



PROVINCIA DI LODI
Area Infrastrutture - Lavori Pubblici - Trasporti
U.O.6 Infrastrutture



LAVORI DI REALIZZAZIONE DI UNA ROTATORIA
TRA LA S.P.26 E LA S.S. 9 "VIA EMILIA"
CUP: D77H22002660001

OGGETTO:

SERVIZIO PER LA REDAZIONE DEL PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO-ECONOMICA, ESECUTIVO, DIREZIONE DEI LAVORI E COORDINAMENTO DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE E ESECUZIONE

PROGETTO DI FATTIBILITÀ
TECNICO-ECONOMICA



P&P LMC SRL
Via Pastrengo, 9 - 24068 - Seriate (BG)
+39 035 3235700 - fax +39 035 3235750
E-mail: info@peplmc.it

Timbro:



Scala:

Elaborato:

RELAZIONE TECNICA STRADALE

Autore:

NT

Codice:

011_24_NT

Data:

Agosto 2025

REVISIONE:

00

DATA:

25/08/2025

DESCRIZIONE:

Emissione Tavola

Tavola:

A.04

INDICE

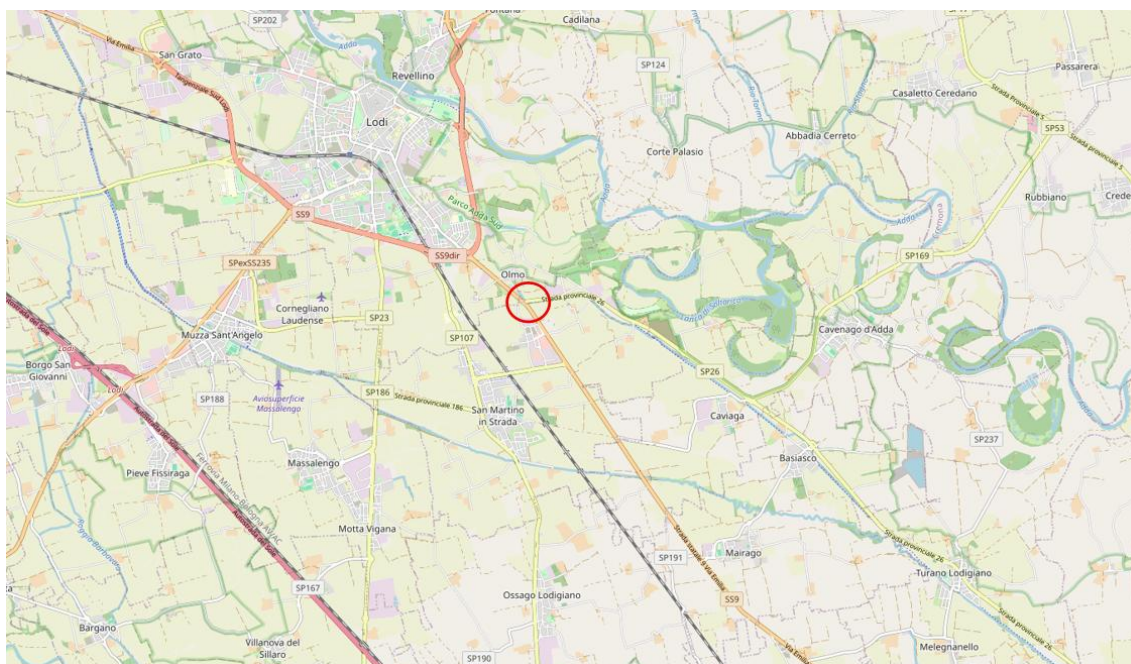
1. PREMESSE E SCOPI	3
2. RIFERIMENTI NORMATIVI	5
3. DESCRIZIONE DELLO STATO DI FATTO	6
4. DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO IN PROGETTO	11
4.1 CARATTERISTICHE GEOMETRICHE	12
4.2 SEZIONI STRADALI TIPO	14
5. CAPACITÀ DELLA ROTATORIA E LIVELLI DI SERVIZIO.....	16
5.1 ANALISI DEL TRAFFICO	16
5.2 CALCOLO DELLA CAPACITÀ DELLA ROTATORIA	19
5.3 LIVELLO DI SERVIZIO.....	20
6. VERIFICHE DI PERCORRENZA	23
7. ANALISI VISIBILITÀ	26
7.1 VERIFICA DI VISIBILITÀ NELL'INTERSEZIONE	26
7.2 VERIFICA DI VISIBILITÀ PER L'ARRESTO	27
8. SEGNALETICA.....	29
9. BARRIERE DI SICUREZZA	30
9.1 CLASSE DI TRAFFICO	30
9.2 DEFINIZIONE CLASSE MINIMA	30

1. PREMESSE E SCOPI

A seguito della Determina Dirigenziale n.1322 Area infrastrutture – Lavori Pubblici e Trasporti – U.O. 6 Infrastrutture del 20/11/2024, la Provincia di Lodi ha affidato alla ditta P&P Consulting Engineers Studio Associato l'incarico per la redazione del PFTE, del Progetto Esecutivo, nonché della Direzione Lavori e Coordinamento della Sicurezza relativi all'intervento di realizzazione di una nuova rotatoria all'intersezione tra la S.S.9 "via Emilia" e la S.P.26 in comune di San Martino in Strada.

Il presente documento costituisce la relazione tecnica stradale del Progetto di Fattibilità Tecnico-Economica dell'intersezione a rotatoria tra la S.S.9 "via Emilia" al km 293+380 e la S.P.26 al km 0+000.

La Strada Statale n.9 "Via Emilia" costituisce un'arteria di primaria importanza a livello nazionale, collegando il comune di San Donato Milanese in provincia di Milano alla città di Rimini e attraversando trasversalmente parte della Lombardia e l'intera regione Emilia-Romagna. La Strada Provinciale n.26, invece, connette il comune di Lodi con quello di Castiglione d'Adda, innestandosi sulla più rilevante S.P. exS.S.591 "Cremasca" e svolgendo un ruolo strategico nel raccordare facilitare i flussi tra viabilità locale e quella sovra-provinciale.



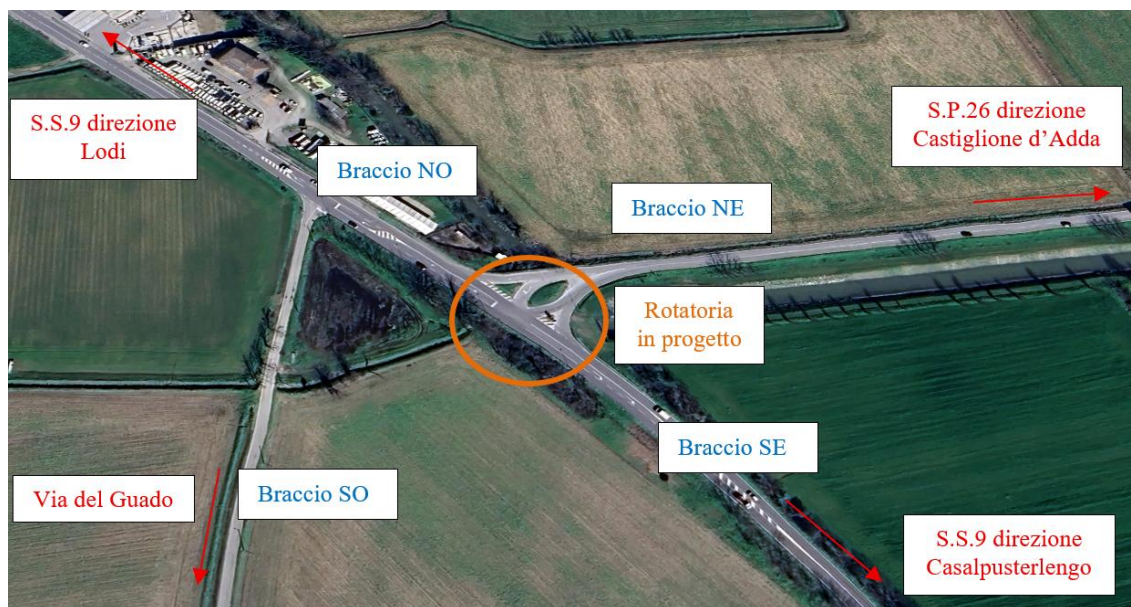
Localizzazione dell'area di intervento

L'intersezione oggetto di intervento risulta costituita dai seguenti tronchi stradali:

- S.S.9, proveniente da Lodi (braccio NO);
- S.P.26, proveniente da Castiglione d'Adda (braccio NE);
- S.S.9, proveniente da Casalpusterlengo (braccio SE).

A questi tronchi stradali principali, si aggiunge il braccio Sud-Ovest che connette in rotatoria la viabilità locale di penetrazione al comparto industriale presente a sud dell'incrocio con la S.S.9.

- Viabilità locale - via del Guado (braccio SO).



Situazione attuale dell'intersezione con indicazione della posizione della rotatoria

L'intervento in oggetto ha per obiettivo l'adeguamento dell'intersezione a raso tra la viabilità statale e quella provinciale, attraverso la realizzazione di una rotatoria tesa ad eliminare le principali criticità della strada migliorandone la sicurezza.

2. RIFERIMENTI NORMATIVI

Per quanto riguarda gli aspetti stradali, il presente progetto è stato redatto sulla base dei seguenti riferimenti normativi:

- D.Lgs. 30/04/92, n. 285 e s.m.i.: “Nuovo Codice della Strada”;
- D.P.R. 16/12/1992 n. 495 e s.m.i.: “Regolamento di esecuzione e di attuazione del Codice della Strada”;
- DM 19/04/06 “Norme funzionali e Geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali”, pubblicato sulla G.U. n. 170 del 24/07/06;
- DM 05/11/01 n. 6792 “Norme funzionali e Geometriche per la costruzione delle strade”, pubblicato sulla G.U. n. 3 del 04/01/02, S.O. n. 5;
- Linee guida – Zone di intersezione (Allegato “A” del Regolamento Regionale n. 7/2006 della Regione Lombardia);
- DM 18/02/92, n. 223: “Regolamento recante istruzioni tecniche per la progettazione, l’omologazione e l’impiego delle barriere stradali di sicurezza”, così come aggiornato dal DM 21/06/04: “Aggiornamento delle istruzioni tecniche per la progettazione, l’omologazione e l’impiego delle barriere stradali di sicurezza”;
- DM 28/06/2011 “Disposizioni sull’uso e l’installazione dei dispositivi di ritenuta stradale”, pubblicato sulla G.U. n. 233 del 06-10-2011;
- UNI 11248, UNI EN 13201-2, -3 e -4 (illuminazione pubblica);
- Decreto 30 novembre 1999, n. 557. Regolamento recante norme per la definizione delle caratteristiche tecniche delle piste ciclabili”;
- Legge 25 novembre 2024 n. 177 “Interventi in materia di sicurezza stradale e delega al Governo per la revisione del codice della strada” pubblicato sulla G.U. n. 280 del 29/11/2024.

Per gli aspetti non strettamente riconducibili alla progettazione stradale, il presente progetto fa riferimento e si attiene scrupolosamente alle seguenti normative:

- Decreto legislativo 9 aprile 2008 n. 81 e s.m.i. “Attuazione dell'articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro”;
- Decreto legislativo 31 marzo 2023, n. 36 “Codice dei contratti pubblici”.

3. DESCRIZIONE DELLO STATO DI FATTO

La gestione della S.S.9 ricade nelle competenze di ANAS, mentre la S.P.26 è di competenza della provincia di Lodi, promotrice dell'intervento di miglioramento della sicurezza dell'intersezione a raso, oggetto del presente progetto, mediante la realizzazione di una rotatoria.

L'intersezione è allo stato attuale a raso lineare, dotata di isole di traffico solamente sulla strada provinciale, senza che vi sia isola divisionale lungo la strada statale. La svolta a sinistra dalla S.S.9 alla S.P.26 è dotata di corsia canalizzata regolamentata da segnaletica di STOP. È presente una corsia centrale di attesa, non fisicamente separata, per l'immissione a sinistra dalla provinciale alla Statale. Le manovre di svolta a destra avvengono su corsie separate, regolamentate da diritto di precedenza.

Per quanto riguarda le caratteristiche geometriche dei tronchi stradali afferenti all'intersezione, la S.S.9 si presenta a carreggiata unica con una corsia per senso di marcia e, sebbene la banchina non sia presente in modo continuativo, risulta assimilabile alla categoria C1; la S.P.26, a carreggiata unica con una corsia per senso di marcia, può assimilarsi alla categoria C2, pur anch'essa con caratteristiche degli elementi sub-standard.

Allo stato attuale, l'intersezione risulta critica per l'assenza della corsia d'accumulo protetta per la svolta a sinistra sia sulla viabilità provinciale sia sulla S.S.9. che rende le manovre di svolta prive di "protezione" e quindi particolarmente pericolose.

Nella configurazione della rotatoria di progetto è stata prevista anche la connessione con la viabilità locale a servizio del comparto industriale situato in direzione sud-ovest rispetto all'attuale intersezione. Attualmente tale viabilità si immette sulla S.S. 9 a una distanza di circa 100 m a nord dell'incrocio esistente.

Considerata la limitata distanza tra l'attuale innesto e la nuova rotatoria, nonché al fine di garantire una migliore razionalizzazione dell'assetto plano-altimetrico dell'intersezione, è stata sviluppata una variante al tracciato della viabilità locale. La modifica consente di convogliare i flussi veicolari direttamente all'interno della nuova rotatoria, configurando così il nuovo braccio sud-ovest (SO) di progetto.

Si riporta di seguito una breve documentazione fotografica della viabilità esistente.



Vista dall'alto dell'intersezione tra la S.S.9 e la S.P.26



S.S.9 direzione Lodi in prossimità dell'incrocio con la S.P.26



S.S.9 direzione Casalpusterlengo in prossimità dell'incrocio con la S.P.26



S.P.26 direzione S.S.9



S.P.26 particolare incrocio con S.S.9



S.S.9 in prossimità dell'incrocio con la via del Guado



via del Guado in prossimità dell'incrocio con la S.S.9

4. DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO IN PROGETTO

L'intervento in progetto consiste miglioramento funzionale dell'intersezione mediante la realizzazione di una rotatoria compatta a 4 bracci avente diametro esterno pari a 46 metri. In particolare, l'intervento è volto all'adeguamento delle prestazioni di sicurezza stradale dell'intersezione oggi esistente.

Gli ingressi alla rotatoria lungo la S.S.9 saranno realizzati a doppia corsia, al fine di garantire un'adeguata capacità di smaltimento del rilevante flusso veicolare che caratterizza il tratto in oggetto della via Emilia. L'immissione proveniente dalla S.P.26 sarà invece configurata con singola corsia, in relazione ai minori volumi di traffico misurati e attesi.

Oltre ai due rami della S.S.9 (bracci Nord-Ovest e Sud-Est) e alla S.P.26 (braccio Nord-Est), è stata fatta convergere in rotatoria anche la viabilità locale di penetrazione al comparto industriale (braccio Sud-Ovest), che attualmente innesta nella semicarreggiata della S.S.9 a circa 100 m a nord rispetto all'intersezione oggetto del presente progetto.

L'inserimento del braccio relativo alla viabilità locale in rotatoria, oltretutto permettere di razionalizzare l'assetto dell'intersezione, garantisce il raggiungimento di più elevati livelli di sicurezza stradale, altrimenti difficilmente raggiungibili a causa della vicinanza dell'intersezione tra la viabilità locale e la S.S.9 con la rotatoria di progetto.

La presenza di opere d'arte interrato per la canalizzazione del Deviatore di Ca' de Bolli e dello scaricatore Bertonica rappresenta un vincolo fisico rilevante per il posizionamento e il dimensionamento della rotatoria di progetto. Al fine di contenere l'impatto dell'intervento sia sotto il profilo ambientale che economico, in accordo con la Pubblica Amministrazione, si è ritenuto opportuno evitare la realizzazione di ulteriori manufatti di tombinatura dello scaricatore, per mezzo della realizzazione di un ampliamento dell'attuale manufatto di scavalco posto in corrispondenza della S.P.26.

È stato inoltre concordato che la nuova piattaforma stradale dovrà essere configurata in modo da non interferire con le aree di servizio afferenti al manufatto di regimazione del Deviatore. Tale scelta progettuale è finalizzata a garantire al gestore del manufatto la piena accessibilità necessaria per le attività di manutenzione ordinaria e straordinaria, nonché per gli interventi di regimazione dei corsi d'acqua.

Con riferimento al DM 05/11/2001, la viabilità della S.S.9 è di tipo C1 (corsie da 3,75 m e banchina da 1,50 m), mentre il ramo nord-est della S.P.26 presenta una sezione stradale di tipo C2 (corsie da 3,50 m e banchina da 1,25 m). Entrambe le viabilità presentano larghezza delle banchine in alcuni tratti più contenute rispetto allo standard previsto dalla vigente normativa.

Per quanto riguarda la strada di penetrazione al comparto industriale, si è adottato una sezione stradale di tipo F1 (corsie da 3,50 m e banchina da 1,00 m), che andrà a raccordarsi alla viabilità esistente caratterizzata da elementi sub-standad.

Al fine di ottimizzare lo smaltimento dei flussi veicolari, il progetto prevede la realizzazione di un ingresso a due corsie sulla S.S. 9, sia in direzione Lodi sia in direzione Casalpusterlengo, in considerazione della maggiore intensità e continuità del traffico lungo tale direttrice durante l'intero arco dell'anno. Gli accessi provenienti dalla S.P. 26 e dalla viabilità locale di penetrazione sono invece stati dimensionati a una sola corsia, coerentemente con i volumi di traffico più contenuti registrati su tali direttrici.

In considerazione della presenza di doppie corsie di ingresso la rotatoria in progetto sarà caratterizzata da una larghezza dell'anello circolatorio pari a 9,00 m compreso di banchina di 1,00 m. Le larghezze delle corsie di ingresso sono pari a 7,00 m per i bracci sulla S.S.9 e di 3,50 m per la S.P.26.

Per quanto riguarda la viabilità locale a servizio del comparto industriale, in considerazione dell'assenza di dati certi sul traffico attuale e prospettico e nell'ottica di un possibile futuro sviluppo del comparto, si è optato per la realizzazione di un braccio di ingresso e uscita avente caratteristiche geometriche analoghe a quelle della S.P.26

Al fine di contenere i movimenti di terra lungo le principali direttrici afferenti alla rotatoria, l'andamento altimetrico longitudinale dei bracci della S.S.9 e della S.P.27 è stato mantenuto quanto più possibile aderente allo stato di fatto. Diversamente, per quanto riguarda la viabilità locale di accesso al comparto industriale, le condizioni orografiche del terreno situato a est della S.S.9 — caratterizzato da una quota altimetrica inferiore rispetto alla sede stradale esistente — non consentono un analogo contenimento dei movimenti di terra, rendendo pertanto necessarie maggiori opere di modellazione altimetrica.

In particolare, la nuova viabilità su via del Guado verrà realizzata con una pendenza del 2,5% in modo da superare un dislivello pari a circa 1,65 m.

A completamento degli interventi volti al miglioramento funzionale dell'intersezione, il progetto prevede ulteriori opere finalizzate all'innalzamento dei livelli di sicurezza dell'infrastruttura, tra cui il ripristino e l'adeguamento dei dispositivi di ritenuta, della segnaletica orizzontale e verticale, il rifacimento del manto stradale, l'adeguamento del sistema di drenaggio delle acque di piattaforma e di versante, nonché la realizzazione dell'impianto di illuminazione pubblica.

4.1 CARATTERISTICHE GEOMETRICHE

I valori dei principali elementi geometrici della rotatoria di progetto sono riportati nella seguente tabella, per ulteriori approfondimenti si rinvia agli elaborati grafici dedicati.

ROTATORIA	
Diametro esterno = 46,00 m	Larghezza carreggiata anulare = 9,00 m
Diametro isola centrale = 24,00 m	Larghezza banchina interna = 0,50 m
Larghezza corona sormontabile = 2,00 m	Larghezza banchina esterna = 0,50 m
Numero di corsie = 1	

BRACCIO NO (S.S.9)	
N. di corsie d'ingresso = 2	Larghezza corsia di entrata = 7,00 m
N. di corsie di uscita = 1	Larghezza corsia di uscita = 4,50 m
Lunghezza corsia aggiuntiva = 60,00 m	Tratto di raccordo = 28,00 m
Raggio di entrata = 15,0 m	Raggio di uscita = 20,0 m
Raggio di entrata di raccordo = 92,00 m	Raggio di uscita di raccordo = 92,00 m
Larghezza banchina interna = 1,00 m	Larghezza banchina esterna = 1,00 m

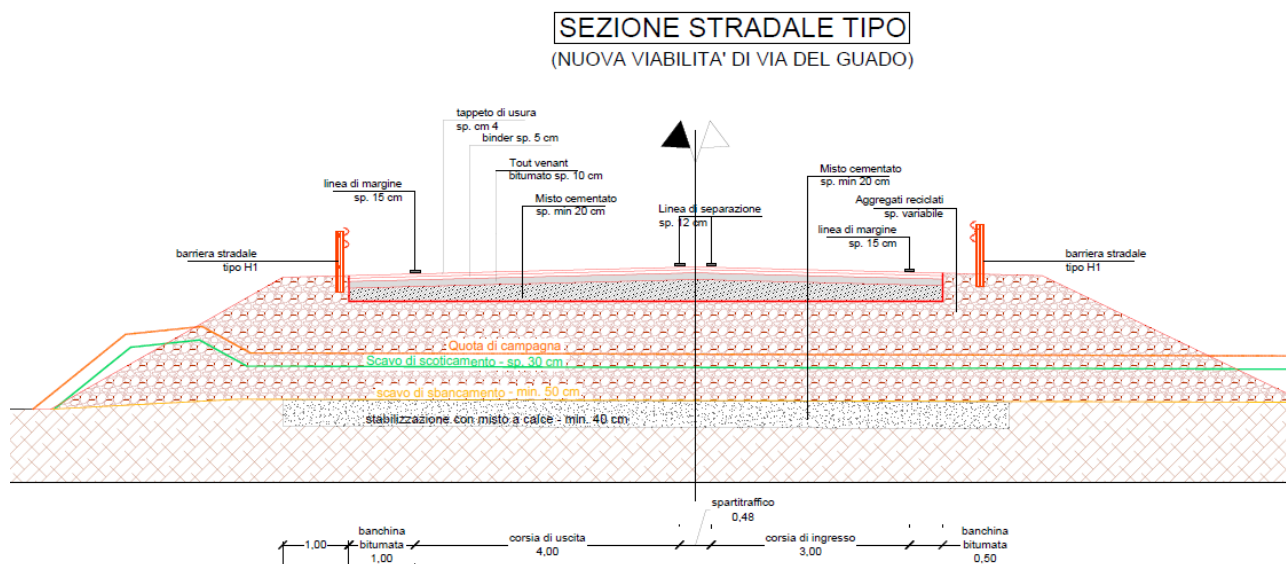
BRACCIO NE (S.P.26)	
N. di corsie d'ingresso = 1	Larghezza corsia di entrata = 3,50 m
N. di corsie di uscita = 1	Larghezza corsia di uscita = 4,5 m
Raggio di entrata = 20,0 m	Raggio di uscita = 25,00 m
Raggio di entrata di raccordo = 92,00 m	Raggio di uscita di raccordo = 92,00 m
Larghezza banchina interna = 1,00 m	Larghezza banchina esterna = 1,00 m

BRACCIO SE (S.S.9)	
N. di corsie d'ingresso = 2	Larghezza corsia di entrata = 7,00 m
N. di corsie di uscita = 1	Larghezza corsia di uscita = 4,50 m
Lunghezza corsia aggiuntiva = 57,00 m	Tratto di raccordo = 30,00 m
Raggio di entrata = 10,0 m	Raggio di uscita = 20,0 m
Raggio di entrata di raccordo = 92,00 m	Raggio di uscita di raccordo = 92,00 m
Larghezza banchina interna = 1,00 m	Larghezza banchina esterna = 1,00 m

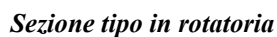
BRACCIO SO (via del Guado)	
N. di corsie d'ingresso = 1	Larghezza corsia di entrata = 3,50 m
N. di corsie di uscita = 1	Larghezza corsia di uscita = 4,5 m
Raggio di entrata = 15,0 m	Raggio di uscita = 20,00 m
Raggio di entrata di raccordo = 92,00 m	Raggio di uscita di raccordo = 92,00 m
Larghezza banchina interna = 1,00 m	Larghezza banchina esterna = 1,00 m

4.2 SEZIONI STRADALI TIPO

Si riportano di seguito gli schemi delle sezioni stradali principali. Per maggiori dettagli si rimanda all'elaborato grafico "E.10 – Sezioni stradali tipo".



Via del Guado - Viabilità modificata



5. CAPACITÀ DELLA ROTATORIA E LIVELLI DI SERVIZIO

5.1 ANALISI DEL TRAFFICO

L'analisi del flusso del traffico è il parametro principale per l'analisi delle prestazioni operative degli ingressi delle rotatorie. I dati relativi al traffico sulla S.S.9 e sulla S.P.26 provengono da fonti ufficiali e sono stati forniti direttamente dalla Pubblica Amministrazione.

Per quanto riguarda la S.S.9, i dati sono stati raccolti da ANAS e riferiscono ad una posizione di rilevamento del traffico installata al KM 291+177 su un arco temporale di 337 giorni, garantendo una base statistica solida e rappresentativa.

Sulla S.P.26, invece, i dati derivano da una campagna di rilevamento condotta in località Miragolo (LO) nel periodo compreso tra il 21/05/2024 e il 27/05/2024.

Il monitoraggio del traffico effettuato sulle due arterie principali che confluiscono nell'incrocio a raso ha permesso di determinare il traffico medio giornaliero (TGM) e l'incidenza dei veicoli pesanti rispetto al totale.

Queste informazioni costituiscono la base per il calcolo delle portate orarie di progetto e per la successiva verifica analitica della capacità e del livello di servizio della rotatoria, secondo il metodo SETRA.

Per la valutazione della capacità delle rotatorie, occorre preliminarmente correggere i volumi di traffico da impiegare nelle valutazioni successive attraverso l'impiego di coefficienti che tengono conto del tipo di veicolo che entra in rotatoria, secondo lo schema seguente:

1 ciclo o motociclo sull'anello	0.8 autovetture
1 ciclo o motociclo in ingresso	0,2 autovetture
1 veicolo pesante	2 autovetture
1 autobus	2 autovetture

Di seguito si riportano i dati relativi al traffico medio giornaliero distinto per mezzi leggeri e per mezzi pesanti.

	TGM [veic/giorno]	Veicoli leggeri [veic/giorno]	Veicoli Pesanti	TGM,eq [veic, eq/giorno]
S.P.26	7566	6805	10,06%	8327
S.S.9	11405	10985	3,68%	11825

I dati relativi alla S.P.26, benché registrati su un periodo temporale più limitato, riportano dati relativi al traffico suddiviso anche per fasce orarie. L'analisi di tali dati ha permesso di identificare l'ora di punta, corrispondente a circa il 10% del traffico medio giornaliero (TGM).

Tuttavia, considerata la limitata rappresentatività statistica del periodo di monitoraggio rispetto all'intero anno solare, in fase progettuale si è adottato un approccio cautelativo, assumendo un

rapporto del 12% tra il traffico orario massimo e il TGM. Tale valore, più conservativo, è stato esteso anche ai flussi di traffico della S.S.9 (via Emilia), per la quale non sono disponibili dati disaggregati per fascia oraria.

Questa assunzione consente di stimare in maniera prudenziale i carichi veicolari nelle condizioni di massima domanda, utili ai fini del dimensionamento e della verifica della capacità della rotatoria.

Di seguito si riportano i dati relativi al traffico medio giornaliero e al traffico medio orario.

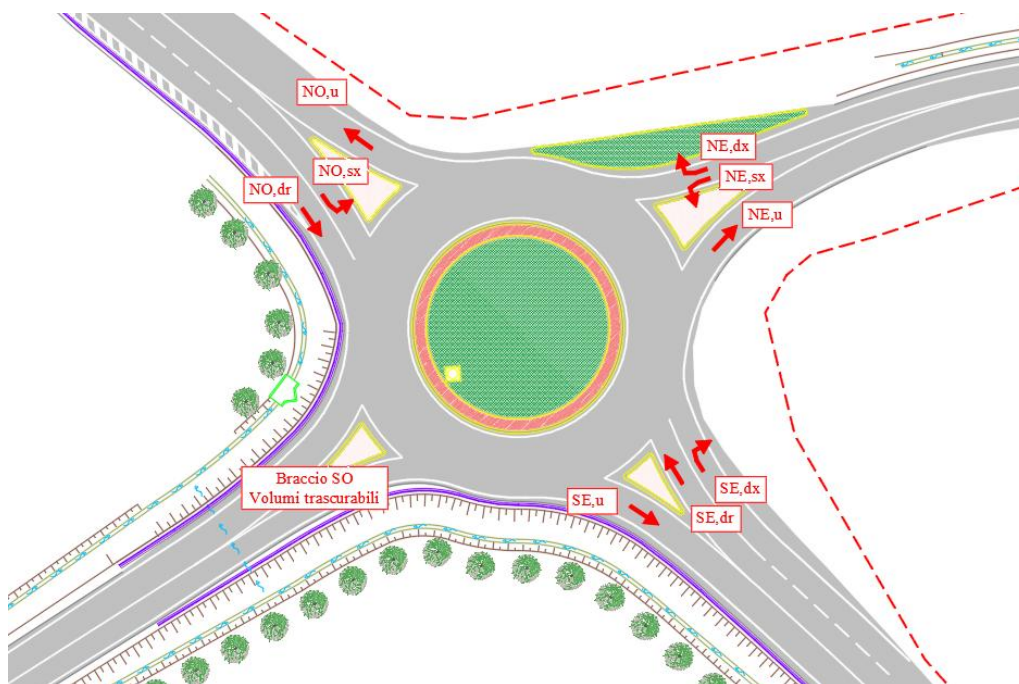
	TGM,eq [veic, eq/giorno]	% veicoli ora di punta	Veicoli / ora nelle due direzioni	Veicoli / ora in una direzione
S.P.26	8327	12,00%	999,24	500
S.S.9	11825		1419	710

Ai fini del calcolo delle prestazioni operative, si richiede la determinazione delle portate veicolari in entrata, in circolazione e in uscita per ogni ramo della rotatoria.

La portata di ingresso (Q_i), così come quella in uscita (Q_u), di ogni braccio è facilmente determinabile e corrisponde al numero di veicoli/ora per ogni direzione di flusso calcolati in precedenza. Da questo dato iniziale, costruendo la matrice origine/destinazione è possibile calcolare le portate circolanti (Q_c) in opposizione ai relativi flussi di entrata.

Il braccio di via del Guado, trattandosi di viabilità locale, non è stato incluso nel modello di analisi della capacità della rotatoria in quanto caratterizzato da un flusso di traffico trascurabile rispetto agli altri tre rami principali.

La sua esclusione è giustificata dal contributo marginale ai flussi di ingresso e alla circolazione interna all'anello, tale da non influenzare in modo significativo le condizioni di deflusso o la stima dei livelli di servizio dell'intersezione. In ogni caso, i flussi relativi alla via del Guado possono essere considerati assorbiti nella maggiorazione adottata per stimare l'incremento di traffico durante l'ora di punta.



Schema delle possibili manovre di svolta

Con riferimento alla figura sopra riportata è possibile realizzare una matrice origine/destinazione per la distribuzione dei flussi di traffico:

Matrice Origine / Destinazione			
	% svolta destra	% dritto	% svolta sinistra
Braccio NO	-	65%	35%
Braccio NE	50%	-	50%
Braccio SE	35%	65%	-

Dalla matrice sopra riportata è possibile ricavare i dati dei flussi di traffico all'interno della rotatoria.

FLUSSI DI TRAFFICO			
	Q _i [veic/h]	Q _c [veic/h]	Q _u [veic/h]
Ramo NO (S.S.9)	710	250	710
Ramo NE (S.P.26)	500	460	500
Ramo SE (S.S.9)	710	250	710

Dove:

- Q_i = flusso in ingresso per il braccio considerato [veic/h];
- Q_c = flusso che percorre l'anello all'altezza della immissione [veic/h];
- Q_u = flusso in uscita per il braccio considerato [veic/h].

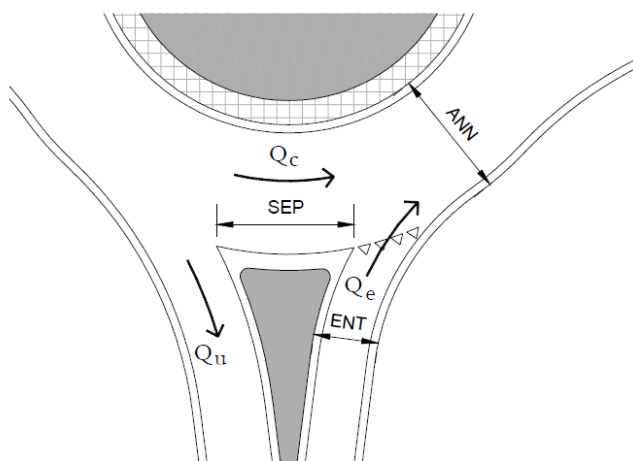
5.2 CALCOLO DELLA CAPACITÀ DELLA ROTATORIA

Il calcolo della capacità viene effettuato secondo il metodo del SETRA. Tale metodo, particolarmente indicato per le rotatorie in ambito extraurbano, fa intervenire nel calcolo della capacità sia il flusso che percorre l'anello in corrispondenza di una immissione, sia il flusso che si allontana all'uscita immediatamente precedente; i due flussi definiscono un traffico complessivo di disturbo che viene posto in relazione lineare con la capacità.

Le grandezze che intervengono nel calcolo della capacità sono rappresentate nella figura sottostante.

Il dimensionamento della capacità della rotatoria è stato eseguito applicando il metodo francese SETRA, particolarmente idoneo per la valutazione delle intersezioni a rotatoria in ambito extraurbano. Tale approccio analitico considera l'interazione tra il flusso veicolare in immissione e i flussi circolanti già presenti all'interno dell'anello, nonché il flusso che si allontana all'uscita del ramo considerato. Il traffico di disturbo complessivo è pertanto rappresentato dalla somma del flusso circolante e del flusso defluente, in grado di condizionare la manovra di ingresso dei veicoli. La capacità del ramo in esame è calcolata in funzione lineare inversa rispetto al traffico di disturbo, secondo l'espressione empirica fornita dal SETRA, che assume validità nell'intervallo compreso tra 0 e 1.750 veicoli/h per bracci a due corsie di ingresso e tra 0 e 1.330 veicoli/h per bracci a una corsia di entrata.

Le grandezze fisiche e i flussi coinvolti nel calcolo sono schematizzati nella figura seguente:



Caratteristiche geometriche e di traffico di una rotatoria (B.U.R.L. n.44 31/10/2006)

La capacità della rotatoria viene espressa dalla formula seguente:

$$Q_e = (1330 - 0,7 * Q_d) * [1 + 0,1 * (ENT - 3,5)]$$

Dove:

- Q_e è la capacità del braccio in ingresso considerato [veic/h];
- ENT è la larghezza della corsia di entrata misurata dietro il primo veicolo fermo all'altezza della linea del "dare precedenza" [m];

- Q_d è il traffico di disturbo [veic/h]:

$$Q_d = \left(Q_c + \frac{2}{3} * Q'_u \right) * [1 + 0,085 * (ANN - 8)]$$

- Q_c è il flusso che percorre l'anello all'altezza della immissione [veic/h];
- ANN è la larghezza dell'anello [m];
- Q'_u è il traffico uscente equivalente [veic/h]:

$$Q'_u = Q_u * \frac{15 - SEP}{15}$$

- Q_u è il flusso uscente [veic/h];
- SEP è la larghezza dell'isola spartitraffico all'estremità del braccio [m];

La capacità della rotatoria per i tre bracci è la seguente:

CAPACITA' DEI BRACCI IN INGRESSO								
	ENT [m]	SEP [m]	ANN [m]	Q_d [veic/h]	Q_c [veic/h]	Q_u [veic/h]	Q'_u [veic/h]	CAPACITA' Q_e [veic/h]
Ramo NO (S.S.9)	7,00	6,75	9,00	466,955	250	710	391	1354
Ramo NE (S.P.26)	3,50	7,50	9,00	573,4	460	500	250	929
Ramo SE (S.S.9)	7,00	5,15	9,00	513,1523	250	710	466	1311

5.3 LIVELLO DI SERVIZIO

Il livello di servizio (LOS – Level of Service) è un indice qualitativo che descrive le condizioni operative di un'infrastruttura stradale dal punto di vista dell'utenza. Questo indicatore sintetizza il grado di efficienza della circolazione in termini di fluidità del traffico, tempi di attesa e comfort di guida.

Nel caso delle rotatorie, il livello di servizio è definito in funzione di due parametri fondamentali:

- il rapporto di saturazione (s), rappresenta il grado di utilizzo della capacità disponibile per ciascun ramo in ingresso, calcolato come il rapporto tra il flusso veicolare in ingresso e la capacità teorica del ramo stesso;
- il ritardo di controllo (d), inteso come il tempo medio supplementare impiegato dai veicoli per immettersi nella rotatoria rispetto a una condizione di flusso libero.

Il grado di saturazione, s, in accordo alle linee guida HCM, è ottenuto dal rapporto tra il flusso veicolare in ingresso e la capacità teorica del ramo in entrata considerato:

$$s = \frac{Q_i}{Q_e}$$

Dove:

- Q_i è il flusso veicolare in ingresso [veic/h];
- Q_e è la capacità teorica del ramo precedentemente calcolata [veic/h].

Secondo quanto riportato nelle linee guida HCM (Highway Capacity Manual) un rapporto di saturazione compreso tra 0,80 e 0,90 rappresenta un valore di soglia rappresentativi di un funzionamento soddisfacente. Quando questo valore viene superato, si possono manifestare condizioni critiche come accumulo di code, incremento esponenziale dei ritardi e difficoltà nello smaltimento del traffico.

Per una lettura più intuitiva, può essere considerato il complemento all'unità del rapporto di saturazione, indicativo della capacità residua (R_c) dell'accesso. Si definisce dunque riserva di capacità, R_c , di un'entrata:

$$R_c = (1 - s) * 100 = (1 - \frac{Q_i}{Q_e}) * 100$$

Tale parametro consente una valutazione immediata del margine operativo disponibile e degli eventuali rischi di congestione. I valori di riferimento sono i seguenti:

- $R_c > 20\%$ → condizione ottimale (buona riserva di capacità);
- R_c compreso tra 5% e 20% → condizione da monitorare (riserva di capacità ridotta, tempi di attesa potenzialmente crescenti);
- $R_c < 5\%$ → condizione critica (elevato rischio di congestione e perdita di funzionalità dell'incrocio).

Il ritardo di controllo (d) rappresenta un parametro standard largamente utilizzato per la valutazione delle prestazioni delle intersezioni stradali. Esso esprime il tempo medio supplementare impiegato da un veicolo per immettersi nell'intersezione, rispetto a una condizione ideale di flusso libero.

Nel caso delle rotatorie, il Highway Capacity Manual (HCM) fornisce indicazioni per la stima del ritardo in funzione della capacità del ramo di ingresso e del grado di saturazione. Il calcolo del livello di servizio (LOS – Level of Service) si basa sull'analisi del ritardo medio per veicolo, valutato su un periodo di riferimento, che nel caso in esame è fissato in 15 minuti (ovvero $T = 0,25$)

$$d_i = \frac{3600}{Q_e} + 900 * T * \left[s_i - 1 + \sqrt{(s_i - 1)^2 + \frac{\left(\frac{3600}{Q_{e_i}}\right) * s_i}{450 * T}} \right] + 5 * \min(s_i, 1)$$

dove:

- d_i = ritardo medio di controllo per l'i-esima corsia d'entrata di un ramo di rotatoria [sec/veic];
- Q_{e_i} = capacità dell'i-esima entrata [veich/h];
- s_i = grado di saturazione dell'i-esima entrata;
- T = periodo di analisi ($T=1$ per un'ora di analisi; $T = 0,25$ per un periodo di 15 minuti).

In maniera del tutto analoga, si può calcolare il ritardo medio riferito all'intera rotatoria, attraverso la seguente espressione:

$$d_{rotatoria} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i * Q_{ramo,i}}{\sum_{i=1}^n Q_{ramo,i}}$$

Il livello di servizio viene usualmente classificato secondo una scala convenzionale da A (ottimo) a F (critico), in accordo con i criteri stabiliti dal Highway Capacity Manual (HCM) e adattati, ove necessario, ai contesti europei o nazionali di riferimento.

La corretta valutazione del livello di servizio consente di stimare gli effetti dell'intersezione sui flussi veicolari, di pianificare adeguatamente eventuali interventi di miglioramento e di garantire un livello accettabile di prestazioni nel tempo, anche in ottica di crescita della domanda di traffico.

Va sottolineato che, indipendentemente dal valore del ritardo, il livello di servizio si colloca automaticamente in classe F ogniqualvolta il rapporto volume/capacità (Q_i/Q_e) > 1,00, in quanto ciò implica una domanda superiore all'offerta e la conseguente incapacità dell'infrastruttura di smaltire il traffico

Ritardo di Controllo [sec/veic]	Livello di servizio	
	$s = Q/C \leq 1$	$s = Q/C > 1$
0 ÷ 10	A	F
10 ÷ 15	B	F
15 ÷ 25	C	F
25 ÷ 35	D	F
35 ÷ 50	E	F
> 50	F	F

Di seguito si riportano i risultati delle analisi effettuate in termini di rapporto di saturazione, ritardo di controllo e livello di servizio per ogni braccio in ingresso della nuova intersezione in rotatoria.

LIVELLO DI SERVIZIO								
	Q_i [veic/h]	Q_e [veic/h]	s	R_c	T	d	$d_{rotatoria}$	LOS
Ramo NO (S.S.9)	710	1354,23	0,52	47,57%	0,25	8,2	9,1	A
Ramo NE (S.P.26)	500	928,62	0,54	46,16%		11,0		B
Ramo SE (S.S.9)	710	1310,57	0,54	45,83%		8,7		A

6. VERIFICHE DI PERCORRENZA

Il criterio principale per definire la geometria delle rotatorie riguarda il controllo della deviazione delle traiettorie in attraversamento al nodo (Linee guida – Zone di intersezione del Regolamento Regionale n. 7/2006 della Regione Lombardia). Le caratteristiche geometriche della rotatoria devono impedire che la variazione della traiettoria, detta deviazione o deflessione, comporti l'attraversamento della rotatoria a velocità non adeguate.

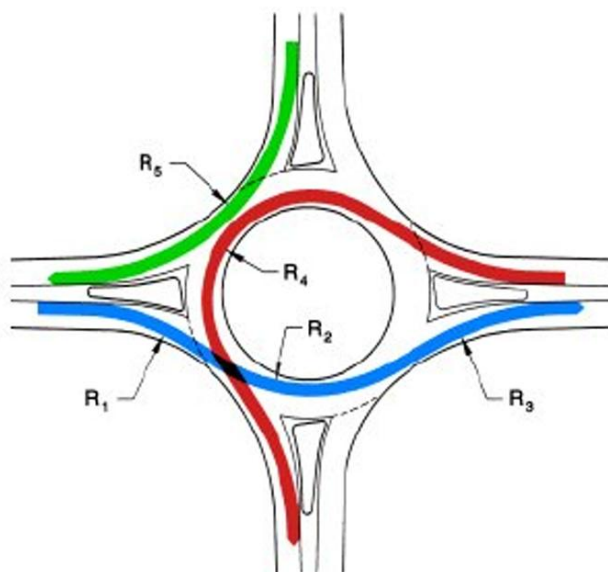
Uno dei criteri fondamentali per la progettazione geometrica delle intersezioni a rotatoria è il controllo della deflessione delle traiettorie veicolari in attraversamento del nodo, al fine di limitare la velocità di percorrenza e garantire condizioni di sicurezza adeguate.

Come indicato dalle Linee guida per le zone di intersezione del Regolamento Regionale n. 7/2006 della Regione Lombardia, la deflessione viene definita come il raggio minimo dell'arco di traiettoria percorribile da un veicolo, costruito in modo tale da:

- passare a 1,50 m dal bordo dell'isola centrale;
- mantenersi a 2,00 m dal bordo esterno delle corsie di ingresso e uscita, siano esse adiacenti o opposte.

Tale criterio geometrico è volto a impedire configurazioni di attraversamento diretto o "teso" dell'intersezione, che consentirebbero velocità incompatibili con la funzione della rotatoria. La normativa prescrive che il raggio di deflessione massimo non superi 100 m, in modo da limitare la velocità operativa dei veicoli a circa 50 km/h.

Il rispetto di tale vincolo assicura che la geometria del nodo imponga una sufficiente curvatura della traiettoria, inducendo un comportamento di guida prudentiale da parte dell'utenza, migliorando la leggibilità dell'intersezione e riducendo significativamente il rischio di collisioni.

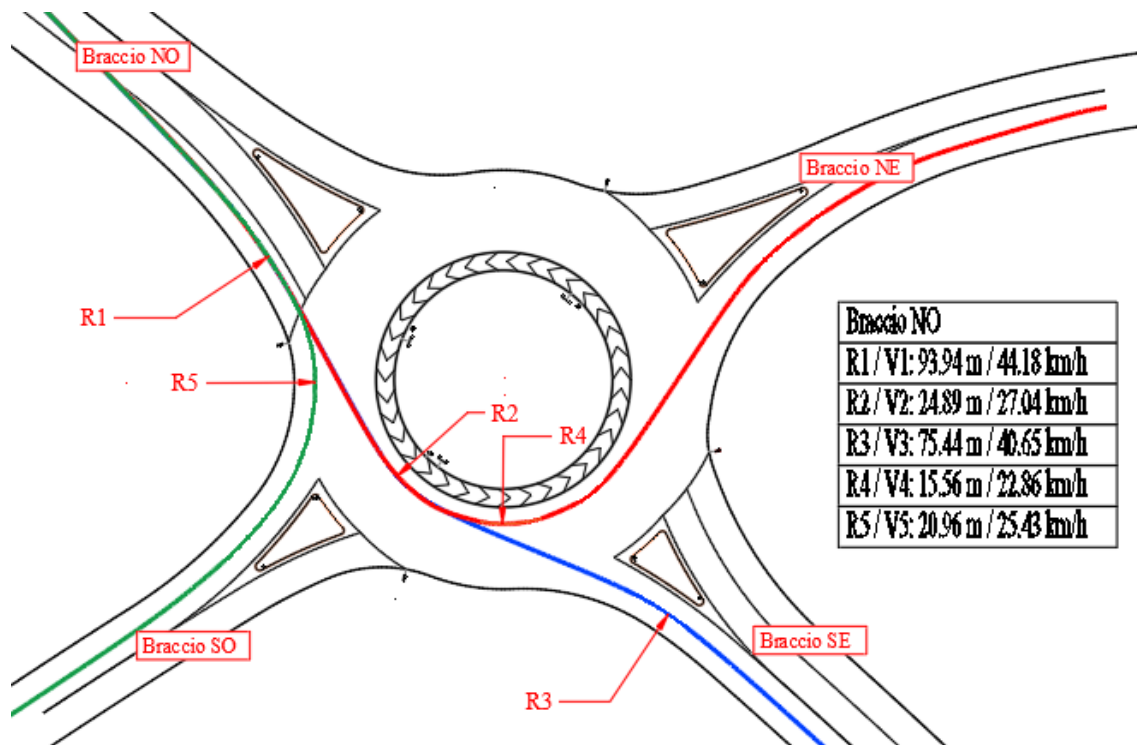


Raggi critici delle traiettorie veicolari

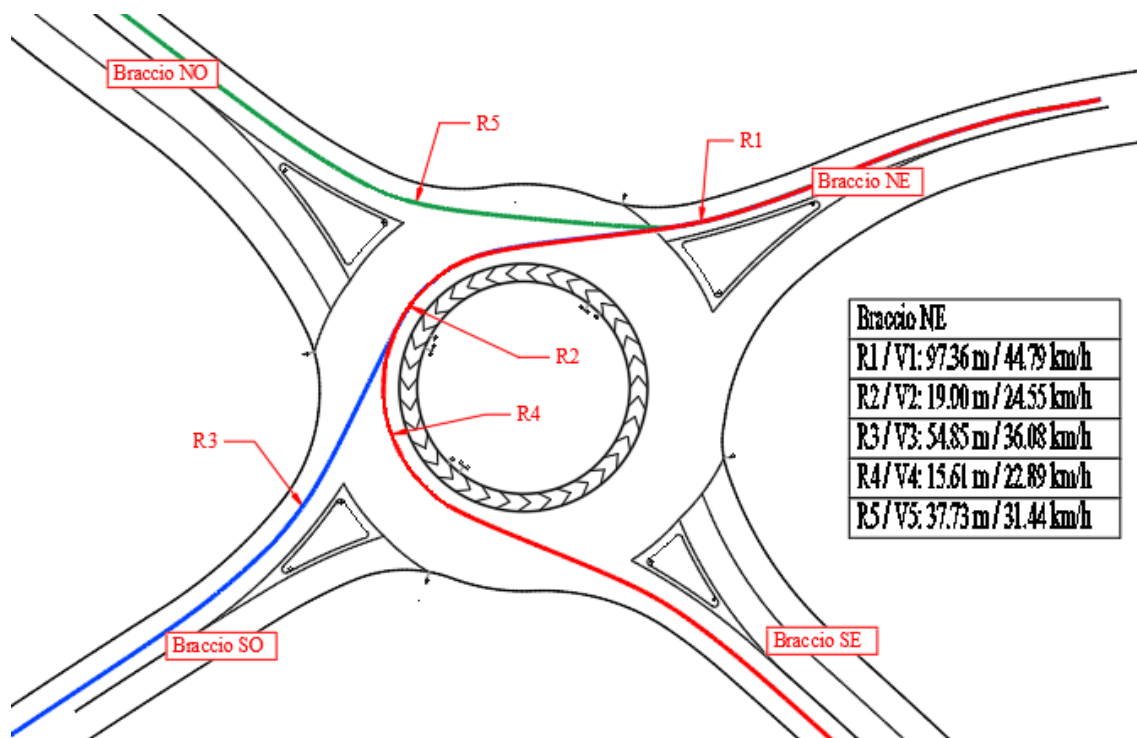
La figura sovrastante illustra i cosiddetti 5 raggi critici di cui si compongono le 3 possibili traiettorie veicolari.

Si procede ad illustrare i 5 raggi critici per la rotatoria in esame per ciascun braccio in ingresso.

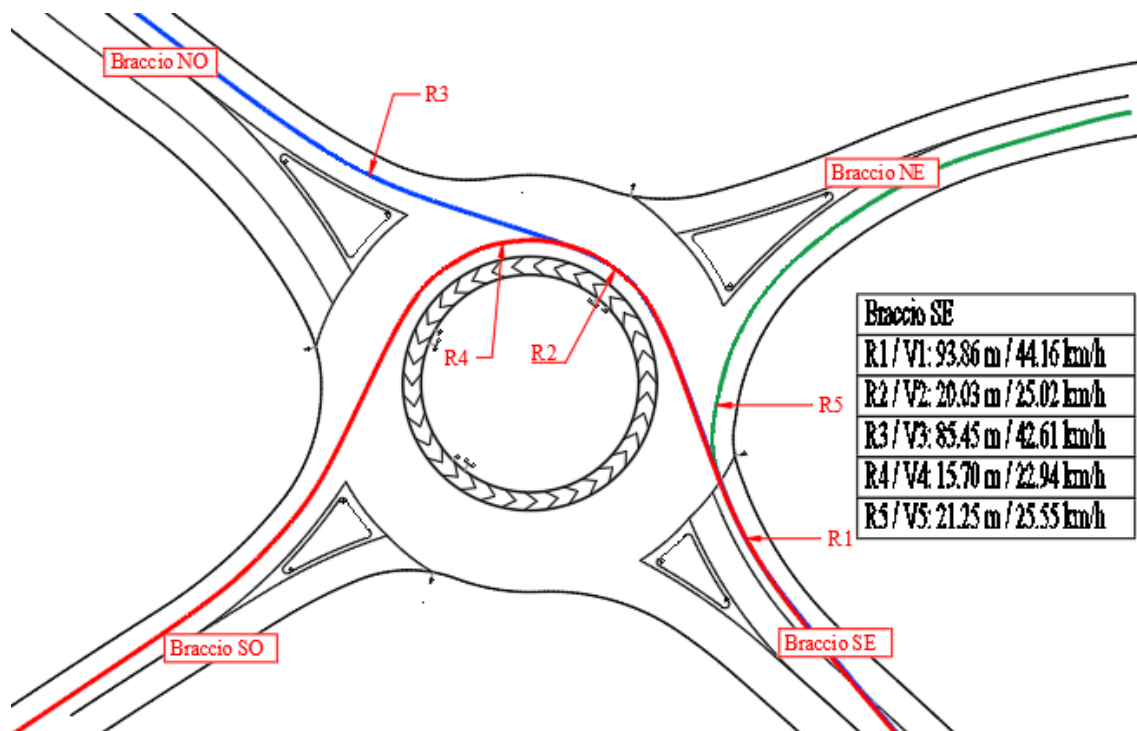
Braccio Nord-Ovest



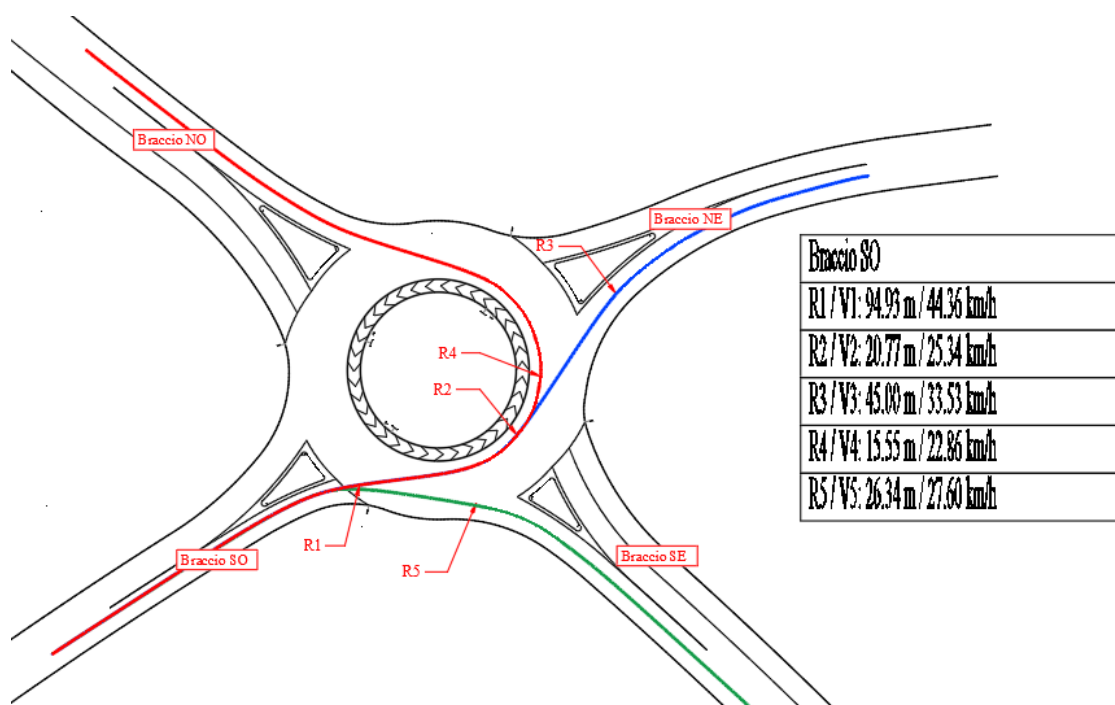
Braccio Nord-Est



Braccio Sud-Est



Braccio Sud-Ovest



7. ANALISI VISIBILITÀ

Secondo quanto prescritto dal DM 05/11/2001, le intersezioni devono essere progettate in modo da assicurare che la visibilità sia sufficiente per consentire manovre sicure di rallentamento, arresto e immissione.

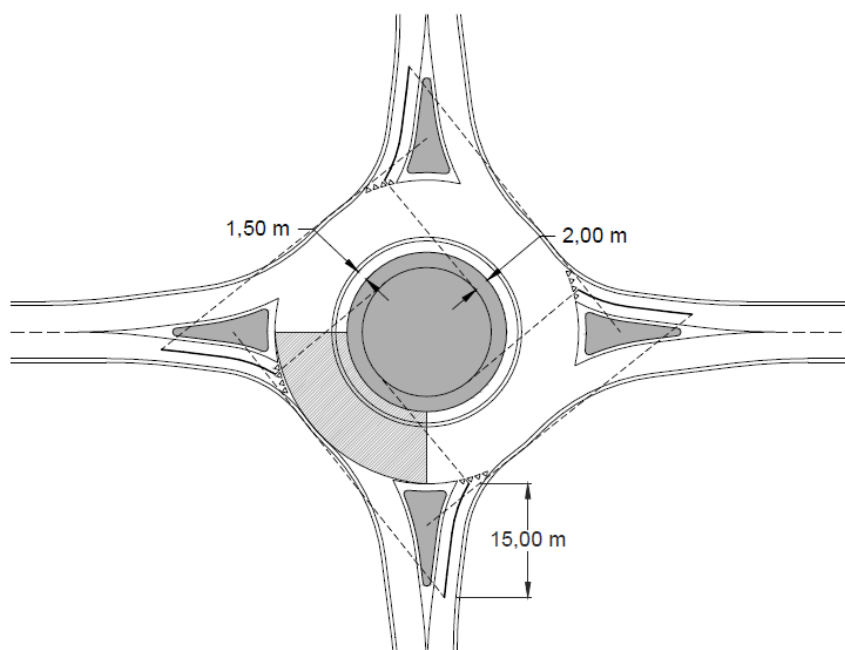
Nel caso specifico delle intersezioni a rotatoria, le uniche manovre che richiedono la valutazione della distanza di visibilità sono quelle di entrata e quella di circolazione sull'anello. Dovranno quindi essere verificate:

- distanza di visibilità all'intersezione (visibilità a sinistra);
- distanza di visibilità per l'arresto.

7.1 VERIFICA DI VISIBILITÀ NELL'INTERSEZIONE

La verifica alla visibilità a sinistra serve a garantire, al veicolo che non ha il diritto di precedenza, la distanza necessaria affinché il conducente possa vedere e reagire in sicurezza ai veicoli in conflitto. Secondo i criteri progettuali comunemente adottati (e conformi al DM 05/11/2001 e alle Linee guida R.L.2006), tale verifica viene condotta con le seguenti modalità:

- il punto di osservazione dell'utente in ingresso viene posto ad una distanza di 15 metri dalla linea di precedenza, fatta coincidere con il diametro esterno della rotatoria;
- la posizione laterale del veicolo sulla corsia in entrata viene fissata sulla mezzzeria della corsia di ingresso;
- al fine di assicurare la visibilità completa della porzione di corona giratoria posta alla sinistra del ramo di accesso, dovrà essere libera da ostacoli la zona delimitata lateralmente da:
 - segmento passante per il punto di osservazione e tangente al bordo esterno della corona giratoria;
 - segmento passante per il punto posto alla distanza di 10 metri dal punto di osservazione e tangente al cerchio concentrico alla corona giratoria avente come raggio quello dell'isola centrale diminuito di 2,50 metri.



Costruzione dell'area di visibilità da garantire nelle rotatorie

Questa configurazione consente di verificare che il conducente disponga di una sufficiente visuale dinamica del traffico circolante, al fine di effettuare in condizioni di sicurezza la manovra di immissione o arresto

7.2 VERIFICA DI VISIBILITÀ PER L'ARRESTO

La distanza di visibilità per l'arresto è la distanza minima, richiesta in qualsiasi punto della strada, affinché il conducente di un veicolo che viaggia alla velocità di progetto possa arrestare il proprio veicolo in sicurezza. tale distanza di visibilità garantisce che un conducente possa vedere chiaramente gli ostacoli o i veicoli potenzialmente in conflitto sulla sua traiettoria, per le rotatorie, ci sono tre situazioni distinte in cui è opportuno eseguire le verifiche delle distanze di visibilità per l'arresto:

- Per i veicoli in ingresso;
- Per i veicoli in circolo;
- Per gestire in sicurezza i conflitti veicoli-pedoni sui rami di uscita.

La distanza di arresto è formata dal contributo di due termini: uno legato al tempo complessivo di reazione del guidatore e l'altro allo spazio di frenatura del veicolo; entrambi dipendenti dalla velocità assunta dall'utente in marcia. Per la valutazione della distanza di arresto si utilizza la seguente:

$$D_a = \frac{V * \tau}{3,6} + \frac{V^2}{2 * 12,96 * g * \left[f(V) \pm \frac{i}{100} \right]}$$

Dove:

- V = velocità caratteristica del tratto in esame [km/h];
- τ = tempo di reazione complessivo pari a $\tau = 2,8 - 0,01 * V$ [sec] con V espressa in [km/h];
- g = accelerazione di gravità = 9,81 [m/s²];
- $f(V)$ coefficiente di aderenza longitudinale
- i = pendenza longitudinale del tratto di strada, positiva se in salita e negativa se in discesa [%].

Distanza di visibilità per l'arresto sui rami di ingresso

Con questa verifica si intende garantire un adeguato spazio, sgombro da qualunque impedimento visivo, tra il veicolo in approccio alla rotatoria e la linea di entrata per consentire l'arresto del veicolo in caso di presenza di un ostacolo di qualsiasi natura. Tale spazio è individuato dalla distanza di visibilità per l'arresto (D_a), lungo la traiettoria del veicolo sul ramo di ingresso a partire dalla linea di dare la precedenza.

Distanza di visibilità per l'arresto per i veicoli in circolo

Un ulteriore criterio di visibilità da soddisfare è quello relativo ai veicoli che percorrono l'anello giratorio della rotatoria. Con questo criterio, in pratica, si verifica la possibilità di arrestarsi, da parte dei veicoli in circolo, per effetto della presenza di oggetti o di altri veicoli sull'anello.

La posizione planimetrica del veicolo è posta a 2,00 metri dal bordo dell'isola centrale. Il calcolo della distanza 'arresto, D_a , avverrà con riferimento alla velocità di circolazione sull'anello.

Dalle verifiche condotte risulta che le distanze di visibilità sono sempre rispettate e risultano conformi con quanto previsto dalle vigenti normative.

8. SEGNALETICA

Nelle aree oggetto di intervento è previsto il ripristino della segnaletica orizzontale, opportunamente integrata e/o modificata, in conformità a quanto prescritto dal D.P.R. 16/12/1992 n. 495, artt. 138 e 141.

Per la S.S. 9 e la S.P. 26, entrambe classificate come strade extraurbane secondarie (categoria C), si prevede:

- strisce di margine di larghezza pari a 15 cm;
- strisce di separazione delle corsie di larghezza pari a 12 cm.

Per la nuova viabilità di via del Guado, strada locale di tipo F, si prevede:

- strisce di margine di larghezza pari a 12 cm;
- strisce di separazione delle corsie di larghezza pari a 10 cm.

La segnaletica verticale esistente sarà ripristinata e, ove necessario, integrata o modificata in funzione della nuova configurazione progettuale. Tutti i segnali saranno di formato "normale", realizzati interamente in alluminio e dotati di pellicole ad elevata rifrangenza (classe 2).

I sostegni per i segnali verticali saranno in acciaio tubolare zincati a caldo (non verniciati) con diametro di 60 mm.

9. BARRIERE DI SICUREZZA

9.1 CLASSE DI TRAFFICO

Per la definizione delle classi di barriere da adottare in progetto risulta necessario, secondo quanto previsto dal D.M. 21.06.2004, definire, oltre alla classe funzionale ed alla destinazione delle protezioni (bordo rilevato, bordo ponte) la classe di traffico a cui appartiene la strada oggetto di progettazione.

La classe di traffico di un dato arco si definisce in funzione del Traffico Giornaliero Medio (TGM) bidirezionale (o totale ma monodirezionale nel caso di archi a senso unico di marcia) e della percentuale di veicoli pesanti (di massa > 3.5 t).

Come già descritto nei precedenti capitoli della presente relazione, i volumi di traffico medio giornalieri sono stati forniti dalla Stazione Appaltante a seguito di monitoraggi effettuati in sito sia in merito ai flussi veicolari della S.S.9 sia riguardo la S.P.26.

Si riporta di seguito per completezza la tabella con l'indicazione dei volumi giornalieri di traffico e della percentuale di veicoli pesanti.

	TGM [veic/giorno]	Veicoli leggeri [veic/giorno]	Veicoli Pesanti	TGM,eq [veic, eq/giorno]
S.P.26	7566	6805	10,06%	8327
S.S.9	11405	10985	3,68%	11825

Basandosi pertanto sui valori di TMG riportati nella precedente tabella, secondo le indicazioni riportate nel DM del 21/06/2004, risulta un traffico di Tipo II.

Tipo di traffico	TGM	% Veicoli con massa >3,5 t
I	≤1000	Qualsiasi
I	>1000	≤ 5
II	>1000	5 < n ≤ 15
III	>1000	> 15

Per il TGM si intende il Traffico Giornaliero Medio annuale nei due sensi.

9.2 DEFINIZIONE CLASSE MINIMA

Il D.M. 2367 del 21.6.2004 fornisce la classe minima da adottare per le barriere di sicurezza per le diverse destinazioni (bordo laterale e bordo ponte) in funzione del livello di traffico e del tipo di strada, come riportato nella seguente tabella.

Tabella A – Barriere longitudinali

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

(1) Per ponti o viadotti si intendono opere di luce superiore a 10 metri; per luci minori sono equiparate al bordo laterale

(2) La scelta tra le due classi sarà determinata dal progettista

Nel caso specifico in oggetto risulta necessario installare delle barriere bordo laterale di classe H1 (unica tipologia di barriere prevista a progetto).

Tali condizioni rappresentano le minime ammesse dalla norma e, come richiamato dall'art. 6 delle istruzioni tecniche allegate al D.M. 21.6.2004, *“ove reputato necessario, il progettista potrà utilizzare dispositivi della classe superiore a quella minima indicata”*. Occorre precisare che l'adozione in progetto di protezioni con classi superiori alle minime richieste dalla norma deve essere opportunamente giustificata dal progettista in funzione dell'effettivo stato dei luoghi, in quanto all'aumentare della classe aumenta in generale, il livello di severità d'urto sugli occupanti dei veicoli leggeri. Contenere un maggior numero di veicoli pesanti non equivale infatti a garantire una maggiore sicurezza se non si tiene conto al contempo del possibile incremento di danno sugli occupanti dei veicoli leggeri.

I terminali semplici, definiti come normali elementi iniziali e finali di una barriera di sicurezza, possono essere sostituiti o integrati alle estremità di barriere laterali con terminali speciali testati secondo UNI EN 1317-4, di tipo omologato. In questo caso, la scelta avverrà tenendo conto delle loro prestazioni e della destinazione ed ubicazione, secondo tabella C dell'Allegato 1 del D.M. 21.06.2004.

Tabella C – Terminali speciali testati

Velocità imposta nel sito da proteggere	Classe dei terminali
Con velocità $v \geq 130$ km/h	P3
Con velocità $90 \leq v < 130$ km/h	P2
Con velocità $v < 90$ km/h	P1

Per quanto attiene allo sviluppo longitudinale delle barriere il D.M. 21.6.2004 prevede che *“Le protezioni dovranno in ogni caso essere effettuate per una estensione almeno pari a quella indicata nel certificato di omologazione, ponendone circa due terzi prima dell'ostacolo, integrando lo stesso dispositivo con eventuali ancoraggi e con i terminali semplici indicati nel certificato di*

omologazione, salvo diversa prescrizione del progettista secondo i criteri indicati nell'art. 6". La circolare 62032/2010 chiarisce altresì che "l'estensione minima pari a quella indicata nel certificato di homologazione ha valore prescrittivo mentre il posizionamento di due terzi prima ha carattere indicativo. Il progettista può stabilire lo sviluppo di barriera da porre a monte dell'ostacolo, tenendo conto delle modalità con cui sono state effettuate le prove sulla barriera per l'omologazione e della morfologia della strada. Nelle strade a doppio senso di marcia, dove non è possibile individuare il tratto "prima dell'ostacolo", le medesime protezioni andranno realizzate da entrambi i lati dell'ostacolo, fermo restando il vincolo dell'estensione minima di barriera da installare. Nelle strade a senso unico di marcia la barriera dovrà in tutti i casi essere estesa oltre l'ultimo punto da proteggere, in modo da assicurare che le condizioni di funzionamento siano soddisfacenti in tutto il tratto di interesse".

L'art. 6 delle istruzioni tecniche allegate al D.M. 21.6.2004 prevede che laddove non sia possibile installare un dispositivo con una lunghezza minima pari a quella effettivamente testata (per esempio ponti o ponticelli aventi lunghezze in alcuni casi sensibilmente inferiori all'estensione minima del dispositivo) sarà possibile installare una estensione di dispositivo inferiore a quella effettivamente testata, provvedendo però a raggiungere la estensione minima attraverso un dispositivo diverso (per esempio testato con pali infissi nel terreno), ma di pari classe di contenimento garantendo inoltre la continuità strutturale. L'estensione minima che il tratto di dispositivo "misto" dovrà raggiungere sarà costituita dalla maggiore delle lunghezze prescritte nelle omologazioni dei due tipi di dispositivo da impiegare.

Nel caso in esame vengono sempre garantite le lunghezze minime di installazione previste dai produttori.