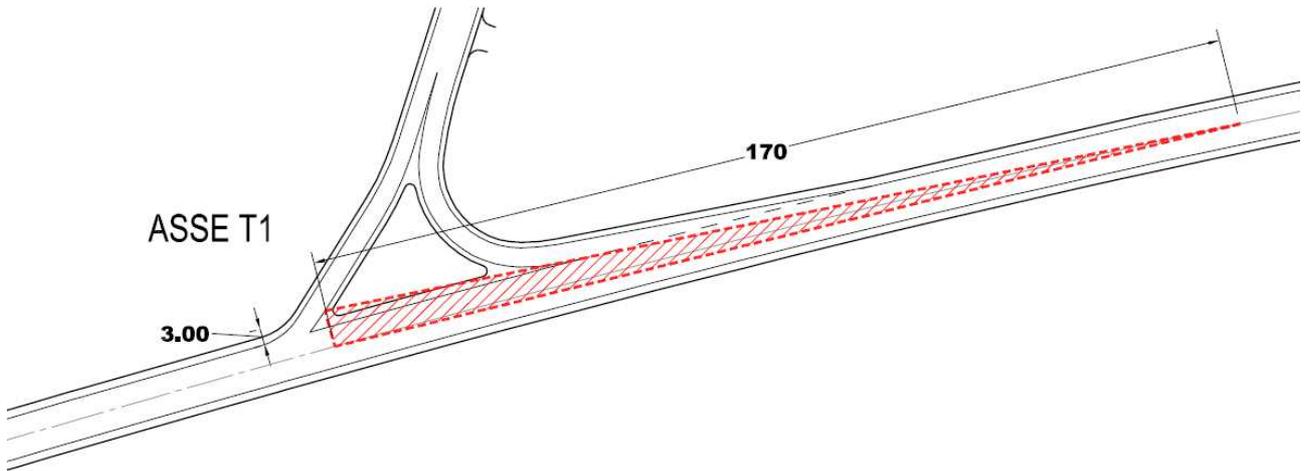
Per la costruzione dei triangoli di visibilità si è proceduto nel seguente modo:

- Il lato maggiore del triangolo di visibilità corrisponde al prodotto della velocità di riferimento della direzione principale desunto dal diagramma delle velocità per il tempo di manovra (6 secondi in quanto regolato da segnale di stop).
- I punti caratteristici per le verifiche di visibilità vanno assunti sulla mezziera delle traiettorie veicolari a cui si riferiscono. Nel caso in oggetto il vertice del triangolo di visibilità relativo alla viabilità secondaria si pone ad una distanza di 3m dalla linea di arresto.

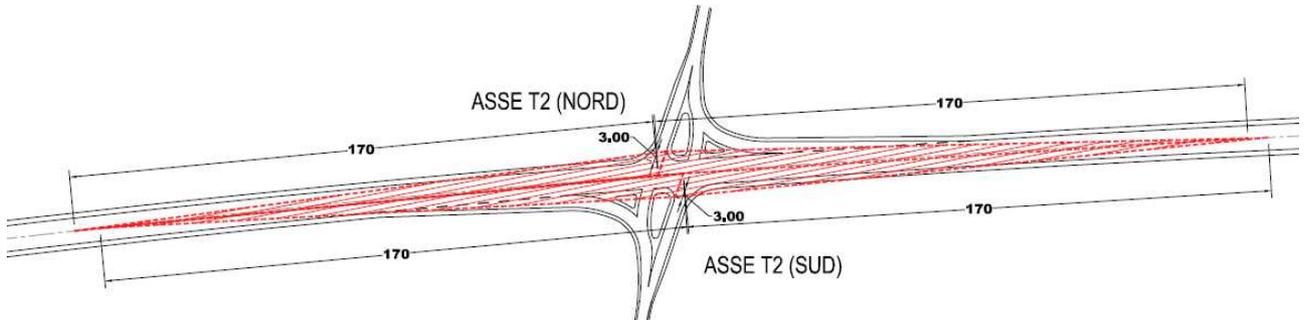
In prossimità di una intersezione ogni oggetto situato al contorno stradale è suscettibile di mascherare la visibilità. Si considerano ostacoli per la visibilità oggetti isolati aventi una delle dimensioni planimetriche superiori a 0.80m.

La velocità di riferimento della direzione principale desunta dal diagramma delle velocità risulta pari a 100 km/h per tutte e tre le intersezioni; si ha quindi che il lato maggiore del triangolo di visibilità è pari a 170m.

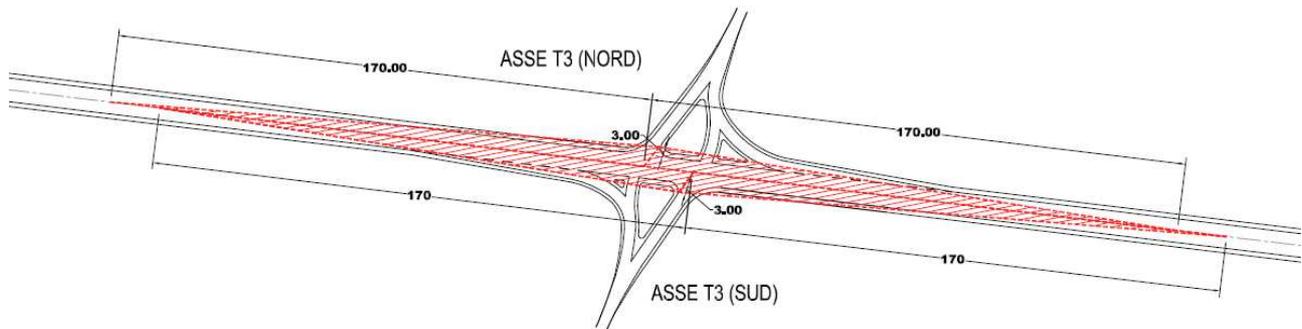
L'analisi mostra che i triangoli di visibilità relativi alle manovre di immissione regolate da STOP sono sempre risultati liberi da ostacoli, pertanto si ha la visibilità necessaria per la percezione dell'intersezione.



Intersezione a raso "T1"



Intersezione a raso "T2" lato nord e sud



Intersezione a raso "T3" lato nord e sud

4.3. Intersezioni a rotatoria

4.3.1. Verifica delle caratteristiche geometriche per le rotatorie

Il progetto prevede le seguenti rotatorie:

1. Rotatoria "R1" su Via Lanzoni; Rest= 22,50 m;
2. Rotatoria "R2" su Via E. Fermi; Rest= 22,50 m;
3. Rotatoria "R3" su Via Pandelici; Rest= 22,50 m;
4. Rotatoria "R4" su Cispadana esistente e strada Cattanea; Rest= 22,50 m (adeguamento rotatoria esistente);

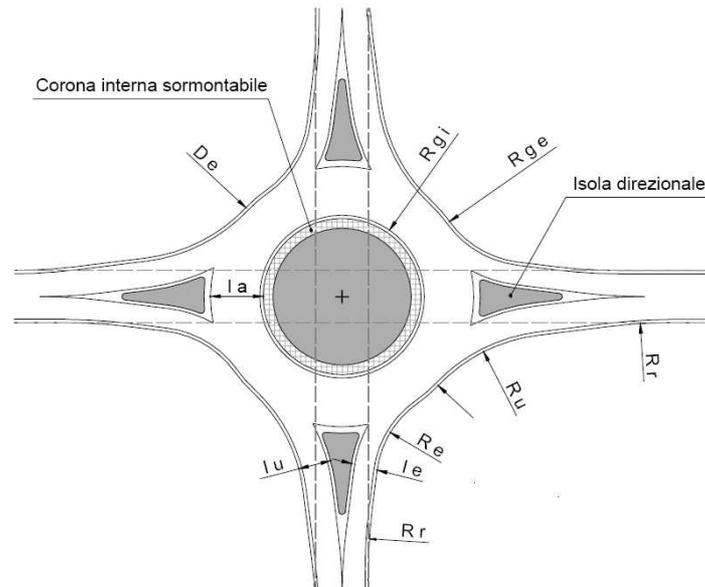
Le quattro rotatorie di diametro esterno pari a 45m sono classificate, secondo lo schema indicato dalla normativa nazionale, come Rotatorie convenzionali (De>40m).

Per le rotatorie "R1", "R2" e "R3" la piattaforma pavimentata presenta larghezza pari a 8,00 m costituita da una corsia giratoria di 6,00 m affiancata da banchine in destra e sinistra pari a 1,00 metro mentre per la rotatoria R4 presenta una piattaforma pavimentata larghezza da 9,00 m costituita da una corsia giratoria di 8,00 m e banchine in destra e sinistra pari a 1,00.

Per la progettazione degli elementi costituenti le rotatorie non sono presenti elementi normativi specifici a livello nazionale (raggio d'entrata, raggio d'uscita, raggio di raccordo); si è quindi scelto di far riferimento alla

normativa della Regione Lombardia e in particolare al Regolamento Regionale 24 aprile 2006, N. 7 (Tabella riepilogativa Par. 3.A.8.7)

Si riporta di seguito lo schema degli elementi di progetto dell'intersezione a rotatoria:



ELEMENTI DI PROGETTO DELLE ROTATORIE

Rotatoria "R1" Rint= 14,50 m e Rest= 22,50 m

ROTATORIE CONVENZIONALI						
	Notazione	Intervallo di validità	Asse B (D03)	Asse C	Asse D (D03)	Asse A
Raggio d'entrata	<i>Re</i>	10÷25	20	20	20	20
Largh. corsia entrante	<i>Le*</i>	4 ≤ <i>le</i> ≤ 5.5 (1 c.) 7 ≤ <i>le</i> ≤ 9 (2 c.)	5,00	5,00	5,00	5,00
Raggio uscita	<i>Ru</i>	15÷30	25	25	25	25
Largh corsia uscita	<i>lu</i>	4,5 ≤ <i>lu</i> ≤ 6 (1 c.) 7,5 ≤ <i>lu</i> ≤ 9 (2 c.)	6.00	6.00	6.00	6.00
Raggio di raccordo	<i>Rr</i>	52÷100	85	85	85	85
Pendenza trasversale	<i>Pt</i>	2% rivolta verso l'esterno				

Rotatoria "R2" Rint= 14,50 m e Rest= 22,50 m

ROTATORIE CONVENZIONALI						
	Notazione	Intervallo di validità	Asse B (D03)	Asse C	Asse D (D03)	Asse A
Raggio d'entrata	<i>Re</i>	10÷25	20	20	20	20
Largh. corsia entrante	<i>Le*</i>	4 ≤ <i>le</i> ≤ 5.5 (1 c.) 7 ≤ <i>le</i> ≤ 9 (2 c.)	5,00	5,00	5,00	5,00
Raggio uscita	<i>Ru</i>	15÷30	25	25	25	25
Largh corsia uscita	<i>lu</i>	4,5 ≤ <i>lu</i> ≤ 6 (1 c.) 7,5 ≤ <i>lu</i> ≤ 9 (2 c.)	6.00	6.00	6.00	6.00
Raggio di raccordo	<i>Rr</i>	52÷100	85	85	85	85
Pendenza trasversale	<i>Pt</i>	2% rivolta verso l'esterno				

Rotatoria "R3" Rint= 14,50 m e Rest= 22,50 m

ROTATORIE CONVENZIONALI						
	Notazione	Intervallo di validità	Asse B (D03)	Asse C	Asse D (D03)	Asse A
Raggio d'entrata	<i>Re</i>	10÷25	20	20	20	20
Largh. corsia entrante	<i>Le*</i>	4 ≤ <i>le</i> ≤ 5.5 (1 c.) 7 ≤ <i>le</i> ≤ 9 (2 c.)	5,00	5,00	5,00	5,00
Raggio uscita	<i>Ru</i>	15÷30	25	25	25	25
Largh corsia uscita	<i>lu</i>	4,5 ≤ <i>lu</i> ≤ 6 (1 c.) 7,5 ≤ <i>lu</i> ≤ 9 (2 c.)	6.00	6.00	6.00	6.00
Raggio di raccordo	<i>Rr</i>	52÷100	85	85	85	85
Pendenza trasversale	<i>Pt</i>	2% rivolta verso l'esterno				

Rotatoria "R4" Rint= 11,50 m e Rest= 22,50 m

ROTATORIE CONVENZIONALI						
	Notazione	Intervallo di validità	Asse B	Asse C	Asse D (D03)	Asse A
Raggio d'entrata	<i>Re</i>	10÷25	20	20	20	20
Largh. corsia entrante	<i>Le*</i>	4 ≤ <i>le</i> ≤ 5.5 (1 c.) 7 ≤ <i>le</i> ≤ 9 (2 c.)	7.50	5,00	7.50	5,00
Raggio uscita	<i>Ru</i>	15÷30	25	25	25	25
Largh corsia uscita	<i>lu</i>	4,5 ≤ <i>lu</i> ≤ 6 (1 c.) 7,5 ≤ <i>lu</i> ≤ 9 (2 c.)	6.00	6.00	6.00	6.00
Raggio di raccordo	<i>Rr</i>	52÷100	85	85	85	85
Pendenza trasversale	<i>Pt</i>	2% rivolta verso l'esterno				

4.3.2. Analisi della Deflessione

Si definisce 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.

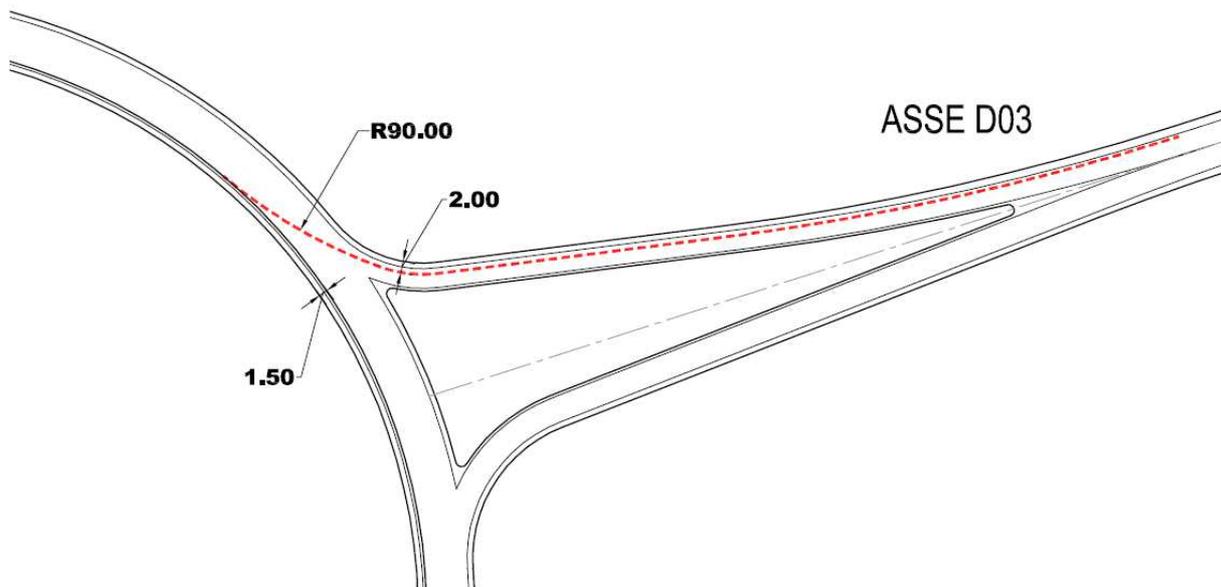
Tale raggio non deve superare i valori di 100 m, è preferibile adottare valori sensibilmente inferiori a questo limite massimo.

Per la verifica della deflessione si è fatto riferimento alla normativa della Regione Lombardia la cui verifica è equivalente alla verifica dell'angolo beta (DM 2006); il riferimento specifico è presente nel Regolamento Regionale (regione Lombardia) 24 aprile 2006, N. 7 (Par. 3.A.6)

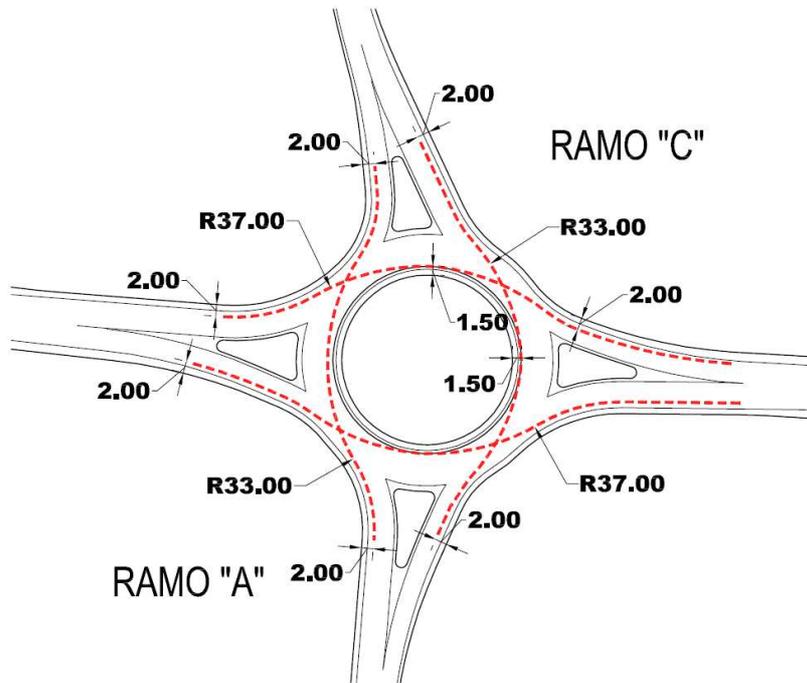
Dalla figure di seguito riportate si evince che il raggio di deflessione è sempre minore di 100m; in tal modo le velocità inerenti alle traiettorie "più tese" non potranno essere mai superiori a 50km/h.

Verifica deflessione innesto su rotonda esistente pk 0+00:

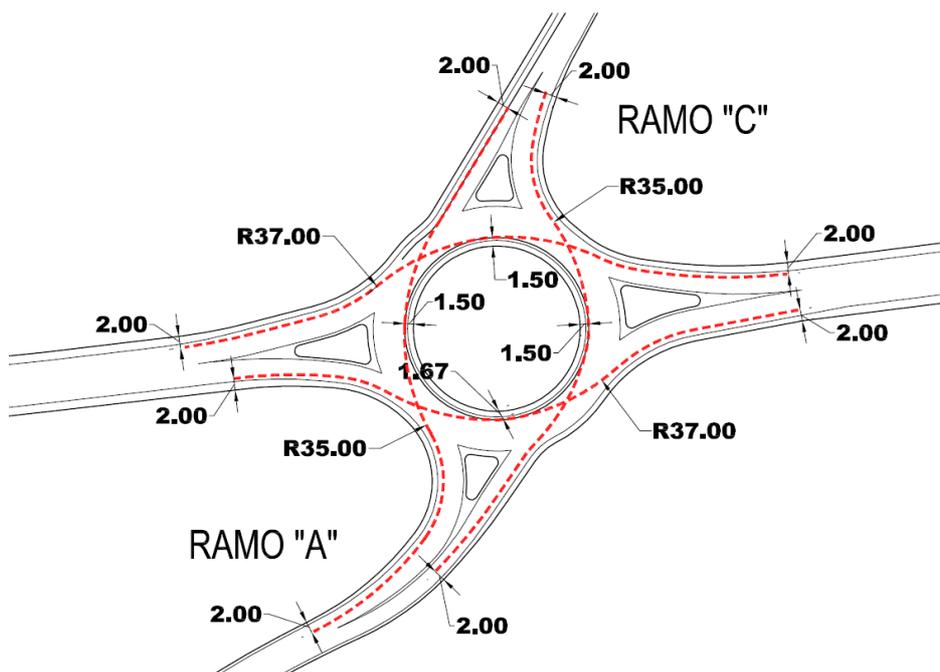
INNESTO SU ROTATORIA ESISTENTE



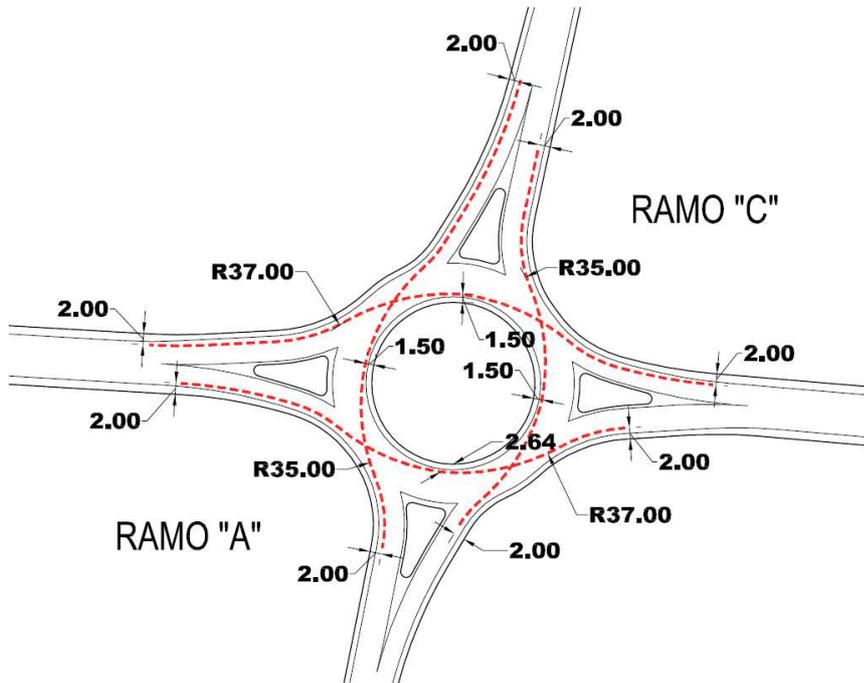
Verifica deflessione Rotatoria "R1":



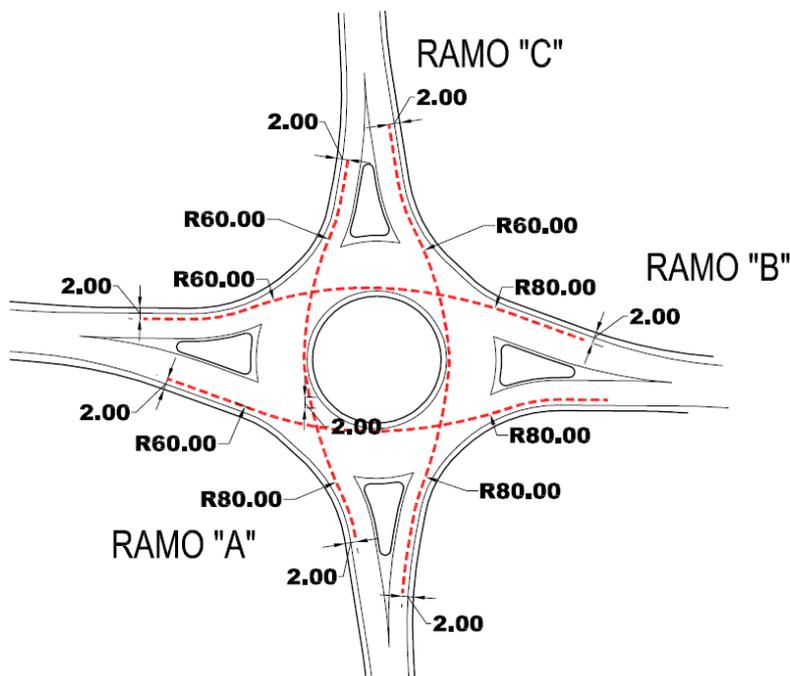
Verifica deflessione Rotatoria "R2":



Verifica deflessione Rotatoria "R3":



Verifica deflessione Rotatoria "R4":

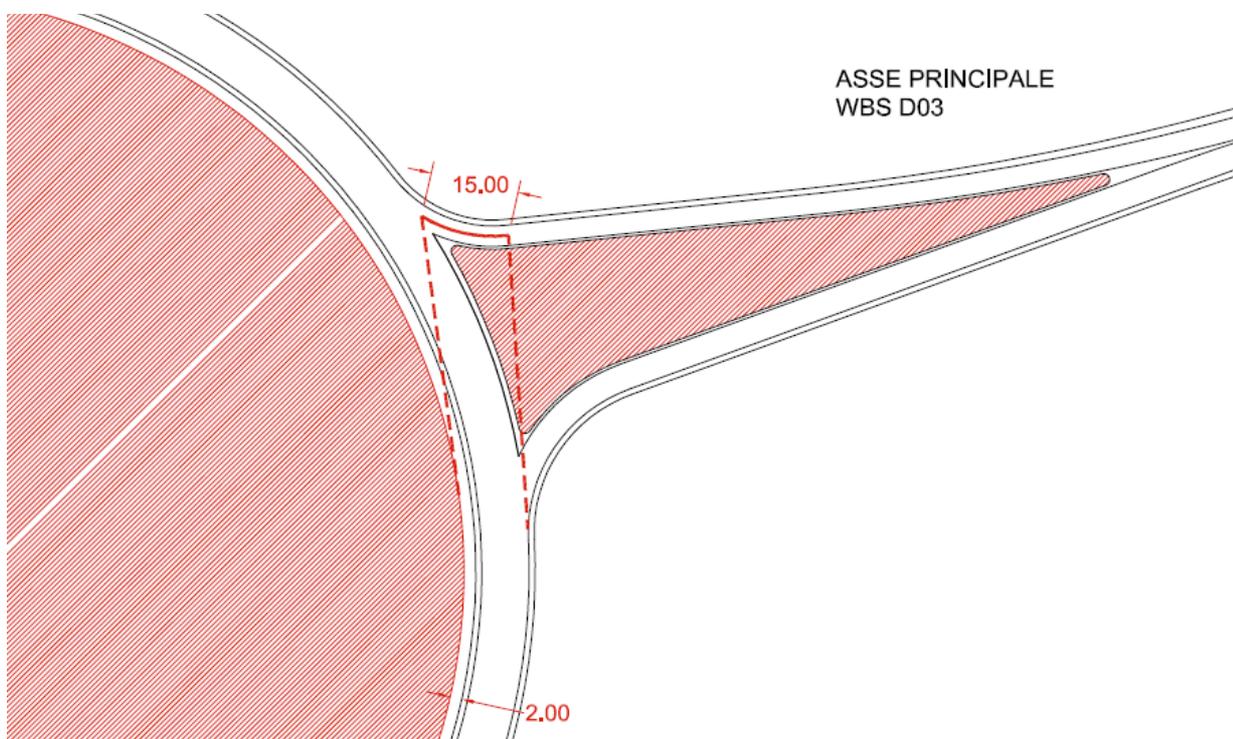


4.3.3. Analisi delle aree di visibilità

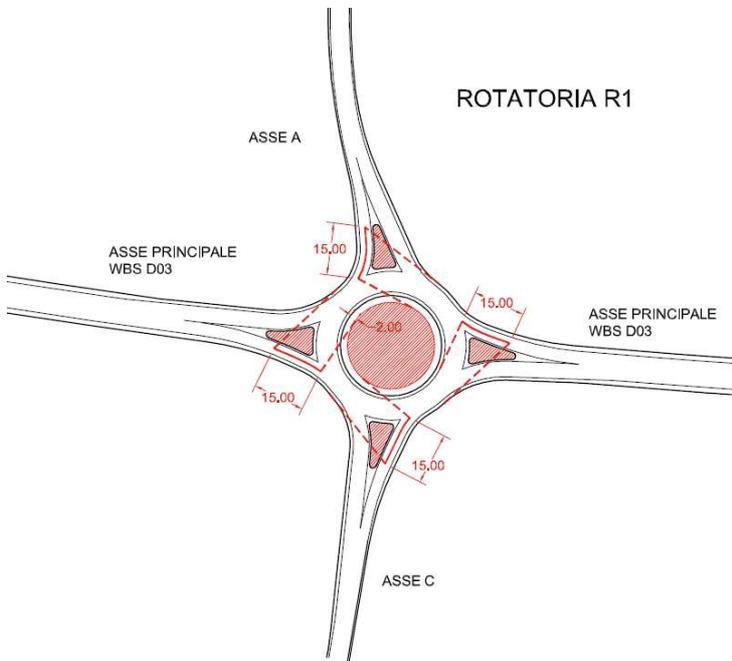
L'analisi delle visibilità relativa agli accessi alle rotonde è stata sviluppata per fornire indicazioni progettuali sulle aree da mantenere libere da ostacoli al margine delle rotonde stesse o nelle isole centrali. In particolare si devono adottare le seguenti prescrizioni:

- Il punto di osservazione si pone ad una distanza di 15m dalla linea di arresto coincidente con il bordo della circonferenza esterna;
- la posizione planimetrica si pone sulla mezzeria della corsia di entrata in rotonda (o delle corsie di entrata) e l'altezza di osservazione si colloca ad 1m sul piano viabile;
- la zona di cui è necessaria la visibilità completa corrisponde al quarto di corona giratoria posta alla sinistra del canale di accesso considerato.

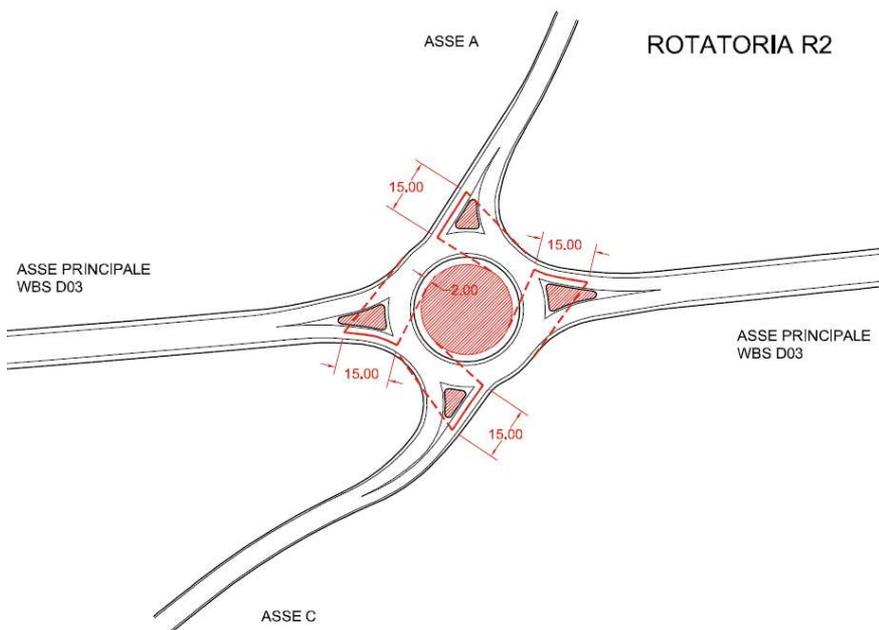
Il risultato è rappresentato nelle figure riportate di seguito in cui sono rappresentate le superfici nelle quali non devono essere previsti ostacoli di altezza superiore ad 1.0m.



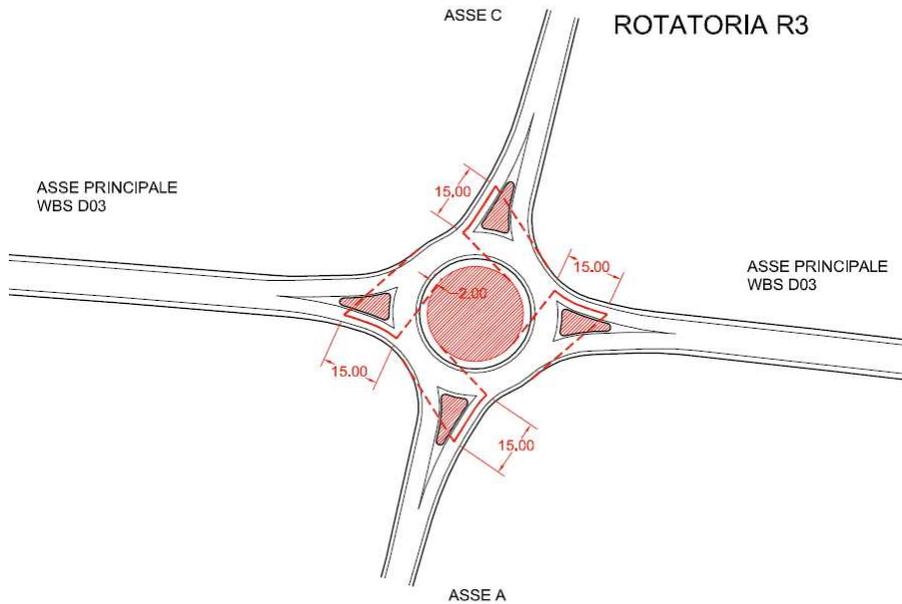
Verifica di visibilità – innesto su rotonda esistente



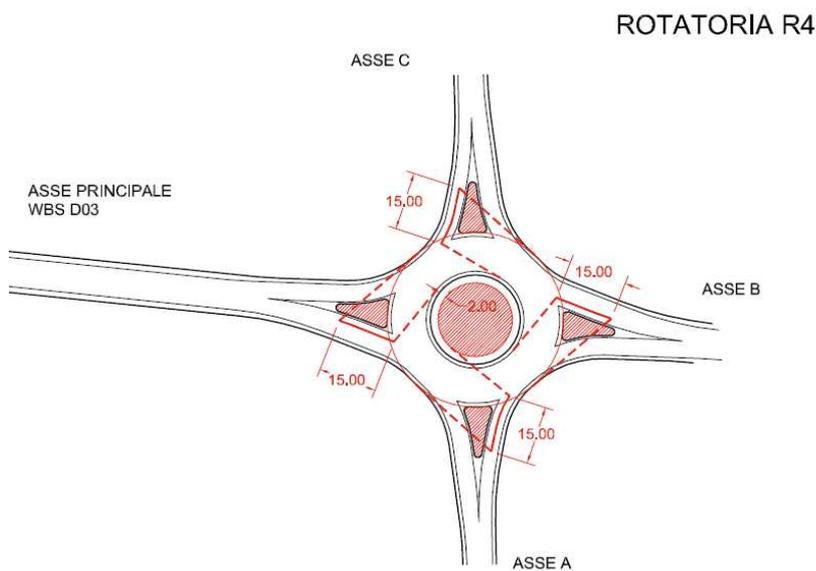
Verifica di visibilità – rotatoria R1



Verifica di visibilità – rotatoria R2



Verifica di visibilità – rotatoria R3



Verifica di visibilità – rotatoria R4

4.3.4. Analisi del livello di servizio

La determinazione del livello di servizio delle intersezioni a rotatoria in progetto è stata condotta in funzione ai dati di traffico desunti dalla analisi trasportistica (rif. elaborato PD_0_000_00000_0_GE_RH_01_A) in base ai valori di flusso riferiti al 2030 nell'ora di punta del mattino (giorno medio invernale).

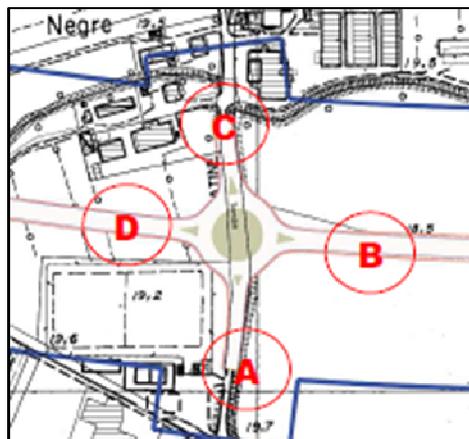
Si riportano di seguito le matrici O/D desunte dallo studio di traffico.

Rotatoria R1

TRAFFICO 2030				Ora di punta del mattino (giorno medio invernale)	
O	D	Veicoli leggeri	Veicoli pesanti	Veicoli totali effettivi	Veicoli equivalenti
D	B	570	135	705	840
B	D	630	165	795	960

Flussi da e verso A e C trascurabili in quanto strade prettamente locali non presenti nel modello

MATRICE DI DISTRIBUZIONE				
	A	B	C	D
A	-	0.00%	0%	0%
B	0.00%	-	0%	100%
C	0.00%	0.00%	-	0%
D	0.00%	100.00%	0%	-
SOMMANO	0%	100%	0%	100%



Rotatoria R1 – schema planimetrico

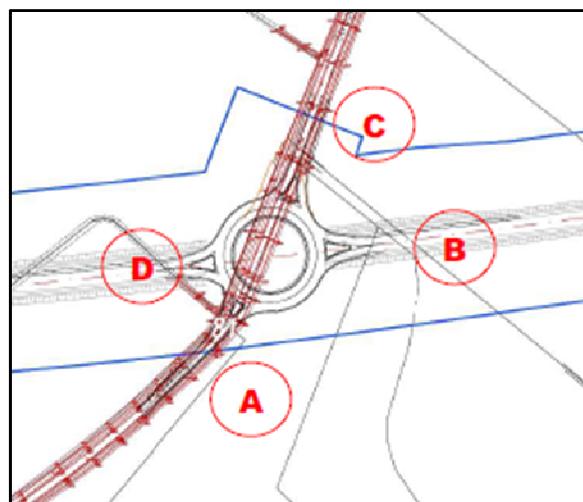
	FLUSSI TOTALI	
	ORIGINE / ENTRANTI	DESTINAZIONE / USCENTI
A	0	0
B	960	840
C	0	0
D	840	960
E	0	0
FLUSSO CIRCOLANTE	1800	1800

Rotatoria R2

TRAFFICO 2030				Ora di punta del mattino (giorno medio invernale)	
O	D	Veicoli leggeri	Veicoli pesanti	Veicoli totali effettivi	Veicoli equivalenti
D	B	570	135	705	840
B	D	630	165	795	960

Flussi da e verso A e C trascurabili in quanto strade prettamente locali non presenti nel modello

MATRICE DI DISTRIBUZIONE				
	A	B	C	D
A	-	0.00%	0%	0%
B	0.00%	-	0%	100%
C	0.00%	0.00%	-	0%
D	0.00%	100.00%	0%	-
SOMMANO	0.00%	100.00%	0.00%	100.00%



Rotatoria R2 – schema planimetrico

	FLUSSI TOTALI	
	USCENTI	ENTRANTI
A	0	0
B	960	840
C	0	0
D	840	960
E	0	0
FLUSSO CIRCOLANTE	1800	1800

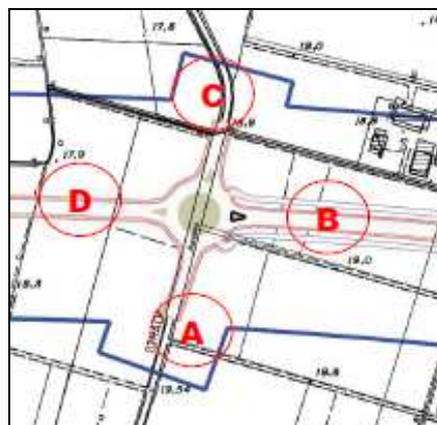
Rotatoria R3

TRAFFICO 2030		Ora di punta del mattino (giorno medio invernale)			
O	D	Veicoli leggeri	Veicoli pesanti	Veicoli totali effettivi	Veicoli equivalenti
B	D	630	165	795	960
D	B	570	135	705	840

Flussi da e verso A e C trascurabili in quanto strade prettamente locali non presenti nel modello

MATRICE DI DISTRIBUZIONE

	A	B	C	D
A	-	0.00%	0%	0%
B	0.00%	-	0%	100%
C	0.00%	0.00%	-	0%
D	0.00%	100.00%	0%	-
SOMMANO	0.00%	100.00%	0.00%	100.00%



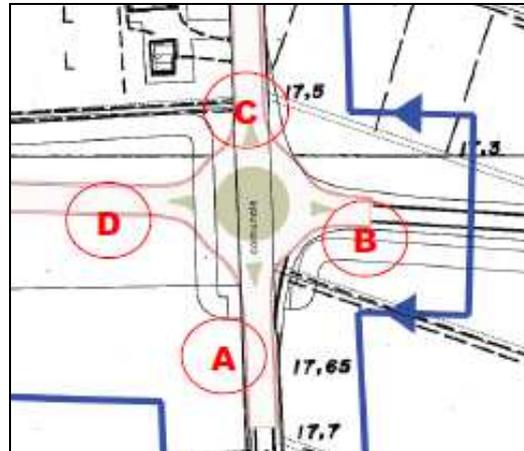
Rotatoria R3 – schema planimetrico

	TOTALE	
	ORIGINE / ENTRANTI	DESTINAZIONE / USCENTI
A	0	0
B	960	840
C	0	0
D	840	960
E	0	0
FLUSSO CIRCOLANTE	1800	1800

Rotatoria R4

TRAFFICO 2030		Ora di punta del mattino (giorno medio invernale)			
O	D	Veicoli leggeri	Veicoli pesanti	Veicoli totali effettivi	Veicoli equivalenti
A	C	180	25	205	230
A	B	150	30	180	210
A	D	170	25	195	220
C	A	200	25	225	250
C	B	80	20	100	120
C	D	10	0	10	10
B	A	30	15	45	60
B	C	70	30	100	130
B	D	450	140	590	730
D	A	330	40	370	410
D	C	10	0	10	10
D	B	230	95	325	420

MATRICE DI DISTRIBUZIONE				
	A	B	C	D
A	-	6.60%	65.8%	48.9%
B	31.90%	-	31.6%	50.0%
C	34.90%	14.20%	-	1.1%
D	33.20%	79.20%	2.6%	-
SOMMANO	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%



Rotatoria R4 – schema planimetrico

	ORIGINE / ENTRANTI	DESTINAZIONE / USCENTI
A	660	720
B	920	750
C	380	370
D	840	960
E	0	0
FLUSSO CIRCOLANTE	2800	2800

La determinazione del livello di servizio a partire dai dati di traffico sopraesposti è stata condotta con il metodo SETRA secondo i criteri descritti nel paragrafo 3.3.1 tramite opportuno software di calcolo.

Le intersezioni in progetto risultano avere livello di servizio, ottenuto sul ramo critico, superiore o uguale a quello prescritto dal D.M. 05.11.2001 per il tipo di strade confluenti nel nodo (Livello di servizio C per strade tipo C1).

Si allegano i tabulati di verifica del livello di servizio.

4.3.5. ALLEGATO LIVELLI DI SERVIZIO ROTATORIE

Di seguito si riportano le verifiche del livello di servizio.

Rotatoria R1

Distribuzione e flussi

Matrice di distribuzione - Percentuali (%)

Rami di entrata		Rami di uscita		Flussi entranti Q _e (eph)		Flussi uscenti Q _u (eph)		Flussi anello Q _c (eph)	
	B	D							
B	0.0	100.00		960.0		840.0		0.0	
D	100.0	0.00		840.0		960.0		0.0	
Verifica 100%	100.00	100.00		1,800.0		1,800.0			

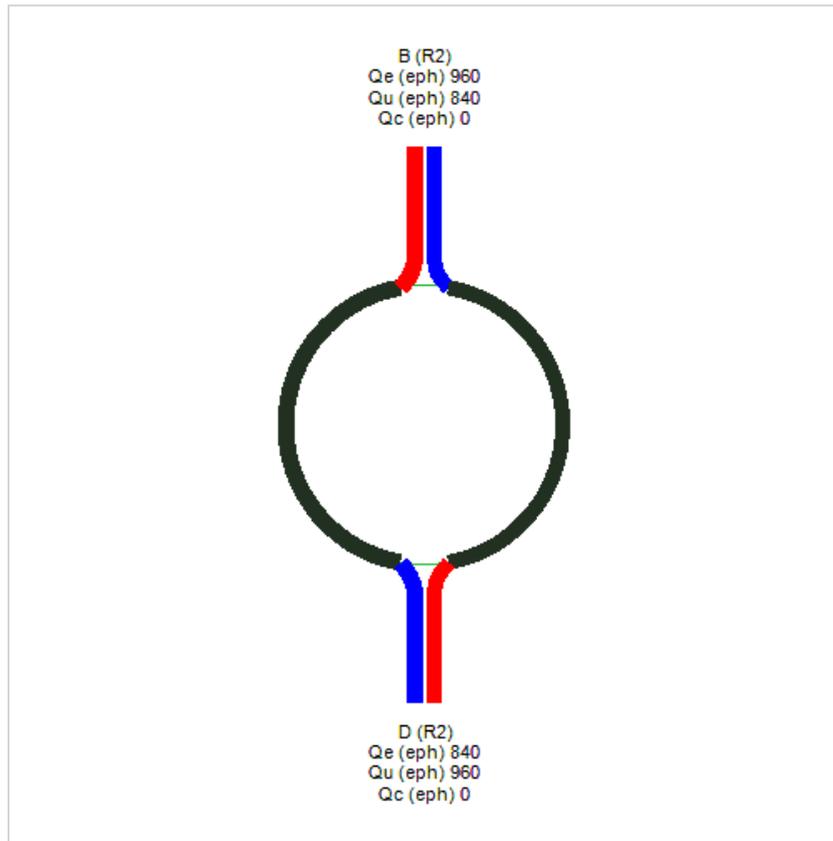
Periodo di analisi = 0.25

Caratteristiche geometriche della rotatoria e degli innesti

Ramo	SEP (m)	ENT (m)	Capacità dei bracci							Capacità totale della rotatoria		Livello di servizio						
			Q'e (eph)	Q'u (eph)	Qd (eph)	K' (eph)	$\bar{\delta}$	K (eph)	Q _{e,k} (eph)	ΔK (eph)	Q*e (eph)	x	t _m (s)	L _m	L _m (m)	L _{max}	L _{max} (m)	LOS
B	11.14	3.50	960.0	215.9	168.4	1,212.1	1.23	1,184.5	1,184.5	0.0	1,162.7	0.79	18.2	4.8	29.1	8.9	53.4	C
D	11.74	3.50	840.0	208.5	162.6	1,216.2	1.39	1,189.6	1,036.5	153.1	1,192.1	0.69	14.3	3.3	20.0	5.9	35.7	B

ANN (m) = 6.00 $\bar{\delta}_{i,min}$ = 1.23 $Q_{e,k,tot}$ (eph) = 2221.0 **C_{tot} (eph) = 2354.8**

Diagramma di flusso



Distribuzione e flussi

Matrice di distribuzione - Percentuali (%)

Rami di entrata				Flussi entranti Q _e (eph)		Flussi uscenti Q _u (eph)		Flussi anello Q _c (eph)	
Rami di uscita	B	D							
B	0.00	100.00		960.0		840.0		0.0	
D	100.00	0.00		840.0		960.0		0.0	
Verifica 100%	100.00	100.00		1,800.0		1,800.0			

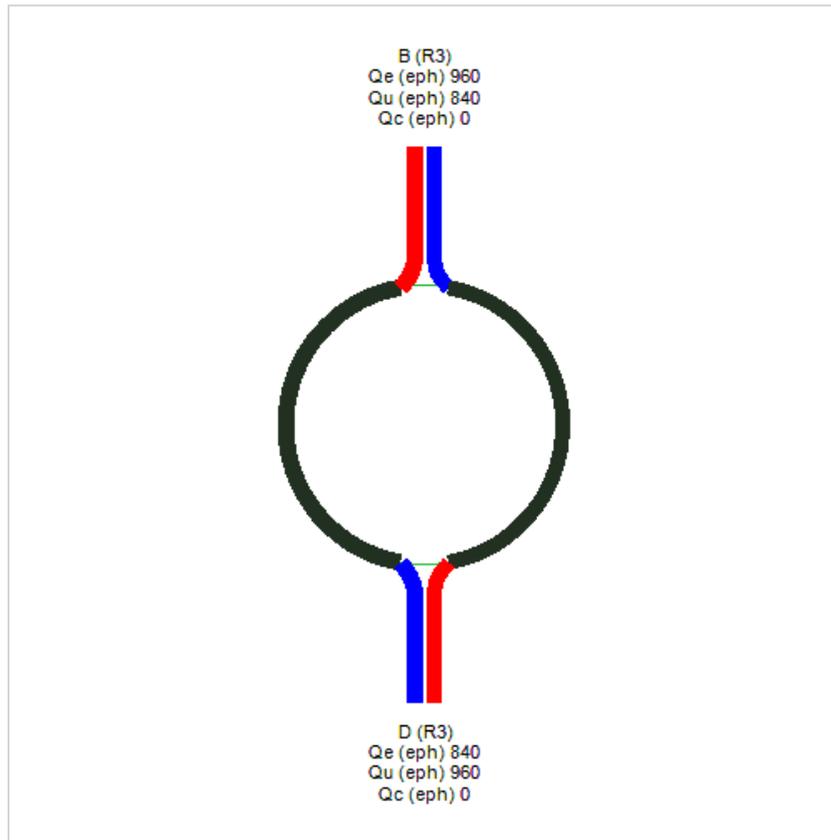
Periodo di analisi = 0.25

Caratteristiche geometriche della rotatoria e degli innesti

Ramo	SEP (m)	ENT (m)	Capacità dei bracci							Capacità totale della rotatoria		Livello di servizio						
			Q'e (eph)	Q'u (eph)	Qd (eph)	K' (eph)	$\bar{\delta}$	K (eph)	Q _{e,k} (eph)	ΔK (eph)	Q*e (eph)	x	t _m (s)	L _m	L _m (m)	L _{max}	L _{max} (m)	LOS
B	11.19	3.50	960.0	213.3	166.4	1,213.5	1.24	1,186.1	1,186.1	0.0	1,170.9	0.79	18.1	4.8	29.0	8.9	53.2	C
D	10.71	3.50	840.0	274.4	214.1	1,180.2	1.34	1,144.9	1,037.8	107.0	1,147.2	0.71	15.2	3.5	21.3	6.4	38.6	C

ANN (m) = 6.00 $\bar{\delta}_{i,min}$ = 1.24 C_{tot} (eph) = 2318.2
 Q_{e,k,tot} (eph) = 2223.9

Diagramma di flusso



R3

Distribuzione e flussi

Matrice di distribuzione - Percentuali (%)

Rami di uscita		Rami di entrata		Flussi entranti Q _e (eph)	Flussi uscenti Q _u (eph)	Flussi anello Q _c (eph)
		D	B			
D		0	100.00	840.0	960.0	0.0
B		100.00	0.00	960.0	840.0	0.0
Verifica 100%		100.00	100.00	1,800.0	1,800.0	

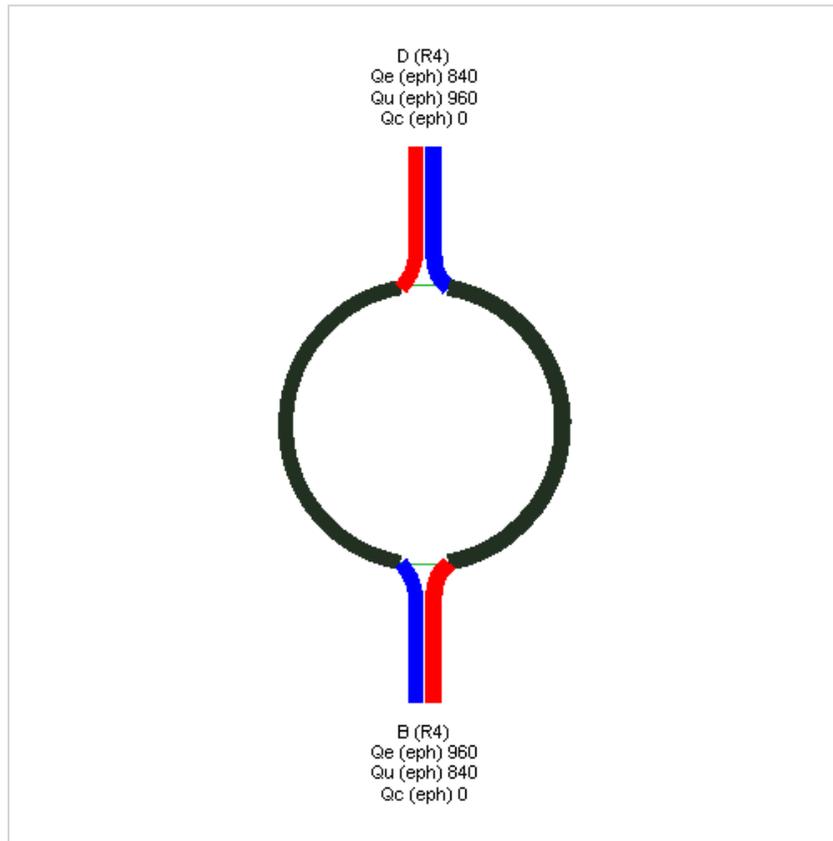
Periodo di analisi = 0.25

Caratteristiche geometriche della rotonda e degli innesti

Ramo	SEP (m)	ENT (m)	Capacità dei bracci							Capacità totale della rotonda		Livello di servizio						
			Q'e (eph)	Q'u (eph)	Qd (eph)	K' (eph)	$\bar{\delta}$	K (eph)	Q _{e,k} (eph)	ΔK (eph)	Q*e (eph)	x	t _m (s)	L _m	L _m (m)	L _{max}	L _{max} (m)	LOS
D	10.79	3.50	840.0	269.6	210.3	1,182.8	1.35	1,150.5	1,024.1	126.5	1,153.6	0.71	15.1	3.5	21.2	6.4	38.4	C
B	10.72	3.50	960.0	239.8	187.0	1,199.1	1.22	1,170.4	1,170.4	0.0	1,150.2	0.80	18.8	5.0	30.0	9.2	55.3	C

ANN (m) = 6.00 $\bar{\delta}_{i,min}$ = 1.22 C_{tot} (eph) = 2303.8
 Q_{e,k,tot} (eph) = 2194.5

Diagramma di flusso



Rotatoria R4

Distribuzione e flussi

Matrice di distribuzione - Percentuali (%)

		Rami di entrata				Flussi entranti Q _e (eph)	Flussi uscenti Q _u (eph)	Flussi anello Q _c (eph)
		A	B	C	D03			
Rami di uscita	A	0.00	6.60	65.80	48.90	660.0	721.5	549.3
	B	31.90	0.00	31.60	50.00	920.0	750.6	458.7
	C	34.90	14.20	0.00	1.10	380.0	370.2	1,008.5
	D03	33.20	79.20	2.60	0.00	840.0	957.6	430.8
	Verifica 100%	100.00	100.00	100.00	100.00	2,800.0	2,800.0	

Periodo di analisi = 0.25

Caratteristiche geometriche della rotatoria e degli innesti

Ramo	SEP (m)	ENT (m)	Capacità dei bracci							Capacità totale della rotatoria	Livello di servizio							
			Q'e (eph)	Q'u (eph)	Qd (eph)	K' (eph)	δ	K (eph)	Q _{e,k} (eph)	ΔK (eph)	Q*e (eph)	x	t _m (s)	L _m	L _m (m)	L _{max}	L _{max} (m)	LOS
A	10.96	3.50	660.0	194.5	621.3	895.1	1.21	836.3	749.3	87.0	797.7	0.74	19.4	3.6	21.3	6.8	41.0	C
B	8.37	6.00	736.0	331.8	622.1	1,118.1	1.14	1,044.5	1,044.5	0.0	1,003.8	0.82	21.1	5.4	32.3	9.9	59.6	C
C	10.98	3.50	380.0	99.2	983.2	641.7	1.25	548.6	431.4	117.2	559.4	0.59	18.4	1.9	11.7	3.9	23.4	C
D03	9.48	6.00	672.0	352.3	609.2	1,129.5	1.21	1,057.4	953.7	103.7	962.3	0.74	16.8	3.9	23.5	7.3	43.5	C

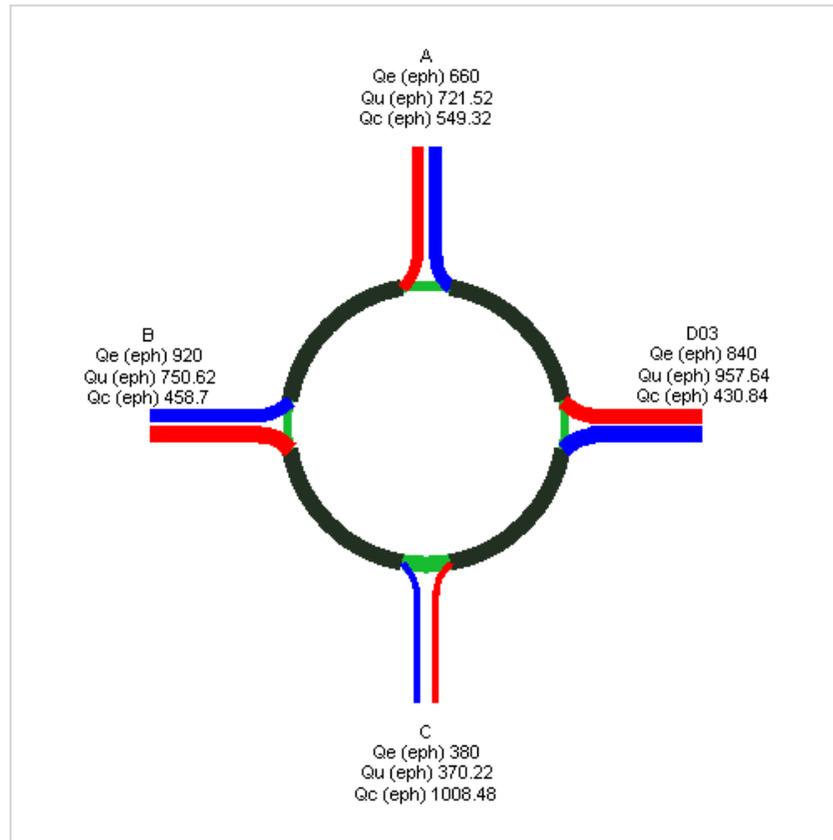
ANN (m) = 9.00

$\delta_{i,min}$ = 1.14
 Q_{e,k,tot} (eph) = 3178.9

C_{tot} (eph) = 3323.1

Rotatoria R4

Diagramma di flusso



Legenda

eph = Autovetture equivalenti / ora

Q_e = Flussi entranti

Q_u = Flussi uscenti

$Q'e$ = Flussi equivalenti in entrata

$Q'u$ = Flussi equivalenti in uscita

Q_c = Flussi sull'anello

Q_d = 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

$Q_{e,k}$ = Flussi di ingresso a capacità raggiunta su un ramo

$Q_{e,k,tot}$ = 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

C_{tot} = Capacità totale della rotatoria

x = Grado di saturazione

$t_m(s)$ = Tempo medio di attesa

L_m = Lunghezza media della coda (in veicoli)

$L_m(m)$ = Lunghezza media della coda (in metri)

L_{max} = Lunghezza massima della coda (in veicoli)

$L_{max}(m)$ = Lunghezza massima della coda (in metri)

LOS = Livello di servizio