



Comune di
**S. ANGELO DI
PIOVE DI SACCO**
Provincia di Padova

PROGETTO DEFINITIVO

**REALIZZAZIONE DI UNA ROTATORIA ALL' INTERSEZIONE
DELLA S.S. 516 "Piovese" CON VIA SAN POLO E VIA ARDONEGHE**

AGGIORNAMENTO DEL PROGETTO DEFINITIVO

Allegato n°

B.1

RELAZIONE TECNICA E DI VERIFICA DIMENSIONALE
E CAPACITATIVA DELLA ROTATORIA

SIA Studio Ingegneria & Architettura



DANILLO TOMASELLA
Ingegnere

MICHELANGELO BONOTTO
Architetto

35128 **PADOVA** Via Domenico Turazza, 48/Q - scala D - int. 5/6
Tel. 049/8715216 - Fax 049/8079157 - E mail: siaing@tin.it - PEC: siaing@pec.it

Progettista:

Dott. Ing. DANILLO TOMASELLA



Data:	Aggiornato:	Pratica: 582D-INT15	File: 582D-AGG_B_1_CC_RTC
Operatore: SS - SIA	Verificato: Ing. DANILLO TOMASELLA	Approvato: Ing. DANILLO TOMASELLA	Responsabile del Procedimento: Arch. RENATO BARBIERATO

Comune di SANT'ANGELO DI PIOVE DI SACCO



PROGETTO DEFINITIVO
Aggiornamento 2017

**REALIZZAZIONE DI UNA ROTATORIA
ALL'INTERSEZIONE DELLA S.S. 516 "Piovese"
CON VIA SAN POLO (S.P. 40dir "dei Vivai") E VIA
ARDONEGHE**

***RELAZIONE TECNICA E VERIFICA
CAPACITATIVA DELLA ROTATORIA***

INDICE

1 – PREMESSA.....	3
2 - NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	3
3 – OPERE DI PROGETTO.....	4
4 – VERIFICHE DI TRACCIAMENTO PLANIMETRICO.....	5
4.1 - CRITERI GENERALI DI TRACCIAMENTO PLANIMETRICO.....	5
4.2 – VERIFICA DELL'ANGOLO DI DEVIAZIONE.....	5
4.2 – VERIFICA DELLA DEFLESSIONE DELLA TRAIETTORIA.....	6
4.3 – VERIFICA DELLA VISIBILITA'	7
5 – VERIFICA PRESTAZIONALE DELLA ROTATORIA.....	10
5.1 – CARATTERISTICHE GENERALI DELLE ROTATORIE.....	10
5.2 – DEFINIZIONE DELLA CAPACITA'	11
5.3 – ANALISI DEI FLUSSI DEL TRAFFICO	12
6 – VERIFICA DELLA CAPACITA' DELLA ROTATORIA	15

1 – PREMESSA

La presente "Relazione tecnica e verifica capacitativa della rotatoria" si inserisce a corredo del Progetto Definitivo – Aggiornamento 2017 - relativamente all'intervento denominato: "REALIZZAZIONE DI UNA ROTATORIA ALL'INTERSEZIONE DELLA S.S. 516 "Piovese" CON VIA SAN POLO (S.P. 40 dir "dei Vivai") E VIA ARDONEGHE" a confine dei Comuni di Sant'Angelo di Piove di Sacco, Brugine e Legnaro (PD) .

Il Progetto prevede la realizzazione delle seguenti opere:

1. La costruzione di una rotatoria in luogo dell'incrocio a raso, all'intersezione tra la S.P. 516 "Piovese" e le vie San Polo (S.P. 40 "dei Vivai" dir) e Ardoneghe, completa delle opere di canalizzazione (aiuole spartitraffico);
2. la realizzazione di un tratto di pista ciclabile sul lato di Via San Polo in direzione Sant'Angelo di Piove di Sacco e marciapiede sul lato di via Ardoneghe, fino ai rispettivi attraversamenti pedonali a distanza di sicurezza dalla rotatoria;
3. Il rifacimento dell'impianto di illuminazione pubblica, in corrispondenza della rotatoria e lungo le direttrici afferenti all'intersezione, mediante installazione di punti luce a led;
4. L'adeguamento della rete di invaso e smaltimento delle acque meteoriche (risezionamento dei fossi esistenti e realizzazione di nuovi fossi di guardia, caditoie con recapito alla rete esistente e di progetto).

Le opere si intendono inoltre complete:

- dei dispositivi di delimitazione e segnalazione dei percorsi (aiuole di delimitazione, attraversamenti pedonali, apposita segnaletica orizzontale e verticale);
- dei dispositivi per l'abbattimento delle barriere architettoniche (rampe di accesso ai marciapiede).

2 - NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Nella definizione delle piattaforme stradali e dei criteri generali di tracciamento piano-altimetrico ci si è attenuti a quanto stabilito da:

- *Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade – DM 5 Novembre 2001;*
- *Nuovo Codice della Strada – DL 30 Aprile 1992;*
- *Regolamento di esecuzione e di attuazione del Nuovo Codice della Strada – DPR 16 Dicembre 1992;*
- *Modifiche e integrazioni al Nuovo Codice della Strada – DL 10/09/1993;*

Poiché, inoltre, il progetto consiste in un intervento su una sede stradale esistente, volto a conseguire il potenziamento funzionale dell'intersezione, è stata utilizzata come riferimento per il tracciamento la

- *Norma per gli interventi di adeguamento delle strade esistenti – Bozza di norma 21 marzo 2006.*

Per quanto riguarda il tracciamento delle intersezioni si è fatto, invece, riferimento alle:

- *Norme sulle caratteristiche geometriche e di traffico delle intersezioni stradali urbane – Norme Tecniche CNR 15 Aprile 1983 n. 90;*
- *Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali – DM 19/04/2006;*
- *Linee guida per la progettazione e la verifica delle intersezioni a rotatorie - Provincia di Padova.*

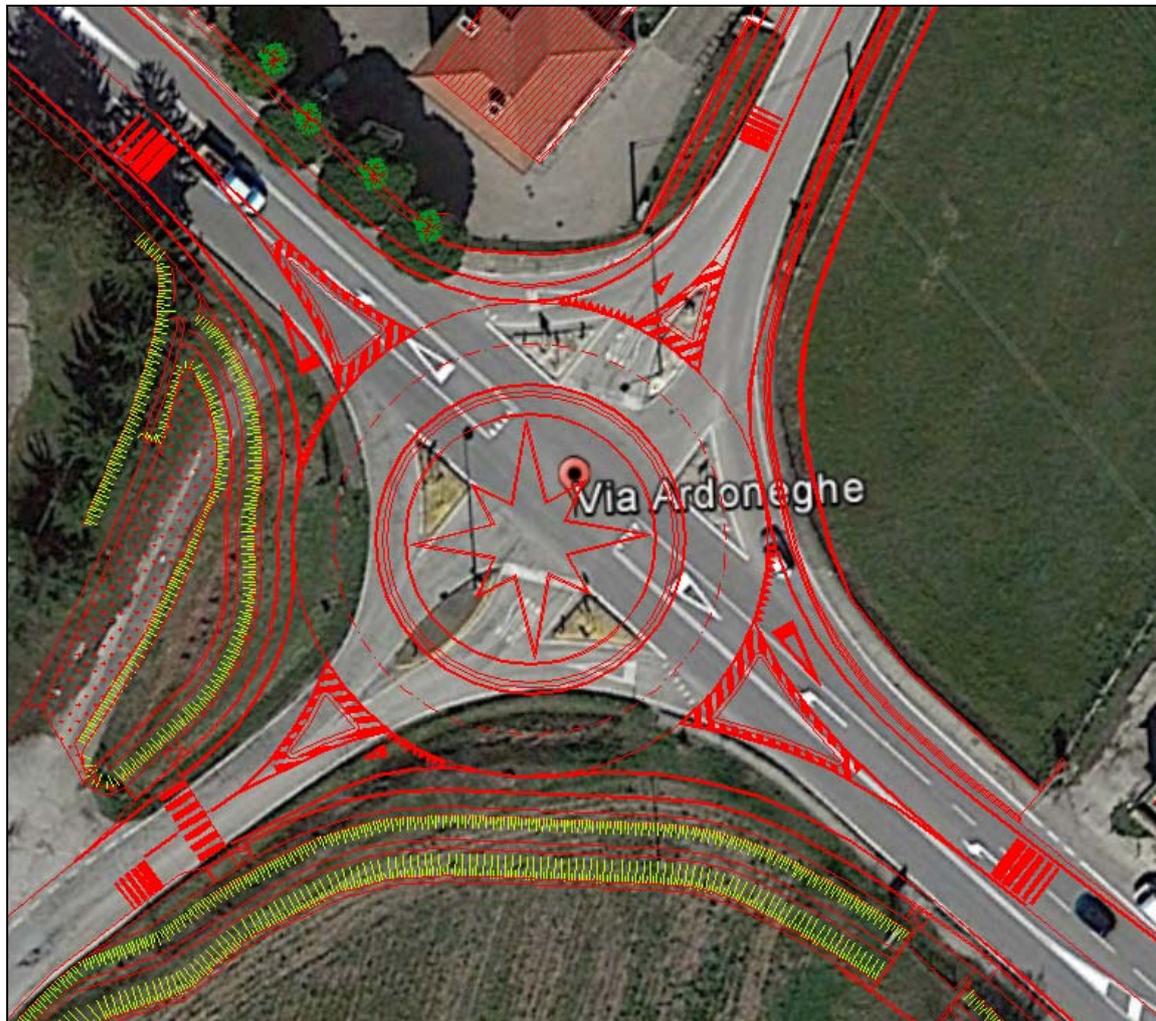
3 – OPERE DI PROGETTO

La rotatoria di progetto presenta le seguenti caratteristiche geometriche:

- raggio esterno m 21,25;
- raggio esterno corsia giratoria m 20,00;
- raggio interno corsia giratoria m 13,00;
- raggio corona carrabile m 12,50;
- raggio isola centrale m 10,60;

da cui:

- larghezza corsia giratoria m 7,00;
- larghezza banchina esterna m 1.25;
- larghezza corsie d'entrata m 4,00;
- larghezza corsie d'uscita m 4,50.



Si è assunta una pendenza trasversale della piattaforma pari al 2,5%, costante lungo tutto lo sviluppo della rotatoria, avente orientamento verso l'interno, in modo da migliorare la percezione della carreggiata anulare e migliorare la gestione dello smaltimento delle acque meteoriche.

4 – VERIFICHE DI TRACCIAMENTO PLANIMETRICO

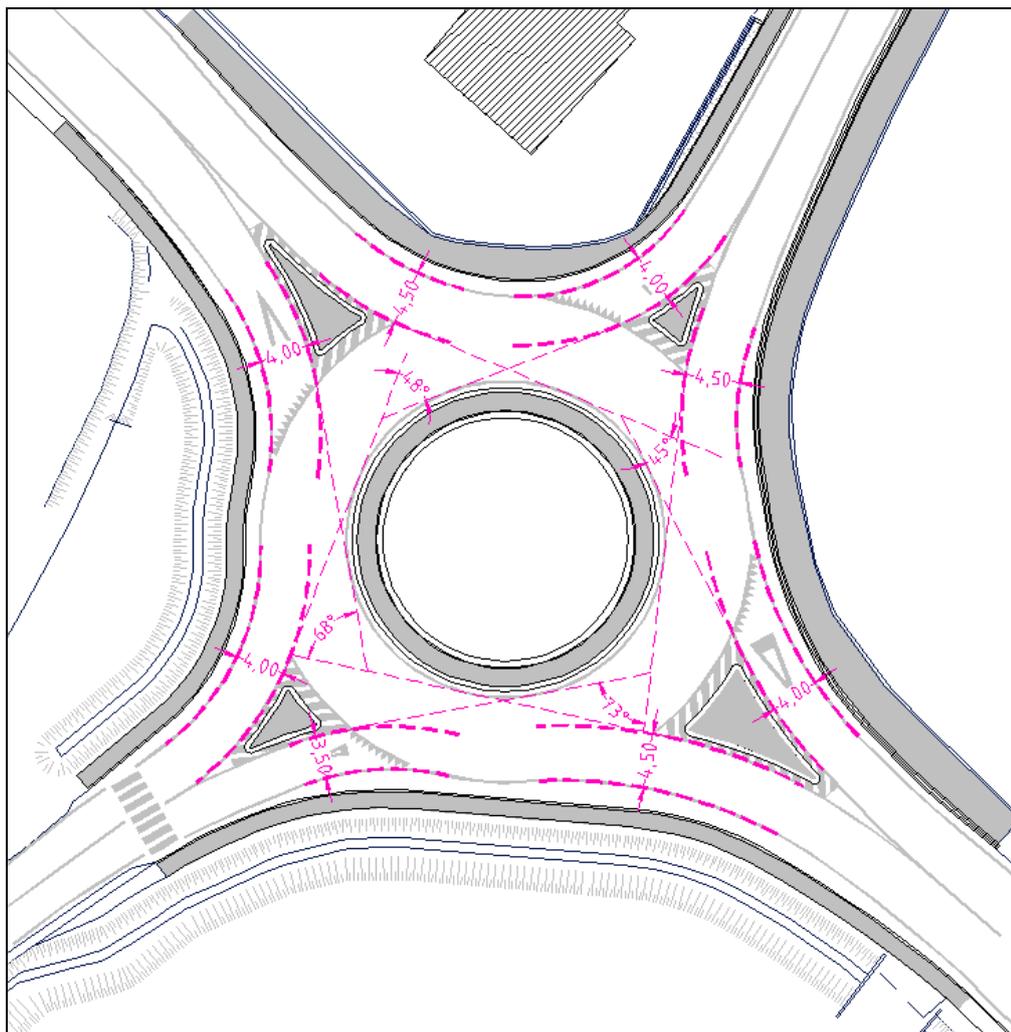
4.1 - CRITERI GENERALI DI TRACCIAMENTO PLANIMETRICO

Si sono condotte quindi tre tipi di verifiche sulle rotatorie di progetto, sulla base di quanto indicato nell'allegato alle Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali – DM 19/04/2006, rispettivamente ai paragrafi 4.5.3 e 4.6, e nelle Linee guida per la progettazione e la verifica delle intersezioni a rotatorie della Provincia di Padova:

1. verifica dell'angolo di deviazione della traiettoria;
2. verifica di deflessione della traiettoria;
3. verifica di visibilità;

4.2 – VERIFICA DELL'ANGOLO DI DEVIAZIONE

L'angolo di deviazione misura la deviazione, appunto, della traiettoria dei veicoli in attraversamento dell'intersezione, che avviene a mezzo dell'isola centrale. Allo scopo di impedire l'attraversamento della rotatoria ad una velocità non adeguata, si raccomanda, per ciascun braccio di immissione, un valore dell'angolo di deviazione di almeno 45° .

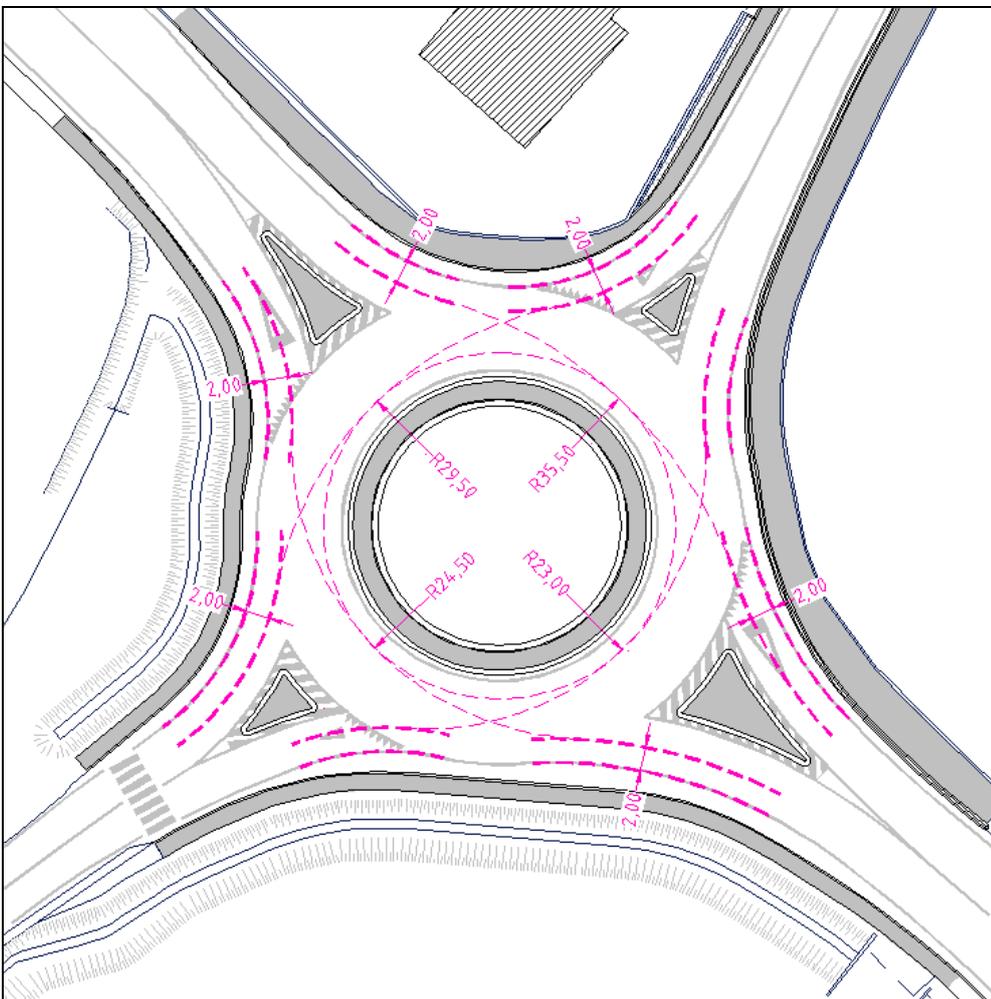


Verifica degli angoli di deviazione

4.2 – VERIFICA DELLA DEFLESSIONE DELLA TRAIETTORIA

In analogia alla verifica di questo parametro, prevista dal DM 19/04/2006, viene definita come deflessione di una traiettoria il raggio dell'arco di cerchio che passa a 1,50 m dal bordo dell'isola centrale e a 2,0 m dal ciglio delle corsie d'entrata e d'uscita. Tale raggio non deve superare il valore di 80÷100 m, cosicché le velocità massime di attraversamento del nodo si mantengano entro valori contenuti.

La costruzione geometrica per la determinazione degli angoli di deviazione e dei raggi di deflessione nella rotatoria è riportata nelle figure seguenti.



Verifica dei raggi di deflessione

4.3 – VERIFICA DELLA VISIBILITA'

Si sono, inoltre, individuati i campi di visibilità negli incroci a rotatoria.

Il DM 19/04/2006 stabilisce che è sufficiente una visione completamente libera sulla sinistra per un quarto dello sviluppo dell'intero anello, posizionando l'osservatore a 15m dalla linea che delimita il bordo esterno dell'anello giratorio. Lo scopo è quello di consentire ai conducenti, che si approssimano alla rotatoria, di vedere i veicoli che percorrono l'anello centrale, al fine di cedere ad essi la precedenza od eventualmente arrestarsi.

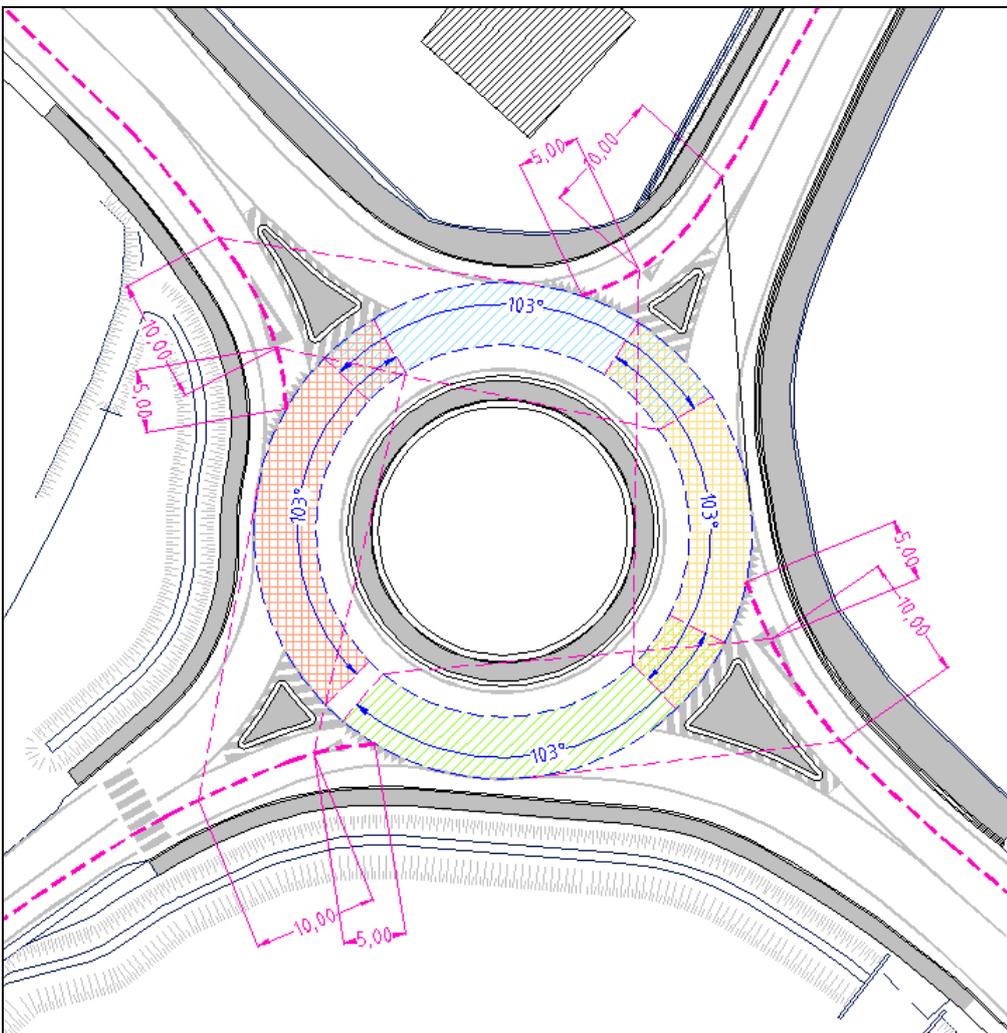


Diagramma della visibilità per l'immissione

Per quanto riguarda le Linee guida della Provincia, esse stabiliscono, inoltre, che per il progetto in esame debba essere garantita la visibilità nella circolazione lungo l'anello. Essa si riferisce sia alla distanza di arresto, per la presenza di oggetti o altri veicoli presenti nell'anello, sia alla distanza di visibilità per prevedere l'ingresso di altri veicoli. La posizione del veicolo è posta a 2.0 m dal bordo

interno dell'isola centrale, mentre per il calcolo della distanza d'arresto ci si riferisce alle seguenti tabelle, considerando la velocità di circolazione nell'anello.

Velocità km/h	Raggio della curva [m]			Coefficiente di aderenza (ft)
	Pendenza trasversale			
	-2.0%	0%	2.0%	
15	8	8	7	0.23
20	15	14	13	0.23
25	25	22	21	0.22
30	35	32	30	0.22
40	66	60	55	0.21
50	109	98	89	0.20
60	157	142	129	0.20

Velocità km/h	Distanza di arresto [m]		
	Pendenza longitudinale		
	-5.0%	0%	5.0%
25	24	23	23
30	31	30	29
40	43	41	39
50	58	55	52
60	76	71	67

La costruzione geometrica e l'individuazione dei campi di visibilità della rotatoria di progetto sono riportati nelle figure seguenti. Il posizionamento delle sistemazioni a verde ed eventuali manufatti dovranno essere tale da non ostacolare tali visuali.

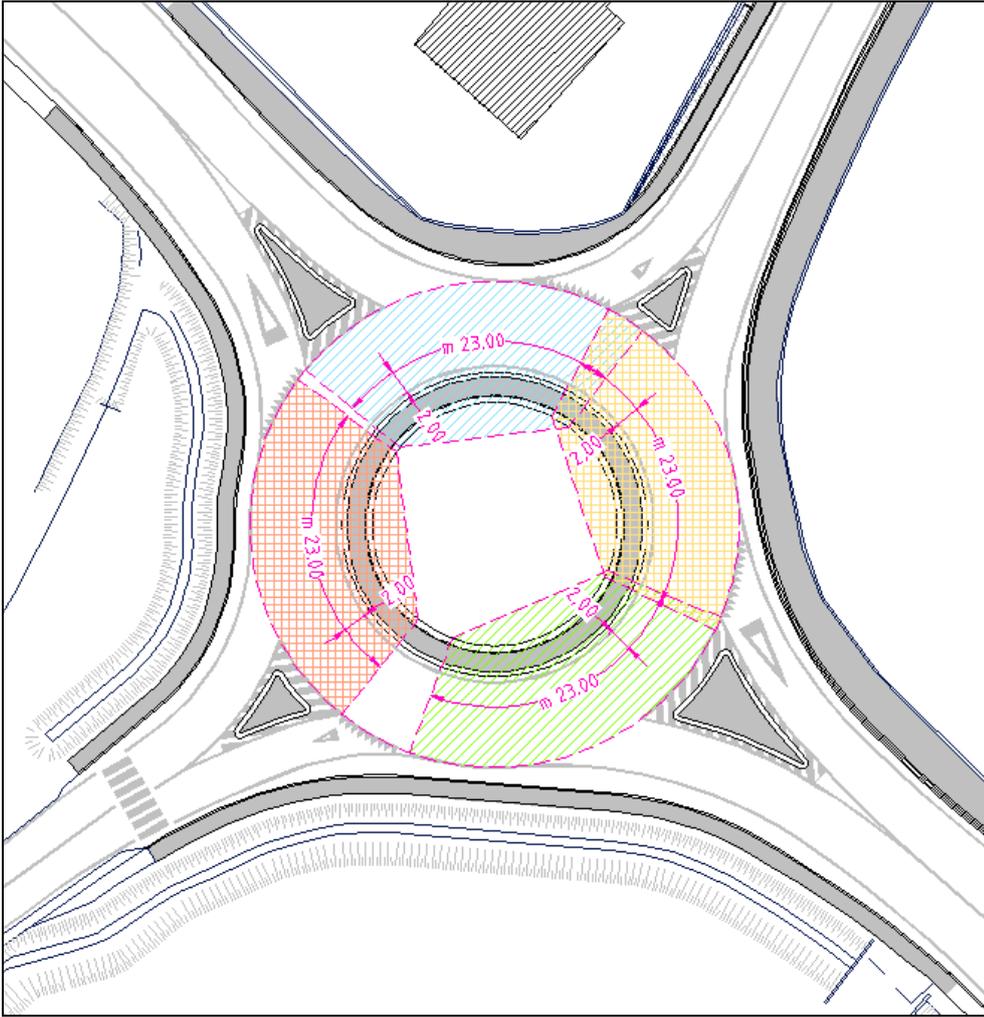


Diagramma della visibilità durante la percorrenza

5 – VERIFICA PRESTAZIONALE DELLA ROTATORIA

5.1 – CARATTERISTICHE GENERALI DELLE ROTATORIE

La rotatoria è un tipo di sistemazione delle intersezioni a raso fra più strade, costituita da un anello stradale nel quale confluiscono i bracci della intersezione, il quale viene percorso dal flusso proveniente da ciascun braccio nel tratto compreso fra la sezione di immissione di quest'ultimo e quella del braccio di uscita. Caratteristica distintiva delle rotatorie rispetto ad altri tipi di intersezioni a raso è quella di non attribuire priorità ad alcuna delle strade che si intersecano: essa è pertanto particolarmente idonea in quelle situazioni in cui tali strade sono dello stesso livello gerarchico.

Si distinguono quelle oggi denominate rotatorie convenzionali nelle quali l'anello ha un grande diametro ed i bracci mantengono costante la sezione trasversale fino al punto di immissione nella rotatoria, da quelle nelle quali il diametro è molto più ridotto, e pertanto vengono denominate rotatorie compatte ed i bracci presentano un allargamento, anche notevole, in corrispondenza delle immissioni. In questo modo si fornisce ai veicoli in attesa di immettersi nell'anello la possibilità di disporsi in più file, e quindi di sfruttare in modo più efficace i gap che si presentano nella corrente che percorre l'anello.

Vengono inoltre utilizzate, essenzialmente in ambito urbano, rotatorie caratterizzate da un diametro dell'isola centrale molto piccolo, inferiore ai 4 m, e con un diametro esterno dell'anello compreso fra 14 e 20 m. Queste, dette minirotorie, vengono utilizzate quando, in uno spazio molto ridotto, si vuole trasformare lo schema circolatorio tipico di un incrocio stradale urbano in quello proprio di una rotatoria. Nelle minirotorie l'isola centrale non è più invalicabile, e spesso viene semplicemente dipinta sulla pavimentazione dell'incrocio; in altri casi viene resa evidente differenziandone la pavimentazione da quella dell'anello. In questo modo la rotatoria è percorribile anche da veicoli di ingombro superiore a quello delle autovetture.

I modelli utilizzati per il progetto delle rotatorie regolate con la disciplina della priorità all'anello, siano essa convenzionali (cioè con grandi diametri) ovvero compatte o minirotorie, sono di origine sperimentale. Il metodo generalmente utilizzato consiste nell'assegnare alla rotatoria le caratteristiche geometriche che si ritengono idonee a soddisfare la domanda di traffico, e calcolarne quindi le caratteristiche di livello di servizio. Il punto di partenza di tale procedura è il calcolo della capacità.

5.2 – DEFINIZIONE DELLA CAPACITA'

Si definisce capacità del braccio di una rotatoria il più piccolo valore del flusso sul braccio che determina la presenza permanente di veicoli in attesa di immettersi. Questo valore del flusso dipende evidentemente dal flusso che percorre l'anello, e quindi dall'insieme dei flussi in ingresso e in uscita da tutti i bracci della rotatoria. Non è pertanto possibile calcolare la capacità di un braccio se non è nota l'intera matrice M origine-destinazione della rotatoria, il cui generico elemento (i,j) rappresenta il flusso in ingresso dal braccio i che esce al braccio j, dalla quale si ricava la matrice di distribuzione N, il cui generico elemento (i,j) fornisce la frazione del flusso entrante da i che esce in j.

Per le rotatorie si hanno due diverse definizioni di capacità: la capacità semplice e la capacità totale.

Data una matrice M origine-destinazione, sia δ il più piccolo scalare che moltiplicato per M dia luogo ad un insieme di flussi entranti e uscenti dalla rotatoria tale che la capacità, come precedentemente definita, sia raggiunta su uno dei bracci. Il prodotto di δ per il flusso entrante da questo braccio che si ricava dalla matrice M è la capacità semplice della rotatoria.

Data una matrice di distribuzione N si definisce capacità totale della rotatoria la somma dei flussi in ingresso che, distribuendosi secondo N fra le diverse uscite, determinano il raggiungimento contemporaneo della capacità su tutti i bracci.

Il metodo di calcolo della capacità di una rotatoria è stato oggetto di studio in molti Paesi negli ultimi decenni, seguendo le linee indicate da Kimber nel 1980, il quale ricavò la relazione che lega la capacità di un braccio al flusso che percorre l'anello ed alle caratteristiche geometriche della rotatoria attraverso l'analisi statistica, condotta con tecniche di regressione, di un gran numero di dati raccolti su rotatorie in Gran Bretagna, sia di tipo convenzionale che compatto, tutte con priorità sull'anello. Egli dimostrò l'esistenza di una relazione lineare fra la capacità di un braccio e il flusso sull'anello, e pose in evidenza che, fra le caratteristiche geometriche della rotatoria, quelle che hanno influenza di gran lunga maggiore sulla capacità di un braccio sono la larghezza della sua sezione trasversale corrente e quella della sua sezione allargata in corrispondenza della immissione.

I metodi di calcolo della capacità messi a punto nei diversi Paesi, pur essendo riconducibili tutti ad uno stesso schema fondamentale, differiscono in qualche misura fra loro, in parte perché diverse sono le tipologie di rotatoria su cui sono stati misurati i dati sperimentali, ma in misura prevalente per la diversità dei comportamenti degli automobilisti, i quali giocano un ruolo fondamentale nel determinare il modo di funzionare di una rotatoria.

5.3 – ANALISI DEI FLUSSI DEL TRAFFICO

L'analisi dei flussi veicolari è basata sui rilievi del traffico effettuati nell'ambito della realizzazione del piano provinciale della Viabilità (PPV), realizzato dalla NET Engineering S.p.A. per conto della Provincia di Padova, nella stesura dell'Aggiornamento del 2012.

I rilievi venivano eseguiti utilizzando apparecchiature di tipo piastre Nu-Metrics NC-97 e Radar Easy Data. Le rilevazioni venivano effettuate nel mese di maggio 2010 e ciascuna sezione è stata monitorata per un periodo di 40 ore nelle giornate centrali della settimana (solitamente mercoledì e giovedì).

L'intervallo di rilevazione è stato di 10 minuti, quindi nel corso delle 40 ore di attività delle apparecchiature, per ogni categoria rilevata sono stati registrati 240 valori di conteggio.

I conteggi sono stati differenziati per:

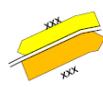
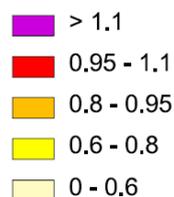
- classi di lunghezza: sono state rilevate 5 classi;
- classi di velocità: è stata determinata la velocità media dei veicoli appartenenti a ciascuna delle cinque classi di veicoli.

I valori rilevati, suddivisi in 5 classi di lunghezza, venivano convertiti in Unità Veicolari Equivalenti attraverso coefficienti standard che tengono conto sostanzialmente della lunghezza del veicolo.

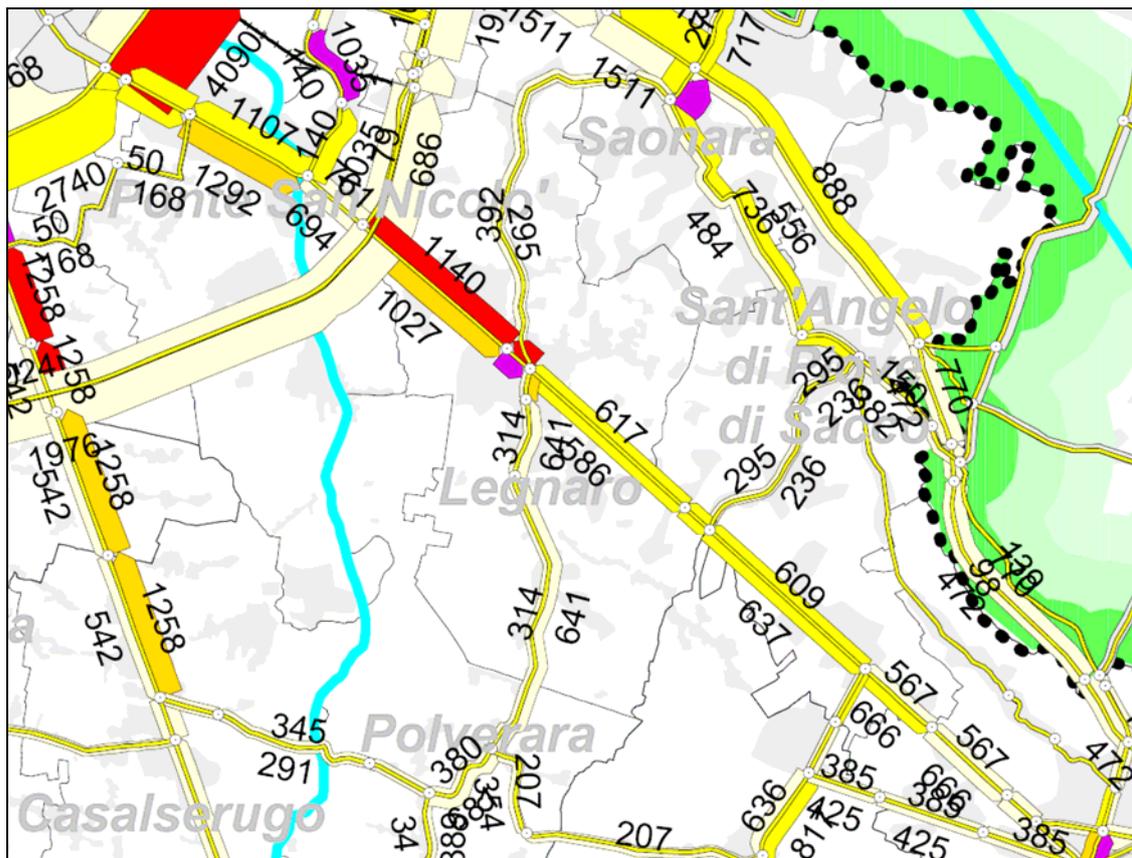
I dati venivano successivamente immessi in un grafo riprodotto la rete stradale provinciale, composto quindi da nodi ed archi determinati attraverso la matrice O/D (origine/destinazione) implementata e calibrata con misurazioni in tempo reale.

In tal modo si ottiene una rappresentazione del parametro "criticità" espresso come rapporto tra il flusso orario transitante e la capacità oraria della direttrice e riportato su scala cromatica nella rete stradale.

Criticità v/c = flusso assegnato/capacità



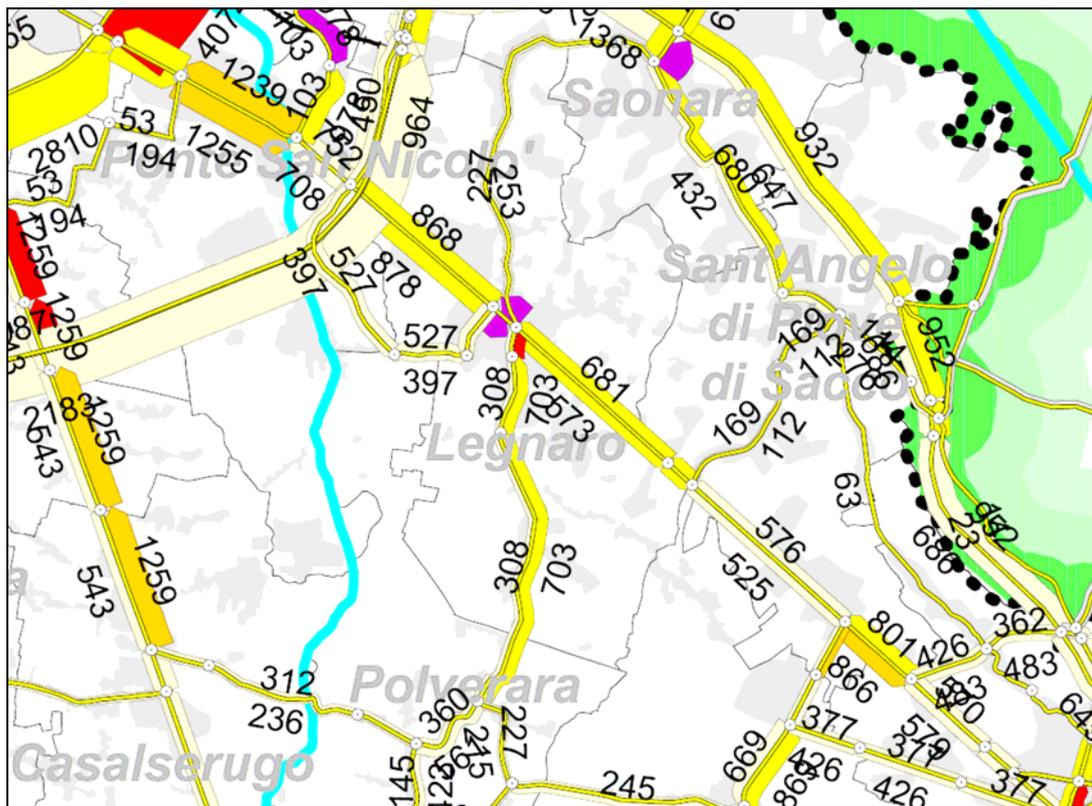
Flusso orario in unità veicolari equivalenti



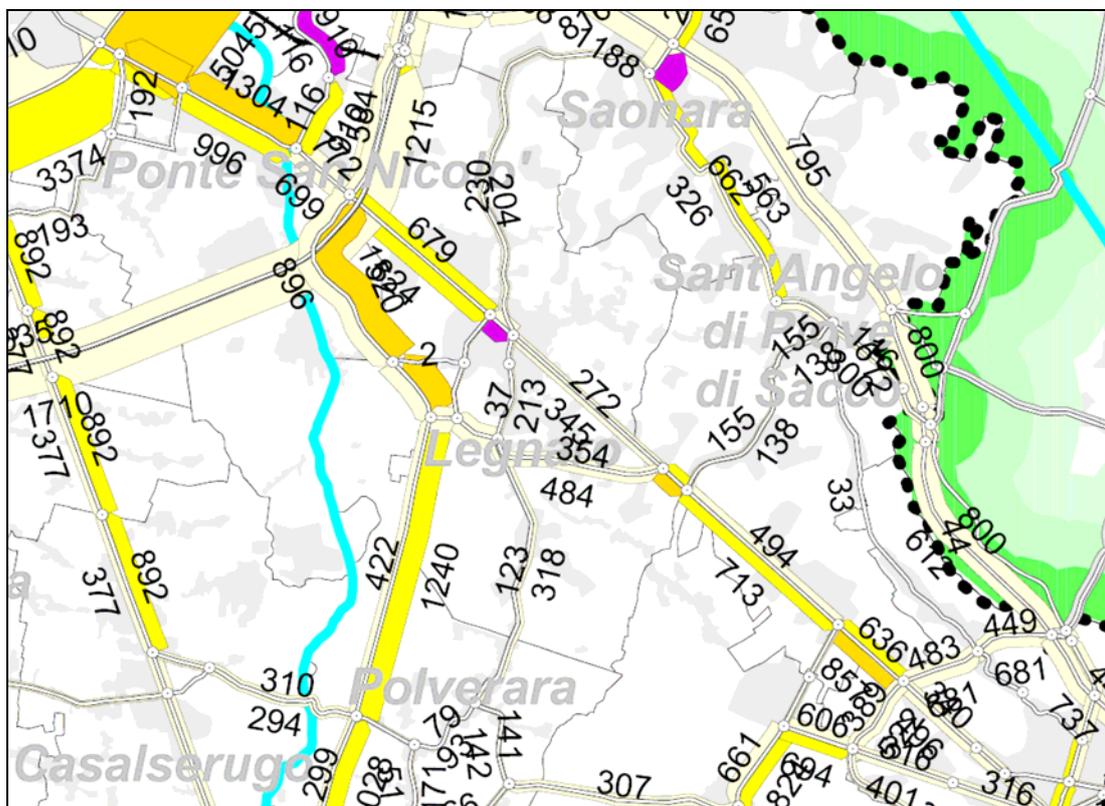
Criticità della rete stradale: stato odierno (2012)

Successivamente allo scenario attuale si è valutata l'evoluzione nel tempo del sistema di trasporto, considerando i seguenti aspetti:

- la crescita della domanda di mobilità (2010 – 2020);
- gli scenari di evoluzione territoriale eventualmente previsti;
- la rete di offerta di trasporto integrata con gli interventi previsti dai piani degli Enti Gestori delle infrastrutture al 2020;
- adottando dei tassi percentuali di crescita differenziati a seconda delle relazioni O/D.



Criticità della rete stradale: scenario tendenziale(2020)



Criticità della rete stradale: scenario tendenziale in prospettiva degli interventi programmati

Su tali valori vengono svolte le verifiche prestazionale delle rotatorie.

6 – VERIFICA DELLA CAPACITA' DELLA ROTATORIA

Città di SANT'ANGELO DI POVE DI SACCO
Provincia di PADOVA

Progetto Definitivo



VERIFICHE DI CAPACITA' E VERIFICHE PRESTAZIONALI

Professionista

SIA - Studio Ingegneria & Architettura

Indirizzo

Via D. Turazza, 48 D

CAP

35128

Città

PADOVA

Provincia

PD

Tel.

0498715216

E-mail

siaing@tin.it

Data

11/03/2015

Nome progetto

Progetto_

INDICE

INDICE	2
PREMESSE.....	3
IPOTESI E DATI PROGETTUALI	3
La toponomastica	3
La geometria dell'intersezione e degli ingressi.....	4
I flussi veicolari circolanti	4
La matrice della distribuzione delle svolte.....	6
La composizione del traffico: veicoli equivalenti.....	7
Il tempo di modellazione	7
IL MODELLO ANALITICO	9
LA PROCEDURA DI CALCOLO.....	10
PARAMETRI PRESTAZIONALI: la microsimulazione	11
La capacità singola degli ingressi	11
La capacità ultima	12
Stima delle lunghezze delle code.....	12
Stima dei ritardi.....	13
RIFERIMENTI NORMATIVI - BIBLIOGRAFICI	14
ALLEGATO 1	15

PREMESSE

La presente relazione illustra e analizza le verifiche di capacità dell'intersezione a rotatoria in progetto e le sue caratteristiche tecnico-prestazionali in relazione al contesto infrastrutturale presente nel sito di impianto (Comune di SANT'ANGELO DI POVE DI SACCO – Località). In particolare vengono presi in considerazione tutti gli aspetti e le problematiche correlate a tale tipologia di intersezione stradale.

IPOTESI E DATI PROGETTUALI

Si riportano i dati di progetto utilizzati per la verifica tecnico-prestazionale dell'intersezione in progetto ed in particolare:

- La toponomastica dell'intersezione;
- La geometria dell'intersezione e degli ingressi;
- La matrice della distribuzione delle svolte;
- I flussi veicolari circolanti;
- L'effetto prodotto dai veicoli pesanti e commerciali; .

I dati relativi alla composizione del traffico, del volume circolante e degli intervalli di "ora di punta", sono stati dedotti e calibrati analiticamente in accordo con osservazioni in sito e le relative stime analitiche riportate in seguito.

La toponomastica

L'intersezione in oggetto è situata nel territorio del Comune di SANT'ANGELO DI POVE DI SACCO in provincia di PADOVA in ed in particolare è individuata univocamente dai seguenti assi stradali:

	Località
Ingresso A	Via Ardoneghe
Ingresso B	SR 516 dir Piove di Sacco
Ingresso C	Via San Polo
Ingresso D	SR 516 dir Padova

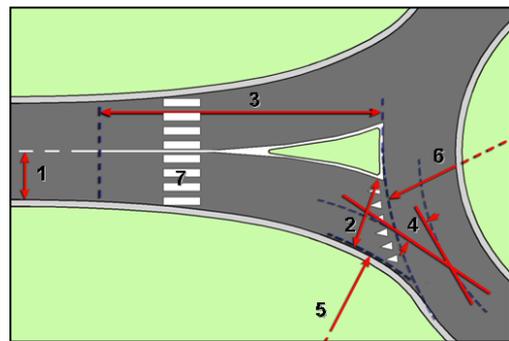
La geometria dell'intersezione e degli ingressi

Le caratteristiche geometriche della nuova sistemazione a rotatoria possono essere riassunte attraverso i seguenti parametri dimensionali definiti in figura:

INGRESSO	1	2	3	4	5	6	7
	[m]	[m]	[m]	[°]	[m]	[m]	
Ingresso A	3,00	3,50	15,00	19,00	20,00	40,00	no
Ingresso B	3,25	4,00	21,00	5,00	32,00	40,00	no
Ingresso C	3,00	4,00	15,00	13,00	16,00	40,00	no
Ingresso D	3,25	4,00	23,00	5,00	21,00	40,00	no

LEGENDA

- 1 Semi-larghezza accesso
- 2 Larghezza ingresso
- 3 Lunghezza di svasatura
- 4 Angolo di conflitto
- 5 Raggio curvatura ingresso
- 6 Diametro inscritto
- 7 Presenza passaggio pedonale



La presenza di attraversamenti pedonali sugli accessi tende ad influenzare le normali manovre di approccio all'incrocio disturbando il traffico veicolare e riducendo la capacità in ingresso. Sebbene si tratti di un fattore secondario, ma non trascurabile, nella presente verifica si è tenuto conto dell'effetto generato dalla presenza dei flussi d'attraversamento pedonali sull'intera rotatoria.

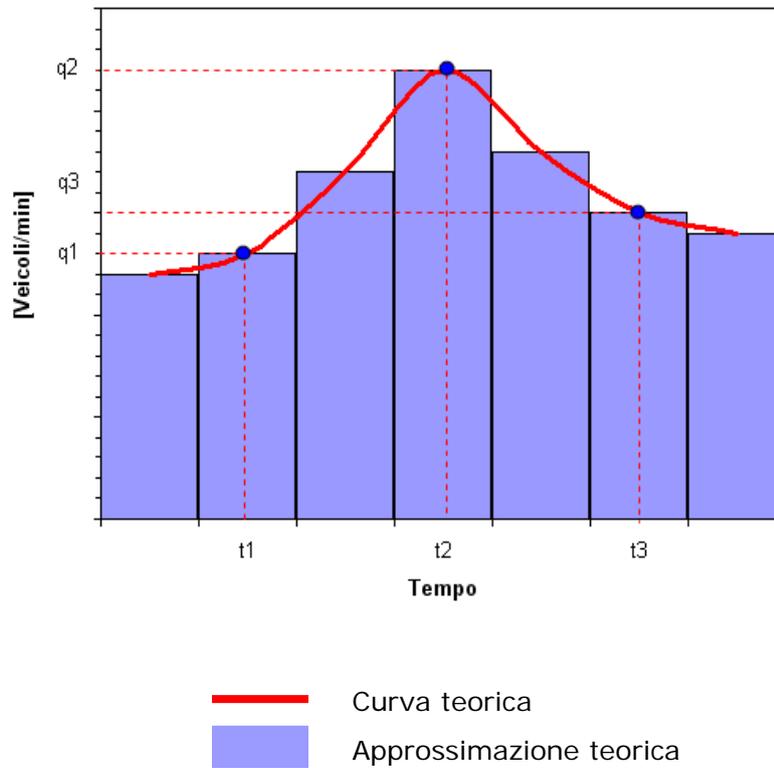
I flussi veicolari circolanti

L'analisi dei flussi di traffico fornisce gli elementi necessari per quantificare le reali prestazioni (o livelli di servizio) dell'intersezione in esame. Al fine di effettuare la seguente verifica tecnico prestazionale della rotatoria, si è adottata la distribuzione dei flussi veicolari che rappresenta la condizione di esercizio più sfavorevole per ogni ingresso.

L'andamento teorico di tale flusso di domanda e l'effettiva approssimazione analitica è stato definito tramite una curva di carico "sintetica tempo-flusso" rappresentata dai seguenti parametri:

- **(q1, t1)**, rispettivamente il valore della domanda di traffico q1 all'istante di tempo t1 (istante precedente all'istante in cui la domanda di traffico presenta il suo massimo).

- **(q2, t2)**, la coppia di valori flusso/tempo che definisce il massimo valore raggiunto dalla domanda di traffico al tempo t2.
- **(q3, t3)**, sono i valori del flusso di traffico q3 al tempo t3, istante di tempo successivo al tempo t2.



In particolare sono stati assegnati per ogni ingresso i seguenti flussi di traffico:

INGRESSO	t1	q1	t2	q2	t3	q3	Flusso totale	Flusso medio	Flusso orario
	[h]	[veic/min]	[h]	[veic/min]	[h]	[veic/min]	[veicoli]	[veic/min]	[veic/h]
Ingresso A	08.00	1,00	08.30	2,00	09.00	1,00	100,00	1,67	100,00
Ingresso B	08.00	6,10	08.30	12,20	09.00	6,10	610,00	10,17	610,00
Ingresso C	08.00	3,00	08.30	6,00	09.00	3,00	300,00	5,00	300,00
Ingresso D	08.00	5,90	08.30	11,80	09.00	5,90	590,00	9,83	590,00

La matrice della distribuzione delle svolte

Per descrivere completamente una domanda di flusso di traffico non è sufficiente definire la sua variabilità nel tempo, ma è necessario descrivere anche la matrice della distribuzione delle svolte sull'area dell'incrocio. Nella presente relazione si è utilizzata la una configurazione delle manovre dove per ogni origine dello spostamento verso ogni destinazione dello stesso sono stati definiti i seguenti valori (non sono state considerate le manovre di inversione di marcia (es. da Ingresso A ad uscita A)):

INGRESSO	A	B	C	D
A		44,4445	11,1111	44,4445
B	1,6420		18,8834	79,4746
C	3,3898	47,4576		49,1525
D	1,7065	79,5222	18,7713	

Tale distribuzione è stata ricavata dagli elaborati del Piano Provinciale della Viabilità (PPV), realizzato dalla NET Engineering S.p.A. per conto della Provincia di Padova, nella stesura dell'Aggiornamento del 2012, che si può riassumere attraverso la seguente matrice di Origine/Destinazione:

INGRESSO	A	B	C	D
A		40,00	10,00	40,00
B	10,00		115,00	484,00
C	10,00	140,00		145,00
D	10,00	466,00	110,00	

VEICOLI ENTRANTI		
A	90	[veicoli]
B	609	[veicoli]
C	295	[veicoli]
D	586	[veicoli]

VEICOLI USCENTI		
A	30	[veicoli]
B	646	[veicoli]
C	235	[veicoli]
D	669	[veicoli]

La matrice delle distribuzioni delle svolte si assume costante durante tutta la microsimulazione della finestra temporale.

La composizione del traffico: veicoli equivalenti

Osservando una corrente di flusso veicolare in una data sezione stradale, è possibile individuare diverse tipologie di mezzi circolanti aventi caratteristiche dimensionali e prestazionali molto diverse tra loro. (es. veicoli a due ruote, autocarri, veicoli ordinari).

Diventa evidente che ad ogni categoria di veicolo corrisponde un comportamento differente sulla carreggiata circolante sia per la variabilità dell'utente, sia per la differente modalità di guida di ogni classe di automezzo. Per costruire un modello significativo e rappresentativo di flusso di traffico si sono assegnati dei coefficienti di equivalenza in modo tale da rapportare il volume veicolare complessivo ad una sola tipologia di veicolo: *il veicolo equivalente o modello*.

A tal proposito la composizione del traffico è stata definita valutando i seguenti rapporti di equivalenza per ogni tipologia di veicolo presente nella corrente di traffico e le relative percentuali.

LEGENDA – Tabella di equivalenza

veicoli pesanti					
	TIPO1	Autoarticolato, bilico	=	2,50	[veic.eq.]
	TIPO2	Autotreno, bilico	=	2,00	[veic.eq.]
	TIPO3	Autobus	=	1,80	[veic.eq.]
veicoli ricreativi					
	TIPO4	Camper, Furgoni, minibus	=	1,40	[veic.eq.]
	TIPO5	Autovetture + roulotte, Autovetture + carrelli	=	1,20	[veic.eq.]
veicoli a due ruote					
	TIPO6	Motoveicoli, biciclette	=	0,80	[veic.eq.]
veicoli ordinari					
	TIPO7	Autovetture	=	1,00	[veic.eq.]

Il tempo di modellazione

L'intersezione in progetto è stata verificata tramite una micorsimulazione aventi le seguenti caratteristiche spazio temporali:

Ora iniziale analisi	08.00	[ore]
Segmento di tempo	10	[min]
Ora finale analisi	09.00	[ore]

Tale intervallo di tempo viene definito "finestra temporale" o tempo di modellazione della microsimulazione .

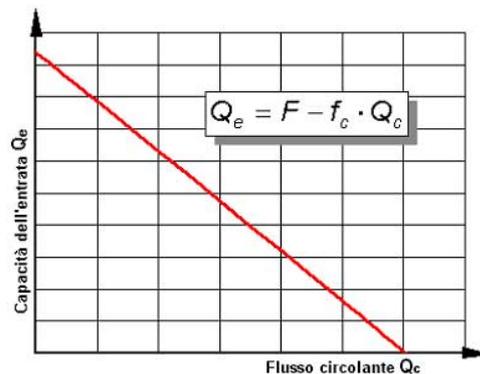
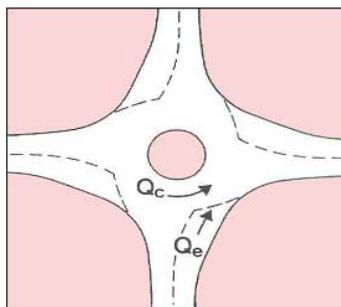
IL MODELLO ANALITICO

Gli attuali metodi di stima della capacità riguardano solo il caso in cui la rotatoria è stata progettata tenendo conto delle regole di precedenza all'anello (con tale criterio vengono così escluse le rotatorie di tipo convenzionale caratterizzate da un'ampia isola centrale con aree di "scambio" rettilineo).

Il modello analitico utilizzato per la verifica dell'intersezione a rotatoria è basato su un modello empirico lineare ottenuto tramite tecniche di regressione dei dati di traffico osservati sperimentalmente.

Le formulazioni proposte da Kimber¹ evidenziano il legame lineare tra la capacità d'entrata (Q_e) ed il flusso circolante (Q_c) sull'anello della rotatoria e rappresentano, ad oggi, il modello empirico più completo nell'ambito delle intersezioni a rotatoria. Infatti i due coefficienti F e f_c ² sono strettamente legati a ben 6 parametri geometrici dell'ingresso ed in particolare:

- L_a - semilarghezza della carreggiata di accesso alla rotonda.
- L_i - larghezza dell'entrata a livello della linea di dare la precedenza.
- L_s - lunghezza lungo la quale avviene l'eventuale svasatura dell'entrata.
- D_i - diametro inscritto della rotatoria
- ϕ_c - angolo di conflitto di immissione
- R_i - raggio di curvatura dell'entrata



$$Q_e = F - f_c \cdot Q_c$$

$$Q_e = 0$$

$$\text{con } f_c \cdot Q_c < F$$

$$\text{con } f_c \cdot Q_c > F$$

¹ KIMBER, R.M. Ricercatore inglese (1980). *The Traffic Capacity of Roundabouts*. TRRL Laboratory Report 942. Transport and Road Research Laboratory

² OBx – Metodologia di applicazione della soluzione a rotatoria (2003)- www.ob-x.it

LA PROCEDURA DI CALCOLO

Le diverse componenti del problema, descritte nei precedenti paragrafi, possono ora essere raggruppate per fornire un modello che descriva il "funzionamento" dell'intera rotatoria. La procedura utilizzata per le verifiche di capacità e le verifiche prestazionali si può riassumere nei seguenti passaggi:

- Per ogni entrata i , tramite la conoscenza del layout geometrico della rotatoria, si calcolano la pendenza f_{ci} e l'intercetta F_i del modello di calcolo. Tali valori forniscono il legame che sussiste fra la capacità ed il flusso circolante, che è dato da: $Q_{ei} = F_i - f_{ci} \cdot Q_{ci}$;
- La finestra temporale di analisi viene suddivisa in intervalli costanti definiti segmenti di tempo, all'interno dei quali è possibile approssimare le grandezze che descrivono sia le caratteristiche prestazionali (code, ritardi,...) sia i dati di input del problema (flussi entranti, composizione del traffico,...);
- Per ogni segmento di tempo e per ogni accesso in rotatoria, vengono calcolate le seguenti grandezze:
 - Il flusso veicolare entrante;
 - Il flusso veicolare entrante equivalente;
 - Il flusso veicolare circolante sull'anello;
 - La capacità dell'ingresso;
 - La lunghezza delle code presente sull'accesso;
 - La stima del ritardo medio per veicolo.

Il processo viene ripetuto segmento per segmento, fino a quando l'intero periodo preso in esame non è stato interamente analizzato.

Un modello di questo tipo fornisce una buona stima della variabilità temporale delle grandezze prestazionali principali quali , le capacità delle entrate, le lunghezze delle code e i ritardi di attesa dei veicoli.

In allegato 1 si riportano i risultati numerici e grafici di tali grandezze calcolati secondo il modello appena descritto.

PARAMETRI PRESTAZIONALI: la microsimulazione

L'efficienza di una intersezione a rotatoria è solitamente valutata attraverso la stima e la definizione di parametri prestazionali. Risulta pertanto fondamentale analizzare le seguenti grandezze:

- la capacità di ogni singolo ingresso, ovvero il numero di veicoli entranti in rotatoria in funzione delle condizioni al contorno dettate dalla geometria dell'accesso, dalla composizione del traffico e dalla matrice delle svolte dell'intersezione.
- La capacità ultima (o di saturazione) degli accessi ovvero la capacità di ogni singolo accesso in condizioni di saturazione.
- la lunghezza della coda di veicoli presente su ogni singolo accesso;
- il ritardo subito dalla corrente veicolare entrate sull'accesso e la relativa perdita di tempo all'intersezione subita dall'utente;

La capacità singola degli ingressi

Si può definire capacità dell'entrata di un'intersezione a rotatoria il valore del flusso veicolare che si immette sulla carreggiata anulare in condizioni di saturazione dell'accesso stesso. Questa particolare condizione si verifica allorquando la domanda di traffico risulta essere sufficientemente elevata in modo tale da causare la formazione di code. Per il calcolo della capacità singola di ogni ingresso è stata utilizzata la formulazione proposta da Kimber³ illustrata nei paragrafi precedenti

In allegato 1 si riportano i risultati numerici e grafici delle capacità singole per ogni ingresso calcolati nella finestra temporale della microsimulazione relativi alla condizione di carico del nodo descritto.

³ KIMBER, R.M. (1980). *The Traffic Capacity of Roundabouts*. TRRL Laboratory Report 942. Transport and Road Research Laboratory,

La capacità ultima

Se tutti gli ingressi sono saturi, le capacità d'entrata diventano completamente interdipendenti. L'entità della portata di circolazione attraverso un dato ingresso, dipende dall'afflusso degli accessi precedenti e questi ultimi sono determinati interamente dalle loro capacità d'entrata. Cosicché, la capacità di ciascun accesso della rotonda dipende dal traffico "scaricato" dai rimanenti ingressi.

La ricerca delle relazioni di interdipendenza tra gli ingressi e dei reciproci fenomeni di influenza/interscambio vengono definiti relazioni di bilanciamento della rotonda.

Semplicemente si integra il modello di stima di capacità del singolo ingresso e si estende all'intera rotonda tenendo conto di tutte le condizioni al contorno quali la distribuzione delle svolte, la composizione del traffico, ecc..

Considerando quindi le stesse condizioni esposte nei paragrafi precedenti si ottengono delle capacità bilanciate la cui somma fornisce una buona stima della capacità di saturazione o capacità ultima dell'intera intersezione.

INGRESSO	Capacità [veic.eq/min]	Capacità [veic.eq/h]
A	7,19	431,25
B	15,90	954,15
C	9,97	598,49
D	16,69	1001,64

Stima delle lunghezze delle code

I fenomeni di traffico sono intrinsecamente di natura stocastica e una loro trattazione analitica deve fare riferimento a una funzione di probabilità (o distribuzione di probabilità) in grado di descrivere il fenomeno. Le distribuzioni proposte in letteratura sono numerose, con differenti specializzazioni e applicazioni.

Nel caso di intersezioni a rotonda, recenti studi teorici ed osservazioni sperimentali hanno mostrato che la distribuzione di probabilità del numero di veicoli fermi alla linea di dare precedenza (lunghezza della coda) dipende essenzialmente dalla capacità effettiva del movimento e dalla corrispondente portata, vale a dire dal rapporto di saturazione. Per il calcolo della stima delle lunghezze delle code sugli accessi in rotonda, è stata utilizzata la formulazione proposta da Brilon e Wu ⁴.

⁴ Brilon, N.Wu, L.Bondzio, "Unsignalized intersections in Germany – A state of the art 1997", Third International Symposium on Intersections Without Traffic Signals, Bochum, 1997

In allegato 1 si riportano i risultati numerici e grafici delle lunghezze delle code per ogni ingresso calcolati nella finestra temporale della microsimulazione relativi alla condizione di carico del nodo descritto.

Stima dei ritardi

I ritardi dei veicoli nelle intersezioni sono prodotti da due distinte cause. In primo luogo i veicoli devono rallentare per raggiungere il punto di conflitto e “negoziare” l’ingresso: anche se non vi sono veicoli circolanti, il traffico entrante è “frenato” dalla geometria dell’ingresso che ha il compito di inserire tale corrente di traffico veicolare sull’anello di circolazione. Tali ritardi dipendono dalle dimensioni e dalla forma dell’incrocio, ossia dalle sue caratteristiche geometriche, e quindi vengono denominati **“ritardi geometrici”**.

In secondo luogo, quando si ha un aumento dei flussi veicolari, le interazioni reciproche tra i veicoli provocano la formazione di code e quindi di ritardi (ritardi dovuti alle code o, più in generale, a situazioni di congestione dell’intersezione).

Questo ritardo risulta essere strettamente legato ai flussi veicolari presenti e alla loro variazione nel tempo, mentre il ritardo geometrico è sempre presente e rappresenta una quota considerevole del ritardo complessivo risultante.

Per il calcolo della stima dei ritardi subiti dai veicoli entranti in rotatoria, è stata utilizzata la formulazione proposta dal “Highway Capacity Manual”⁵

In allegato 1 si riportano i risultati numerici e grafici dei ritardi per ogni ingresso calcolati nella finestra temporale della microsimulazione relativi alla condizione di carico del nodo descritto.

⁵ Highway Capacity Manual – HCM 2000”, Special Report n°209, T.B.R., Washington D.C., 2000

RIFERIMENTI NORMATIVI - BIBLIOGRAFICI

La presente verifica ha espressamente fatto riferimento alle attuali norme italiane in materia di progettazione stradale tenendo conto anche delle guide, delle pubblicazioni e delle disposizioni tecniche straniere (Francesi, Inglesi, Svizzere,...) che hanno garantito i risultati ottenuti grazie ai decenni di sperimentazione in materia:

1. Akcelik R., Chung E. and Besley M.: *Performance of roundabouts under heavy demand condition. Road and Transport Research (1996)*;
2. Alphan E., Noelle U., Guichet B.: *Evolution of design rules for urban roundabouts in France*. In Brilon (Ed.): *Intersection Without Traffic Signals II*. Springer-Verlag, Berlin (1991);
3. "Application Guide" AG31 – maggio 98 – pubblicazione A (Versione per guida con circolazione a destra);
4. Bovy Ph. H.: *Les giratoires:développements en Suisse romande et élaboration d'un guide Suisse. Route et Traffic n° 9/9/1990*;
5. Burrow I.J., R.M. Kimber, N. Hoffmann and D. Wills: *The prediction of traffic Peak Shapes from Hourly flow counts*. Department of The Environment Department of Transport, TRRL Report SR 765. Crowthorne: Transport and Road Research Laboratory 1983;
6. Burrow I.J.: *The effect of darkness of the capacity of road Junction. Traffic Engineering and control (1986)* ;
7. Brilon, N.Wu, L.Bondzio, "Unsignalized intersections in Germany – A state of the art 1997", Third International Symposium on Intersections Without Traffic Signals, Bochum, 1997;
8. Glen M.G.M., Dummer S.L., Kimber R.M. *The capacity of offside priority roundabouts entries*. TRRL Report 436 (1978);
9. Highway Capacity Manual – HCM 2000", Special Report n°209, T.B.R., Washington D.C., 2000;
10. OBX – Metodologia di applicazione della soluzione a rotatoria (2003)- www.ob-x.it ;
11. OBX – Metodi di calcolo della capacità – Approfondimento tematico (2004) – www.ob-x.it ;
12. Kimber R. M.: *The traffic capacity of roundabouts*. TRRL Report LR 942 (1980);
13. Kimber R.M. and Hollis Erica M.: *Traffic queues and delays at road: junction*.TRRL Report LR 909 (1979);
14. Paolo Ferrari e Franco Giannini: *Geometria e progetto di strade, volume 1*, ISEDI 1998.

ALLEGATO 1

Si riportano, di seguito, i valori dei parametri prestazionali calcolati per ogni ingresso nella finestra temporale della microsimulazione in funzione delle condizioni di carico del nodo descritto.

ATTENZIONE! Sebbene il modello di calcolo utilizzato fornisce una precisa stima dei parametri prestazionali dell'intersezione in oggetto, bisogna ricordare che in realtà il meccanismo rotatorio è afflitto da componenti esterne ed aleatorie non trascurabili. Generalmente troviamo imprecisioni legate alla valutazione o alla misurazione delle correnti veicolari, della loro composizione del traffico e della matrice delle svolte. Il comportamento del singolo automobilista, le reciproche influenze dei veicoli all'interno delle correnti di traffico e i tempi di reazione sono sicuramente altre variabili importanti che andrebbero valutate in ogni progetto e che incidono direttamente sulla prestazione della rotatoria. Da non trascurare poi la predisposizione abitudine. Pertanto, per poter interpretare correttamente i valori calcolati, si applica un coefficiente di saturazione massimo indicativamente pari al 0,85-0,80.

VERIFICHE PRESTAZIONALI					
	Flusso	Capacità	Coeff. Saturazione	Coda	Ritardo
	[veic/min]	[veic/h]		[veic]	[s/veic]
08.00 - 08.10					
Via Ardoneghe	1,00	878,79	0,068	0,2	4,4
SS 516 dir Piove di Sacco	6,10	1142,24	0,320	1,4	4,6
Via San Polo	3,00	945,40	0,190	0,7	4,7
SS 516 dir Padova	5,90	1127,44	0,314	1,3	4,6
08.10 - 08.20					
Via Ardoneghe	1,33	801,38	0,100	0,3	5,0
SS 516 dir Piove di Sacco	8,13	1123,16	0,434	2,2	5,6
Via San Polo	4,00	887,13	0,271	1,1	5,5
SS 516 dir Padova	7,87	1109,06	0,426	2,1	5,6

08.20 - 08.30					
Via Ardoneghe	1,67	723,97	0,138	0,5	5,8
SS 516 dir Piove di Sacco	10,17	1104,08	0,552	3,4	7,1
Via San Polo	5,00	828,86	0,362	1,6	6,7
SS 516 dir Padova	9,83	1090,67	0,541	3,3	7,0
08.30 - 08.40					
Via Ardoneghe	2,00	646,56	0,186	0,7	6,8
SS 516 dir Piove di Sacco	12,20	1084,99	0,675	5,3	9,6
Via San Polo	6,00	770,59	0,467	2,5	8,6
SS 516 dir Padova	11,80	1072,28	0,660	5,0	9,3
08.40 - 08.50					
Via Ardoneghe	1,67	723,97	0,138	0,5	5,8
SS 516 dir Piove di Sacco	10,17	1104,08	0,552	3,4	7,1
Via San Polo	5,00	828,86	0,362	1,6	6,7
SS 516 dir Padova	9,83	1090,67	0,541	3,3	7,0
08.50 - 09.00					
Via Ardoneghe	1,33	801,38	0,100	0,3	5,0
SS 516 dir Piove di Sacco	8,13	1123,16	0,434	2,2	5,6
Via San Polo	4,00	887,13	0,271	1,1	5,5
SS 516 dir Padova	7,87	1109,06	0,426	2,1	5,6
09.00 - 09.10					
Via Ardoneghe	1,00	878,79	0,068	0,2	4,4
SS 516 dir Piove di Sacco	6,10	1142,24	0,320	1,4	4,6
Via San Polo	3,00	945,40	0,190	0,7	4,7
SS 516 dir Padova	5,90	1127,44	0,314	1,3	4,6