



REGIONE
LAZIO

ASTRAL

Interventi sul Sistema Viario Regionale per la sostenibilità
della manifestazione sportiva Ryder Cup in un'ottica di miglioramento della
capacità e della fruibilità delle dotazioni infrastrutturali.

INTERVENTO 16
REALIZZAZIONE ROTATORIE SP 23A PALOMBARESE
INTERSEZIONI PARCO AZZURRO E VIA TACITO

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA

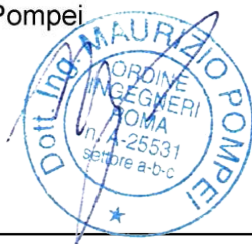
VERIFICHE TECNICHE E PRESTAZIONALI DM 19.04.2006

Il Progettista
Ing. Maurizio Pompei



Il Responsabile Unico del Procedimento
Ing. Federico Ranieri

Coordinatore in Progettazione
Ing. Maurizio Pompei



il Dirigente Area Progettazione ed Espropri
Ing. Federico Ranieri

Collaboratori

Direzione Infrastrutture Stradali e Grandi Opere
il Direttore Ing. Giovanni Torriero

CODICE CUP

C97H20000260002

REVISIONE

DATA

N. Elaborato

1

Novembre 2024

2

3

4

RT.02

INDICE

INDICE.....	1
INTRODUZIONE.....	2
DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO	3
VERIFICHE ROTATORIA DM 19.04.2006 - PRESTAZIONALI	3
Ipotesi e dati progettuali	3
La toponomastica	4
La geometria dell'intersezione e degli ingressi	5
I FLUSSI VEICOLARI CIRCOLANTI	6
Valutazione del contesto infrastrutturale ed analisi preliminare del traffico veicolare circolante (Dati FCD)	6
Determinazione dei flussi veicolari circolanti.....	8
La composizione del traffico: veicoli equivalenti	9
IL MODELLO ANALITICO	11
LA PROCEDURA DI CALCOLO	12
RISULTATI PRESTAZIONALI	13
La capacità ultima	19
Stima del flusso di saturazione	19
VERIFICHE GEOMETRICHE ROTATORIA - DM 19.04.2006	22
Verifica della visibilità	22
Verifica della deflessione o dell'angolo "beta"	24
CONCLUSIONI	27
RIFERIMENTI NORMATIVI - BIBLIOGRAFICI	29

INTRODUZIONE

Il presente elaborato è parte integrante del progetto di fattibilità tecnico economico degli Interventi per la realizzazione di una nuova rotatoria tra la via Palombarese e via Tacito nel comune di Guidonia Montecelio (RM).

Nello specifico il presente elaborato riassume alcuni approfondimenti specialistici del progetto suddetto ed in particolare le verifiche prestazionali e geometriche per la nova rotatoria previste dal D.M.
19.04.2006

DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

Il progetto prevede la realizzazione di una nuova rotatoria compatta di 39 m all'intersezione tra la via Palombarese e via Tacito nel comune di Guidonia Montecelio (RM).

VERIFICHE ROTATORIA DM 19.04.2006 - PRESTAZIONALI

Come richiesto dalla normativa vigente, è stato necessario effettuare le verifiche prestazionali dell'intersezione al fine di valutare l'effetto prodotto dalla nuova soluzione progettuale proposta sul contesto infrastrutturale esistente.

Grazie all'utilizzo di un software specialistico, sono stati pertanto definiti dei modelli a circolazione rotatoria e sono state effettuate delle micro-simulazioni di traffico in particolare sulla soluzione proposta.

Le micro-simulazione effettuata con il software ROTOR¹, strumenti dedicato per la progettazione e verifica delle intersezioni a rotatoria, hanno fornito una buona stima della variabilità temporale delle grandezze prestazionali principali della rotatoria quali, le capacità delle entrate, le lunghezze delle code e i ritardi di attesa dei veicoli. Si riportano in allegato i risultati ottenuti per ogni accesso della rotatoria progettata.

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;
- I flussi veicolari circolanti;
- La matrice della distribuzione delle svolte;
- 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.

¹ Si tratta di un software di microsimulazione ideato sviluppato e distribuito dallo Studio OBx – ing Omar Bodrito, concepito per la verifica prestazionale e la progettazione grafica/analitica delle intersezioni a rotatoria. www.ob-x.it. Esegue le verifiche prefazionali richieste dal D.M. 19.04.2006.

La toponomastica

L'intersezione oggetto di verifica è identificata univocamente dai seguenti assi stradali:



	Località
Ingresso A	Via Palombarese (lato OVEST)
Ingresso B	Via Tacito (lato SUD)
Ingresso C	Via Palombarese (lato EST)

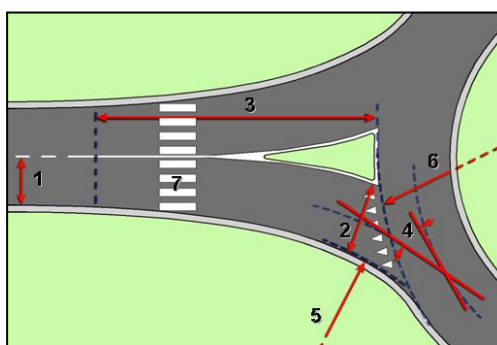
La geometria dell'intersezione e degli ingressi

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	3,50	3,60	5,00	20,00	10,00	37,00	no
Ingresso B	3,50	3,60	5,00	20,00	9,70	37,00	sì
Ingresso C	3,50	3,60	5,00	20,00	10,00	37,00	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

La determinazione dei flussi veicolari circolanti sul nodo oggetto di analisi è stata effettuata mediante l'utilizzo dei dati FCD di Tom Tom. Si tratta di un passaggio fondamentale per poter valutare l'andamento e il carico della rete e del nodo stradale oggetto di intervento.

Nei paragrafi successivi i dettagli esplicitati dell'analisi sovrta.

Valutazione del contesto infrastrutturale ed analisi preliminare del traffico veicolare circolante (Dati FCD)

Al fine di valutare la funzionalità e la rispondenza alla normativa della modifica alla rotatoria esistente, è stato necessario valutare i carichi di traffico circolanti sul nodo esistente e sulle viabilità limitrofe.

Per stimare i suddetti flussi veicolari e le relative ore di punta della rete ovvero le condizione più gravosa per l'intersezione oggetto del presente studio, sono stati utilizzati i dati FCD (*Floating Car Data*) forniti dalla società Tom Tom.

Grazie al loro database con più di 6 trilioni di dati inviati dai consumatori e raccolti da misurazioni GPS anonime in tutto il mondo, è stato possibile ricavare una stima dei passaggi e della loro distribuzione nel tempo sulle viabilità oggetto di intervento.

L'accesso questi dati è stato possibili attraverso una piattaforma web dedicata dalla quale, inserendo un finestra di temporale e un orario di riferimento ci ha permesso di valutare con precisione l'andamento ed il trend del traffico sulla rete oggetto di intervento.

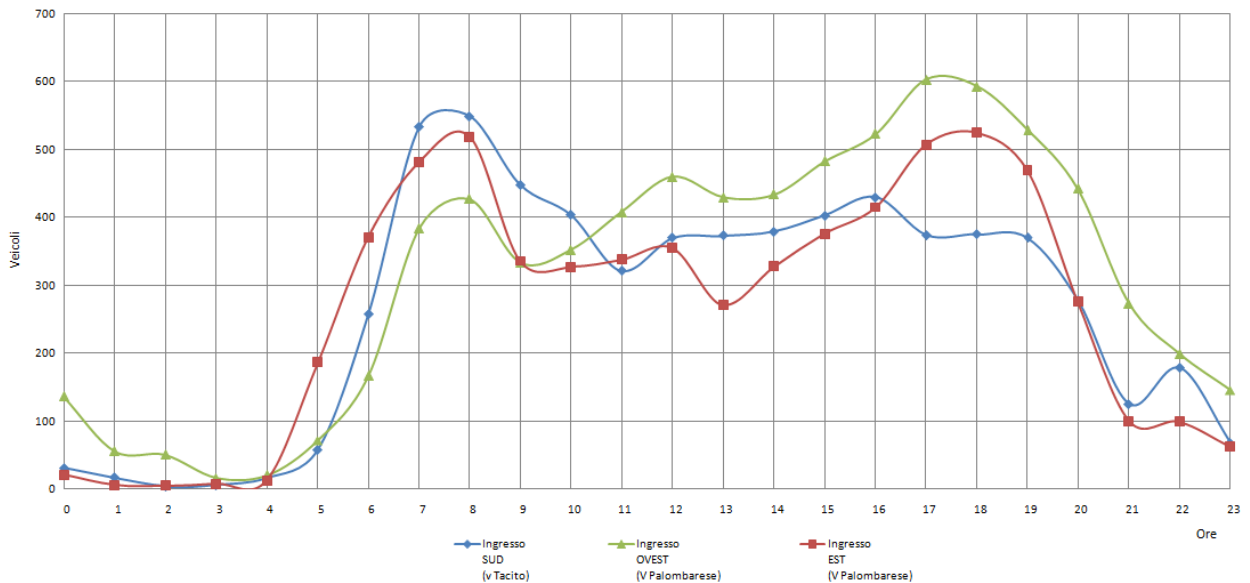
Nello specifico sono stati utilizzati i dati di traffico di un mese ed in particolare dal 05-09-2024 al 05-10-2024 ogni 24h degli archi stradali individuati nella seguente figura.



Il campione estratto è stato successivamente elaborato tramite un modello di calcolo previsionale empirico basato sul raffronto di più di 8000 confronti tra le stime ricavate dai dati Tom Tom e i dati effettivamente rilevati in sito.

La taratura del suddetto modello è stata inoltre effettuata utilizzando alcuni conteggi forniti dall'Amministrazione comunale nell'incrocio oggetto di intervento che hanno permesso di ricavare la stima dei flussi circolanti medi sul nodo. Nel seguente grafico si possono osservare le stime aggiornate dei flussi in ingresso al nodo dalle ore 0:00 alle ore 24:00.

Stima flussi veicolari in ingresso



Le fluttuazioni del traffico sopra rappresentate, consentono di individuare due principali picchi di volumi di traffico durante l'arco della giornata ed in particolare:

- Il picco dell'ora di punta della mattina dalle ore 7:00 e le ore 8:00
- Il picco dell'ora di punta della sera dalle ore 17:00 e le ore 18:00

Tale configurazione rispecchia un andamento tipico delle aree periurbane dovuto agli spostamenti casa-lavoro casa –scuola.

Determinazione dei flussi veicolari circolanti

Come già detto, al fine di integrare le suddette stime ottenute dai dati TomTom, sono state effettuate delle misurazioni in campo che hanno permesso di tarare il modello di traffico sulla rete analizzata.

Infatti il campione preliminare estratto è stato successivamente elaborato tramite un modello di calcolo previsionale empirico basato sul raffronto di più di 8000 confronti tra le stime ricavate dai dati Tom Tom e i dati effettivamente rilevati in sito.

I dati così ottenuti sono stati ottimizzati e corretti con opportuni coefficienti di sicurezza in modo tale da superare l'incertezza della fluttuazione dei volumi di traffico ottenuta dal modello di riferimento e la loro crescita nel tempo.

Nella seguente tabella i flussi veicolari in ingresso sulla rotatoria utilizzati per le verifiche prestazionali oggetto del presente studio.

INGRESSO	Flusso veicolare totale
	[veicoli/ora]
Ingresso OVEST (V Palombarese)	470
Ingresso SUD (v Tacito)	604
Ingresso EST (V Palombarese)	571

Per descrivere completamente una domanda di flusso di traffico non è sufficiente definire solo la sua variabilità nel tempo, ma è necessario descrivere anche la matrice della distribuzione delle svolte sull'area dell'incrocio. Nella presente verifica si è utilizzata 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)).

Di seguito lo schema adottato:

INGRESSO	A	B	C
A		65,00%	35,00%
B	50,00%		50,00%
C	65,00%	35,00%	

Anche questa matrice di origine e destinazione è stata ricavata in prima analisi dai dati FCD di Tom Tom.

La composizione del traffico: veicoli equivalenti

Per considerare la composizione del traffico in modo accurato, è importante tenere conto delle diverse tipologie di veicoli che possono essere presenti all'interno di una corrente di flusso veicolare su una data sezione stradale. Queste variano significativamente nelle loro dimensioni e prestazioni, ad esempio veicoli a due ruote, autocarri e veicoli ordinari, ognuno con comportamenti di guida distinti.

Affinché il modello del flusso di traffico sia significativo e rappresentativo, è stato necessario attribuire dei coefficienti di equivalenza per rapportare il volume complessivo di veicoli a una singola tipologia di veicolo definita come veicolo equivalente o modello.

A tale scopo, la composizione del traffico è stata definita valutando i seguenti rapporti di equivalenza per ciascuna tipologia di veicolo presente nella corrente di traffico, insieme alle relative percentuali di presenza.

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.]

	TIPO1	TIPO2	TIPO3	TIPO4	TIPO5	TIPO6	TIPO7
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Ingresso A	5,00	0,00	2,00	8,00	0,00	0,00	85,00
Ingresso B	0,00	0,00	0,00	10,00	0,00	0,00	90,00
Ingresso C	5,00	0,00	2,00	8,00	0,00	0,00	85,00

La composizione del traffico si assume costante durante tutta la simulazione della finestra temporale.

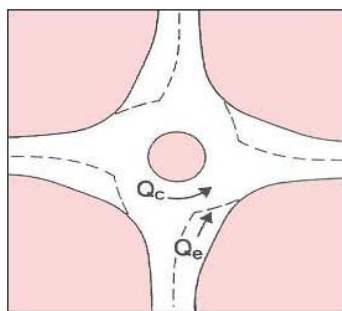
IL MODELLO ANALITICO

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 stato basato su un modello empirico lineare ottenuto tramite tecniche di regressione dei dati di traffico osservati sperimentalmente. Le formulazioni proposte da Kimber² 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.

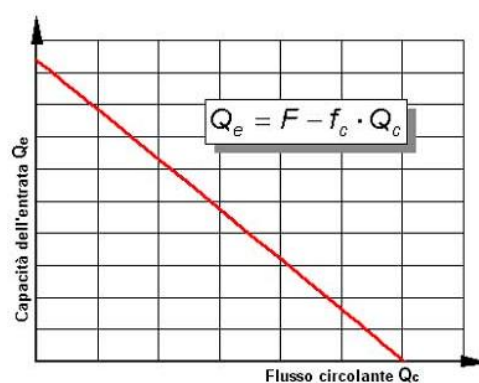
Infatti i due coefficienti F e f_c ³ sono strettamente legati a ben 6 parametri geometrici dell'ingresso ed in particolare:

- 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
- α_c - angolo di conflitto di immissione
- R_i - raggio di curvatura dell'entrata



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

$$Q_e = 0$$



con $f_c \cdot Q_c < F$

con $f_c \cdot Q_c > F$

² KIMBER, R.M. Ricercatore inglese (1980). *The Traffic Capacity of Roundabouts*. TRRL Laboratory Report 942. Transport and Road Research Laboratory

³ Bodrito O. - Rotatorie – Edizione Dario Flaccovio (2010).

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.
 - Stima del Livello di Servizio (L.O.S.)

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.

RISULTATI PRESTAZIONALI

L'applicazione di tale modello ho consentito di valutare ed analizzare le seguenti grandezze prestazionali:

- 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 valutate mediante le formulazioni di 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;
- il ritardo subito dalla corrente veicolare entrate sull'accesso e la relativa perdita di tempo all'intersezione subita dall'utente valutato mediante le formulazioni dell' Highway Capacity Manual – HCM 2000", Special Report n°209, T.B.R., Washington D.C., 2000;
- il Livello di Servizio (L.O.S.) dell'accesso in rotatoria secondo l'interpretazione dall'Highway Capacity Manual (HCM) così sintetizzati:
 - Livello A: Rappresenta le condizioni di flusso libero con totale assenza di condizionamento tra veicoli.
 - Livello B: Rappresenta le condizioni di deflusso con qualche limitazione alla libertà di manovra, ma ancora con elevate condizioni di comfort fisico psicologico. E' solitamente il livello di servizio di progetto.
 - Livello C: è una zona di flusso stabile dove, però sono significativamente ristrette le libertà di scelta di velocità, cambio corsia o sorpasso. La velocità operativa è compresa nell'intervallo compreso tra i $\frac{2}{3}$ e $\frac{3}{4}$ della massima velocità.
 - Livello D: è ancora zona di flusso stabile ma con alte densità di flusso. Possono essere mantenute velocità medie operative accettabili che possono, però, essere soggette a considerevoli ed improvvise variazioni; difatti, piccoli aumenti di traffico possono creare difficoltà di controllo. La libertà di manovra e il comfort sono bassi a causa delle forte densità (28-31 veicoli/km, in media un veicolo ogni 33 metri).
 - Livello E: rappresenta la capacità del sistema. Il flusso è instabile e non c'è quasi possibilità di scelta di velocità e di manovra. La velocità operativa è soggetta a rapide fluttuazioni. il

comfort è basso e il potenziale di incidentalità è alto. Piccoli aumenti di traffico possono causare la congestione. Le condizioni di deflusso sono al limite della instabilità.

- Livello F: è la zona di flusso forzato e di congestione. Si verifica quando il flusso di traffico in una sezione ne eccede la capacità, causando la formazione della coda: la densità, peraltro, aumenta fisso a raggiungere il massimo. Questo livello viene utilizzato per identificare le condizioni di coda o congestione (marcia a singhiozzo o “stop and go”).

Sebbene la descrizione dei livelli di servizio sia corredata anche da valori numerici che ne individuano gli intervalli di inerenza, va ricordato che, a causa del grande numero di variabili coinvolte, resta un discreto spazio per le interpretazioni soggettive.

Il livello di servizio di un ingresso in rotatoria si può ricavare confrontando i ritardi medi di fermata, calcolati come descritto nei paragrafi precedenti. Si può ritenere che il meccanismo di funzionamento della rotatoria, si possa assimilare a quello di un’intersezione regolata da segnale di Stop o di “dare precedenza”.

Pertanto, seguendo le indicazioni fornite dall’Highway Capacity Manual (HCM), è possibile calcolare il livello di servizio di un accesso in rotatoria seguendo i dati della seguente tabella.

Livello di Servizio LOS	Ritardo medio per veicolo [sec/veicolo]
A	≤ 10
B	$10 \div 15$
C	$15 \div 25$
D	$25 \div 35$
E	$35 \div 50$
F	> 50

Di seguito si riportano i principali risultati delle grandezze prestazionali analizzate secondo quanto richiesto dal D.M. 19.04.2006 .

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.

Si ricorda che 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.

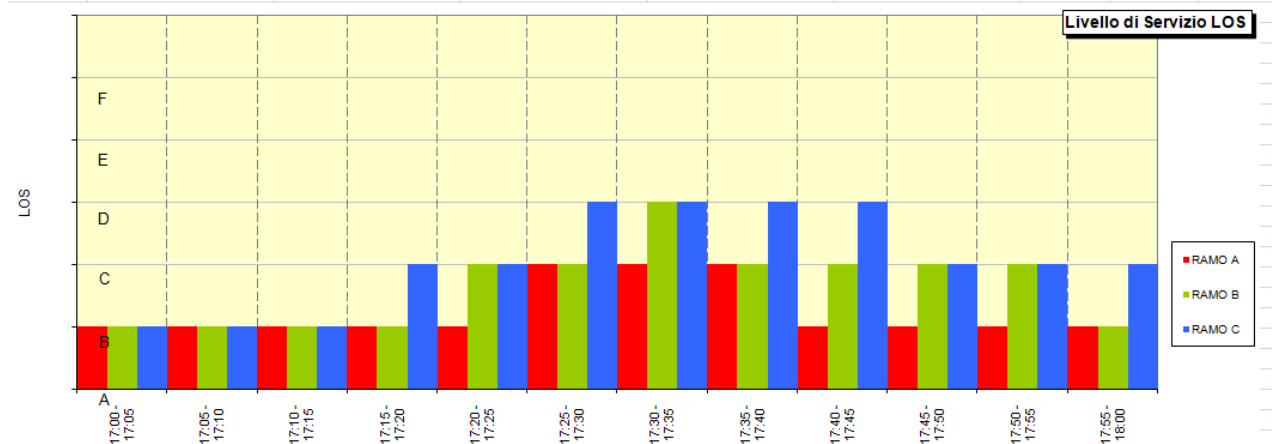
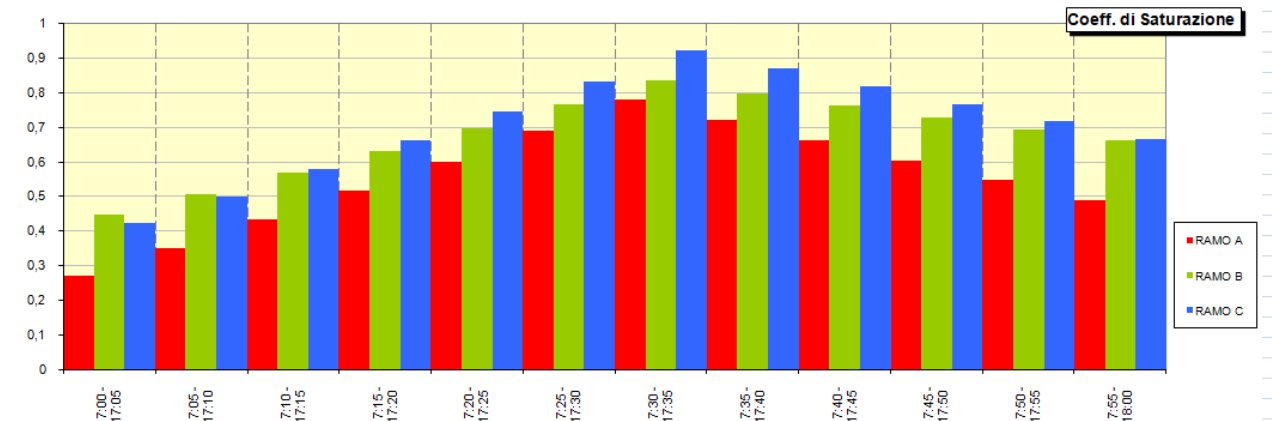
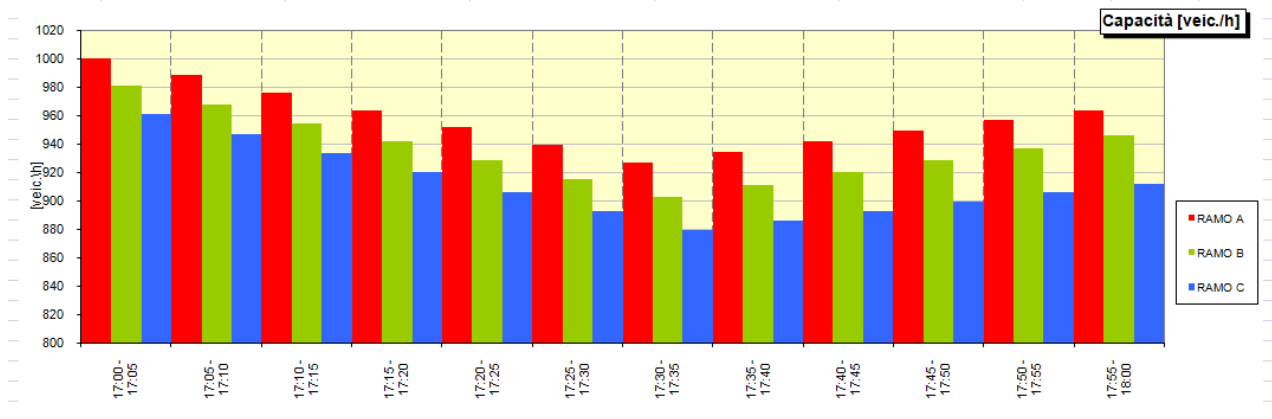
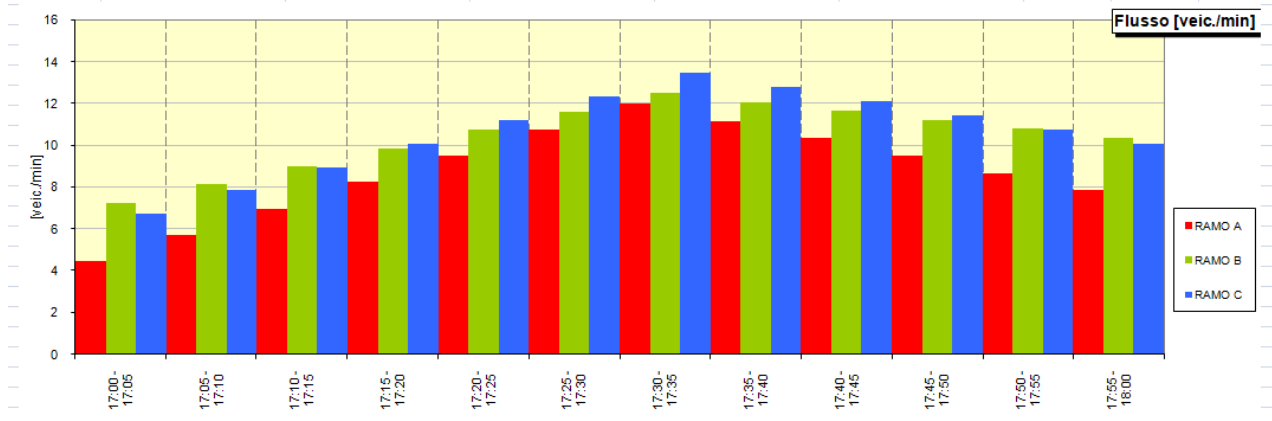
Il comportamento del singolo automobilista, le reciproche influenze dei veicoli all'interno delle correnti di traffico e i tempi di reazione sono sicuramente altre variabili importanti che andrebbero valutate in ogni progetto e che incidono direttamente sulla prestazione della rotatoria.

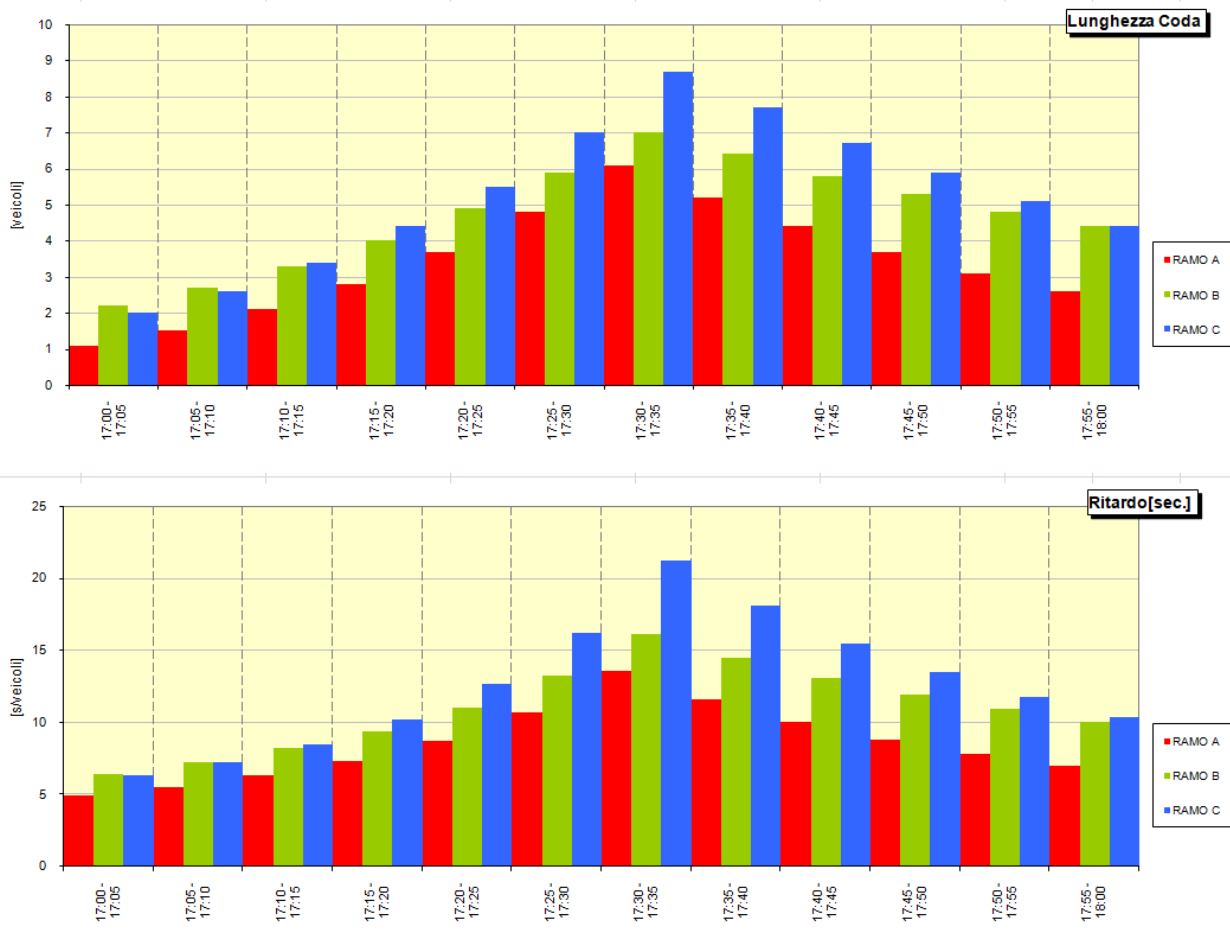
Da non trascurare poi la predisposizione e l'abitudine all'utilizzo di tali soluzioni progettuali.

	Località
Ingresso A	Via Palombarese (lato OVEST)
Ingresso B	Via Tacito (lato SUD)
Ingresso C	Via Palombarese (lato EST)

I valori dei parametri prestazionali calcolati per ogni ingresso nella finestra temporale della microsimulazione in funzione delle condizioni di carico del nodo sono di seguito riportati.

È importante notare che, sebbene il modello di calcolo utilizzato fornisca una stima precisa dei parametri prestazionali dell'intersezione in oggetto, occorre considerare che il funzionamento effettivo della rotatoria è influenzato da componenti esterne e aleatorie non trascurabili. Tra le principali fonti di imprecisione si annoverano la valutazione e la misurazione delle correnti veicolari, la composizione del traffico e la matrice delle svolte. Inoltre, il comportamento individuale degli automobilisti, le interazioni tra i veicoli all'interno delle correnti di traffico e i tempi di reazione costituiscono altre variabili cruciali che influiscono direttamente sulle prestazioni della rotatoria. Non va trascurata neppure la predisposizione e l'abitudine all'utilizzo di tali soluzioni progettuali.





VERIFICHE PRESTAZIONALI						
	Flusso	Capacità	Coeff. Saturazione	Coda	Ritardo	L.O.S.
	[veic/min]	[veic/h]		[veic]	[s/veic]	
17:00 - 17:05						
Via Palombarese (lato OVEST)	4,49	1000,29	0,269	1,1	4,9	A
Via Tacito (lato SUD)	7,28	980,69	0,445	2,2	6,4	A
Via Palombarese (lato EST)	6,74	960,49	0,421	2,0	6,3	A
17:05 - 17:10						
Via Palombarese (lato OVEST)	5,75	988,04	0,349	1,5	5,5	A
Via Tacito (lato SUD)	8,15	967,63	0,506	2,7	7,2	A
Via Palombarese (lato EST)	7,86	946,92	0,498	2,6	7,2	A
17:10 - 17:15						
Via Palombarese (lato OVEST)	7,00	975,79	0,431	2,1	6,3	A
Via Tacito (lato SUD)	9,03	954,56	0,567	3,3	8,2	A
Via Palombarese (lato EST)	8,99	933,36	0,578	3,4	8,5	A
17:15 - 17:20						
Via Palombarese (lato OVEST)	8,26	963,55	0,514	2,8	7,3	A

Via Tacito (lato SUD)	9,90	941,50	0,631	4,0	9,4	A
Via Palombarese (lato EST)	10,12	919,80	0,660	4,4	10,2	B
17:20 - 17:25						
Via Palombarese (lato OVEST)	9,52	951,30	0,600	3,7	8,7	A
Via Tacito (lato SUD)	10,77	928,44	0,696	4,9	11,0	B
Via Palombarese (lato EST)	11,24	906,23	0,745	5,5	12,7	B
17:25 - 17:30						
Via Palombarese (lato OVEST)	10,77	939,06	0,688	4,8	10,7	B
Via Tacito (lato SUD)	11,65	915,38	0,763	5,9	13,2	B
Via Palombarese (lato EST)	12,37	892,67	0,832	7,0	16,2	C
17:30 - 17:35						
Via Palombarese (lato OVEST)	12,03	926,81	0,779	6,1	13,6	B
Via Tacito (lato SUD)	12,52	902,31	0,833	7,0	16,1	C
Via Palombarese (lato EST)	13,50	879,11	0,921	8,7	21,2	C
17:35 - 17:40						
Via Palombarese (lato OVEST)	11,19	934,19	0,719	5,2	11,6	B
Via Tacito (lato SUD)	12,10	910,98	0,797	6,4	14,5	B
Via Palombarese (lato EST)	12,82	885,70	0,868	7,7	18,1	C
17:40 - 17:45						
Via Palombarese (lato OVEST)	10,36	941,56	0,660	4,4	10,0	A
Via Tacito (lato SUD)	11,67	919,65	0,762	5,8	13,1	B
Via Palombarese (lato EST)	12,14	892,28	0,816	6,7	15,5	C
17:45 - 17:50						
Via Palombarese (lato OVEST)	9,53	948,93	0,602	3,7	8,8	A
Via Tacito (lato SUD)	11,25	928,31	0,727	5,3	11,9	B
Via Palombarese (lato EST)	11,46	898,87	0,765	5,9	13,5	B
17:50 - 17:55						
Via Palombarese (lato OVEST)	8,69	956,30	0,545	3,1	7,8	A
Via Tacito (lato SUD)	10,82	936,98	0,693	4,8	10,9	B
Via Palombarese (lato EST)	10,79	905,46	0,715	5,1	11,8	B
17:55 - 18:00						
Via Palombarese (lato OVEST)	7,86	963,67	0,489	2,6	7,0	A
Via Tacito (lato SUD)	10,40	945,65	0,660	4,4	10,0	A
Via Palombarese (lato EST)	10,11	912,05	0,665	4,4	10,4	B

La capacità ultima

Come precedentemente descritto in dettaglio, la valutazione della capacità di ciascun ingresso è affrontata utilizzando la formula unificata di Kimber, che stabilisce una relazione lineare tra il flusso entrante (Q_e) e il flusso veicolare circolante (Q_c). Quando tutti gli ingressi sono saturi, le capacità di ingresso diventano completamente interdipendenti. Ciò significa che la portata di circolazione attraverso un dato ingresso dipende anche dall'afflusso veicolare degli altri accessi, ovvero dalla loro capacità di consentire l'ingresso all'anello rotatorio.

Di conseguenza, se ogni accesso della rotatoria è rappresentato da un modello lineare locale associato a un particolare layout geometrico, per ottenere una stima globale della capacità dell'intersezione è necessario valutare le relazioni e l'equilibrio tra ciascun accesso del nodo.

In condizioni di saturazione, dove la domanda di traffico supera la capacità, e assumendo le stesse condizioni ipotizzate e descritte nella presente relazione, sono state calcolate le capacità "bilanciate" dei singoli accessi

In condizioni di saturazione, dove la domanda di traffico supera la capacità, e assumendo le stesse condizioni ipotizzate e descritte nella presente relazione, sono state calcolate le capacità "bilanciate" dei singoli accessi. La somma di queste capacità bilanciate forniscono una buona stima della capacità di saturazione, o capacità ultima, dell'intersezione nel suo contesto applicativo.

INGRESSO	Capacità	Flusso
	[veic.eq/h]	[veic.eq/h]
A	921,43	469,53
B	903,83	603,60
C	839,64	570,55
	Capacità Ultima intersezione [veic.eq/h]	Flusso totale nodo [veic.eq/h]
	2664,90	1643,68
Indice di saturazione della rotatoria (I.S.R.)	61,68%	

L'Indice di Saturazione della Rotatoria (ISR) rappresenta un parametro sintetico che riassume il grado di funzionalità del nodo intersezione

Stima del flusso di saturazione

L'intersezione a rotatoria in progetto è stata verificata secondo una condizione di carico della rete così come stimata ed ipotizzata in premessa.

I flussi di traffico considerati sui vari rami rappresentano, secondo le stime effettuate, una condizione di carico del nodo che verosimilmente descrivono la condizione più gravosa dell'ora di punta da verificare.

Tuttavia, indipendentemente dalle suddette verifiche, è stato ritenuto opportuno analizzare il comportamento della rotatoria anche per condizioni di carico di traffico più elevate, al fine di valutare il livello prestazionale del nodo in prossimità della congestione. Pertanto, è stato ricercato il fattore di incremento X che, applicato ai valori dei flussi veicolari entranti iniziali e mantenendo le altre condizioni costanti, ha prodotto almeno una situazione di congestione su uno degli accessi veicolari (con un livello di servizio pari a F congestione).

L'analisi dell'evoluzione dei livelli di servizio in relazione all'aumento del fattore di incremento X ha permesso di formulare le seguenti considerazioni sulla rotatoria in progetto:

- per flussi 1,1 volte superiori la rotatoria conserva ancora dei discreti livelli di servizio su tutti i rami raggiungendo i valori di LOS pari a C per un ramo solo (accesso Via Tacito (lato SUD))
- per flussi 1,2 volte superiori la rotatoria conserva ancora dei discreti livelli di servizio su tutti i rami raggiungendo i valori di LOS pari a D per un ramo solo (accesso Via Palombarese (lato EST));
- per flussi 1,3 volte superiori la rotatoria conserva ancora dei discreti livelli di servizio su tutti i rami raggiungendo i valori di LOS pari a D per un ramo solo (accesso Via Palombarese (lato SUD) raggiungendo livelli di servizio F;

La prima fase della verifica ha valutato il livello prestazionale della rotatoria in base al carico effettivo stimato della rete, mentre la seconda fase è stata finalizzata a rafforzare e a confermare l'accuratezza delle approssimazioni e delle stime effettuate, dimostrando una discreta capacità residua del nodo.

Nella seconda fase, sono stati considerati flussi veicolari sugli accessi della rotatoria con valori amplificati rispetto allo scenario ipotizzato..

Queste variazioni includono non solo l'incertezza nelle stime dei flussi veicolari ipotizzati e le loro fluttuazioni nel tempo, ma anche la garanzia che l'intersezione non raggiungerà mai la saturazione o non avrà problemi di congestione fino a quando i valori del traffico non aumentano significativamente.

I suddetti valori risultano altamente improbabili sul contesto territoriale ed infrastrutturale analizzato.

Nella seguente tabella i valori prestazionali per ogni accesso I crescere del fattore X.

Iterazioni	Ramo A	Ramo B	Ramo C

LOS [sec./veic.]	B [14,0]	C [16,0]	C [21,0]
Flusso veic. [veic.eq/h]	470	604	571
LOS [sec./veic.]	C [17,2]	C [21,5]	D [30,3]
1,10 x Flusso veic.[veic.eq/h]	517,0	664,4	628,1
LOS [sec./veic.]	C [21,8]	D [29,3]	E [42,8]
1,20 x Flusso veic.[veic.eq/h]	564,0	724,8	685,2
LOS [sec./veic.]	D [27,7]	E [39,0]	F [54,2]
1,30 x Flusso veic.[veic.eq/h]	611,0	785,2	742,3

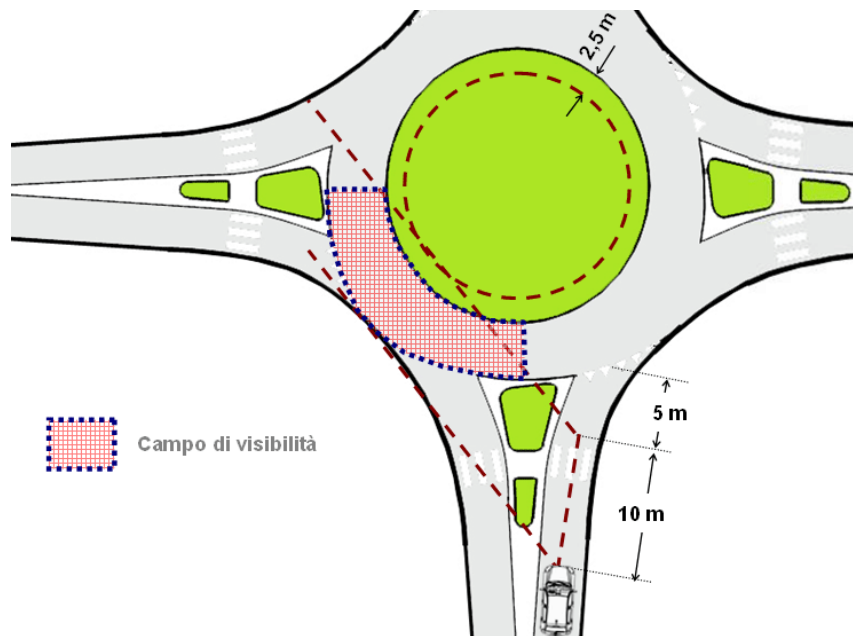
VERIFICHE GEOMETRICHE ROTATORIA - DM 19.04.2006

Di seguito le verifiche richieste dal DM 19.04.2006 per la rotatoria in progetto.

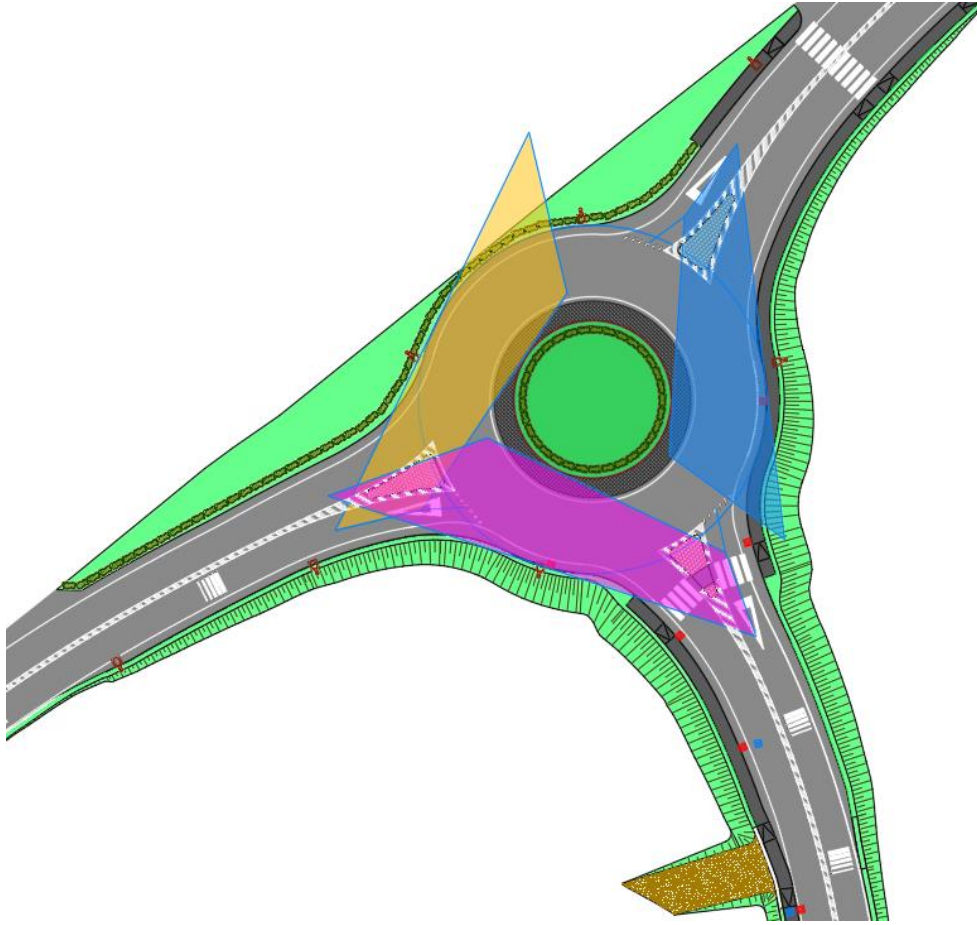
Verifica della visibilità

Il criterio di visibilità adottato dal D.M 19.04.2006 impone di verificare la visibilità da ogni ingresso secondo la costruzione riportata in figura.

E' necessario garantire una visione completamente libera sulla sinistra per un quarto dello sviluppo dell'intero anello, posizionando l'osservatore a 15 metri dalla linea che delimita il bordo esterno della circonferenza esterna.



Come evidenziato dalla seguente figura la verifica risulta soddisfatta per ogni accesso: ogni ingresso "vede" un quarto dell'anello libero da ogni ostacolo.

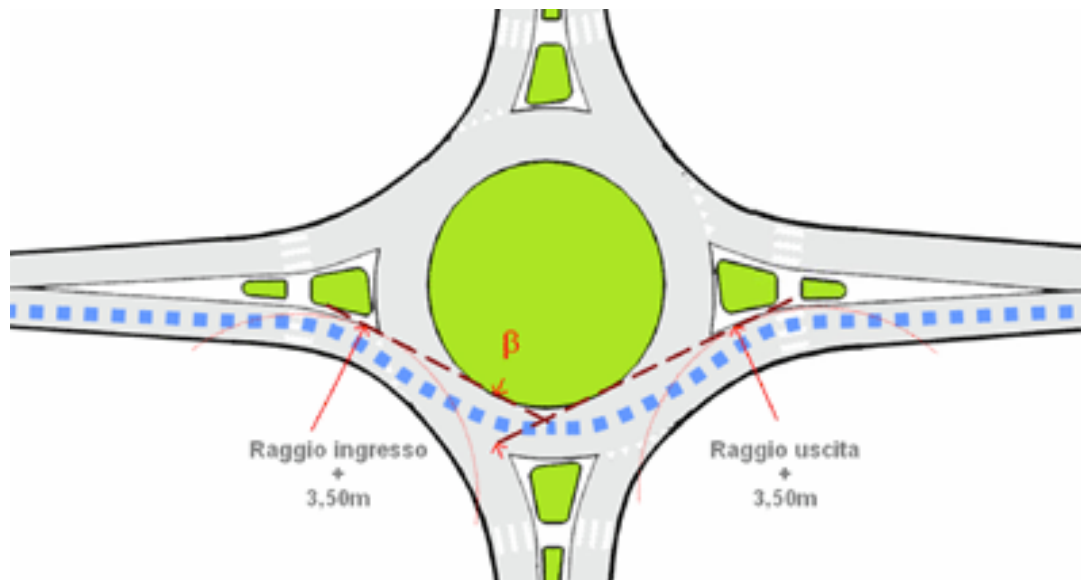


Verifica visibilità ai sensi del DM 19.04.2006

Verifica della deflessione o dell'angolo "beta"

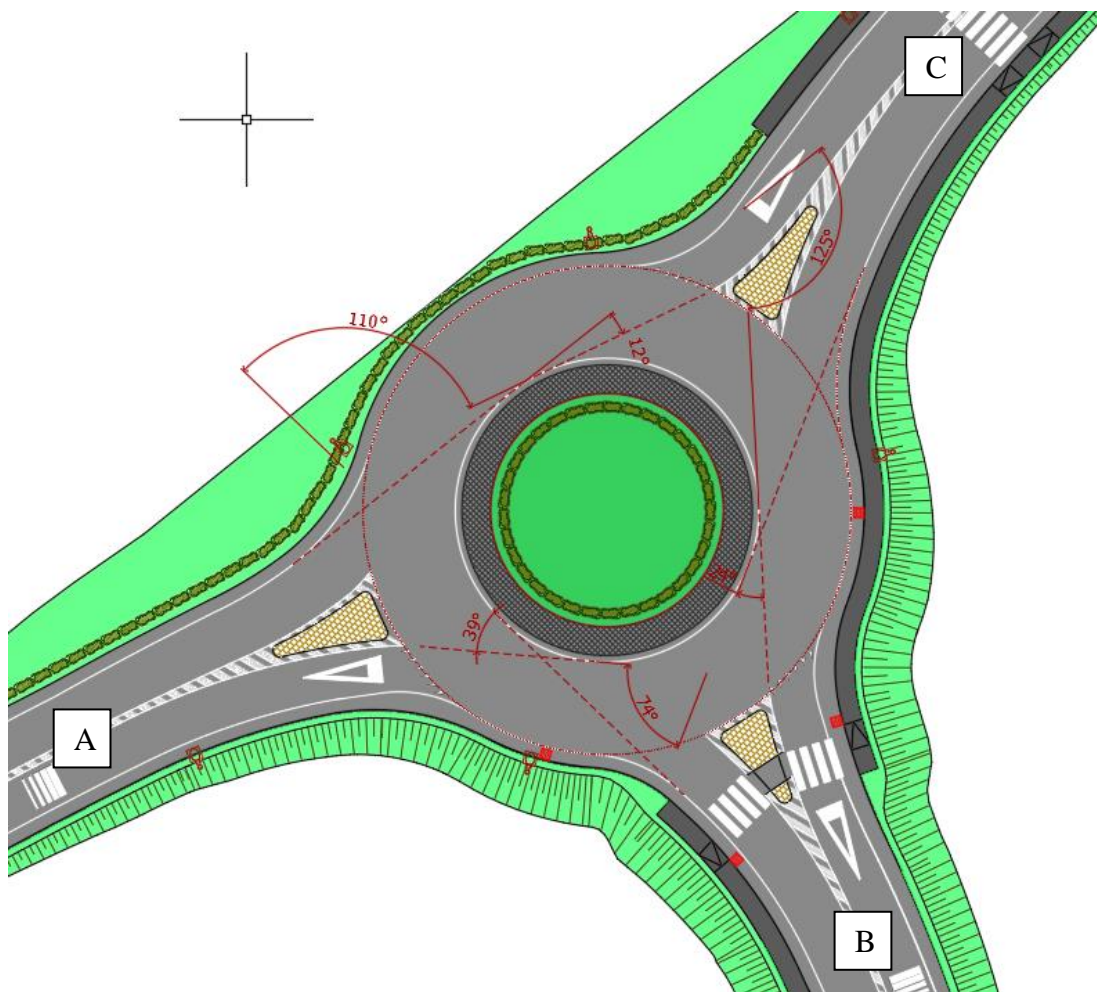
Il criterio della deflessione proposto dal D.M. 19 aprile 2006 "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali" permette di controllare la velocità d'attraversamento dei veicoli, obbligandoli a seguire una traiettoria curva appoggiata all'isola centrale.

Si riportano, di seguito, i valori degli angolo β calcolati secondo la costruzione grafica descritta in figura.



Legenda denominazione rami rotatoria.

	Località
Ingresso A	Via Palombarese (lato OVEST)
Ingresso B	Via Tacito (lato SUD)
Ingresso C	Via Palombarese (lato EST)



Verifica deflessione (angolo beta) ai sensi del DM 19.04.2006

Di seguito le manovre di attraversamento del nodo e le più significative

INIZIO MANOVRA	FINE MANOVRA	Angolo 'Beta'	NOTE
Ingresso A	Ingresso C	74°	$\geq 45^\circ$ ai sensi del DM 19.04.2006
Ingresso B	Ingresso A	125°	$\geq 45^\circ$ ai sensi del DM 19.04.2006
Ingresso C	Ingresso A	12°	$< 45^\circ$. Non rappresenterebbe una manovra di attraversamento, ma è ritenuta una manovra da analizzare. In ogni caso, come previsto dalla normativa, si procederà come indicato nella nota riportata in calce alla tabella.

NOTA applicativa DM 19/04/2006 – paragrafo 4.5.1 - Sistema integrato di moderazione del traffico

Con la verifica alla deflessione, identificata con il valore dell'angolo beta, il legislatore ha voluto prevedere il controllo della velocità di attraversamento della rotatoria e di approccio al dare precedenza per garantire un livello adeguato di sicurezza in prossimità dei punti di conflitto dell'intersezione.

In questo modo l'utente della strada che si appresta ad attraversare la rotatoria è portato a correggere la traiettoria del proprio veicolo effettuando una deflessione intorno all'isola centrale riducendo la velocità già in fase di avvicinamento alla linea del dare precedenza.

A completamento del controllo della manovra di attraversamento, come previsto dal DM 19/04/2006 – paragrafo 4.5.1., ***“un'intersezione stradale risolta a rotatoria va accompagnata lungo i rami di approccio da idonea segnaletica, se necessario anche integrativa rispetto a quella di preavviso, e da eventuali ulteriori strumenti di regolazione della velocità.”***

In questo modo è possibile aumentare il livello di sicurezza dell'intersezione anche nei casi in cui la verifica di deflessione non risulta pienamente soddisfatta e, utilizzando ed integrando tecniche di moderazione del traffico e accorgimenti progettuali alla soluzione a rotatoria, si riesce ad aumentare il livello di sicurezza del nodo stradale.

Nello specifico si è optato di utilizzare la seguente combinazione in sinergia con l'intersezione a rotatoria .

Nello specifico si è optato per la **manovra da ramo C a ramo A** (sebbene non di attraversamento ma ritenuta prioritaria per il flusso veicolare sulla via Palombarese:

- una conformazione geometrica dell'accesso e dell'uscita per il controllo della velocità di approccio al dare precedenza. L'inserimento di una curva e controcurva permette di controllare la velocità dei veicoli circolanti già a monte dell'intersezione;
- l'utilizzo di una tecnica di moderazione del traffico, (“restringimento ottico” della prospettiva di marcia lungo gli accessi alla rotatoria e nell'anello) attuata mediante l'inserimento di una pavimentazione di colore e rugosità differente dalla corsia veicolare (asfalto stampato);
- conformazione dell'isola centrale, dotata di fascia parzialmente valicabile anch'essa in asfalto stampato;
- segnaletica stradale integrativa quali dissuasori ottici e triangolo elongato dare precedenza;

In questo modo la sovrapposizione degli effetti dei due sistemi di moderazione del traffico garantisce una velocità ridotta in prossimità del dare precedenza idonea ad una corretta negoziazione della precedenza all'anello.

CONCLUSIONI

In generale si può affermare che la nuova rotatoria risponde molto bene garantendo una discreta fluidificazione del traffico senza provocare la formazione di eccessive code sui rami di accesso. Durante l'ora di punta analizzata, non si rilevano sovraccarichi negli accessi, ma si osservano ottimi livelli di servizio.

L'inserimento della rotatoria nel contesto analizzato produce altresì un ottimo effetto di moderazione della velocità del flusso circolante sull'asse principale.

Inoltre, tale soluzione, semplifica e riduce i punti di conflitto rispetto ad una qualsiasi altra sistemazione a raso garantendo così la migliore ottimizzazione del livello di sicurezza e razionalizzazione dell'incrocio.

La soluzione a rotatoria adottata permette di usufruire dei seguenti vantaggi:

- Aumento della capacità veicolare del nodo. In generale, un incrocio a rotatoria con precedenza all'anello, offre una maggiore capacità rispetto allo stesso incrocio con regolazione semaforica o a precedenza grazie ad una riduzione dei punti di conflitto e ad una velocità ridotta;
- Riduzione dei tempi di attesa. Rispetto ad un incrocio regolamentato con impianto semaforico, la rotatoria viene utilizzata in modo continuo, senza interruzioni del flusso di traffico;
- Permette di raccordare assi stradali come quelli in oggetto garantendo una visibilità e una percezione ottimale dell'incrocio;
- Riduzione delle emissioni sonore. Grazie alla continuità delle manovre di scambio tra anello e l'accesso, il passaggio sull'incrocio è caratterizzato da velocità inferiori con limitate ed occasionali frenate brusche e accelerazioni tempestive;
- Riduzione delle emissioni inquinanti. Si riducono dal 10 al 50 per cento tutti i gas di scarico, quindi anche il consumo di benzina. Infatti, sono proprio le accelerazioni la fonte maggiore d'inquinamento: tra velocità costante e velocità accelerata l'emissione di gas nocivi aumenta enormemente;
- Flessibilità degli itinerari dovuta al polo di rotazione attorno all'isola centrale. Le rotatorie offrono la possibilità di effettuare una manovra per lo più proibita negli incroci tradizionali: l'inversione di marcia. In questo modo, da un lato si facilita, il movimento dei veicoli di servizio (mezzi di

trasporto pubblico, taxi, mezzi trasporto merci) e dall'altro si consente il "diritto d'errore" per l'automobilista distratto garantendo un elevato grado di sicurezza;

- Semplificazione della segnaletica stradale. La rotonda consente l'installazione di una segnaletica più sobria e in generale più comprensibile dall'utente della strada;
- Facilità di sorveglianza e manutenzione.

La soluzione progettata garantisce inoltre:

- Maggiore sicurezza ai fruitori delle fermate del TPL garantendo maggiore visibilità e un banchina di sosta rialzata rispetto al piano strada.
- Riqualificazione e ammodernamento dell'area dell'intersezione
- Messa in sicurezza dell'intersezione con l'estensione e il potenziamento dell'impianto di pubblica illuminazione

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. Alphand E., Noelle U., Guichet B.: *Evolution of designe rules for urban roundabouts in France*. In Brilon (Ed.): *Intersection Without Trafale Signals II*. Springer-Verlag, Berlin (1991);
3. "Application Guide" AG31 – maggio 98 – pubblicazione A (Versione per guida con circolazione a destra);
4. Bodrito Omar.: *Rotatorie. – febbraio 2010 – Dario Flaccovio Editore*;
5. Bovy Ph. H.: *Les giratoires:développements en Suisse romande et élaboration d'un guide Suisse. Route et Traffic n° 9/9/1990*;
6. Burrow I.J., R.M. Kimber, N. Hoffmann and D. Wills: *The prediction of traffic Peak Shapes from Hourly flow counts*. Department of The Enviroment Department of Transport, TRRL Report SR 765. Crowthorne: Trasport and Road Research Laboratory 1983;
7. Brilon, N.Wu, L.Bondzio, "Unsignalized intersections in Germany – Astate 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 Reportn°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. Bodrito –*Rotatorie Analisi E Progettazione delle Intersezioni a Rotatoria* - Gennaio 2008 Edizione LTP Torino.
15. D.M. 19.04.2006 "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali"
16. D.M. 5.11.2001 "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade"