

I

CONSIGLIO NAZIONALE
DEGLI INGEGNERI



Con il contributo incondizionato di:



La progettazione di opere di adeguamento di infrastrutture stradali esistenti

Quadro normativo e scelte tecniche
Parte 1: Ambito Extraurbano

Riqualficazione geometrico-funzionale di uno svincolo a rotatoria di tipo complesso con ampio diametro ed analisi della qualità della circolazione con modelli microscopici del traffico

Marco Guerrieri
Università di Trento

Contenuti

- Considerazioni generali sulle rotatoria
- Ambiti di applicazione del DM 19/4/2006
- Schemi innovativi non previsti dal DM 19/4/2006
- I modelli di simulazione del traffico stradale
- Gli svincoli a rotatoria
- Analisi di un caso studio



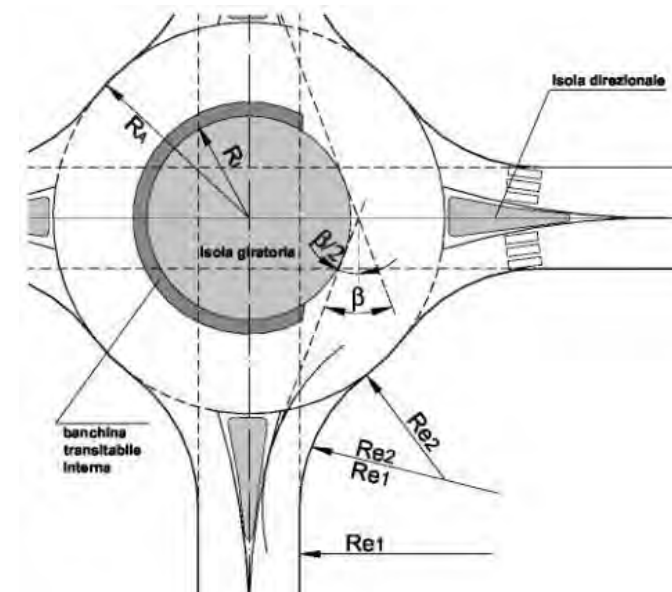
INTERSEZIONI A ROTATORIA

La rotatoria «moderna» è un incrocio costituito da un'area centrale parzialmente o totalmente inaccessibile, circondata da una carreggiata anulare percorribile a senso unico antiorario dai veicoli provenienti dai rami afferenti al nodo.

D.M. 19 aprile 2006, “Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali” (G.U. n. 170 del 24/07/2006)

Si considerano tre tipologie fondamentali di rotatorie in base al diametro della circonferenza:

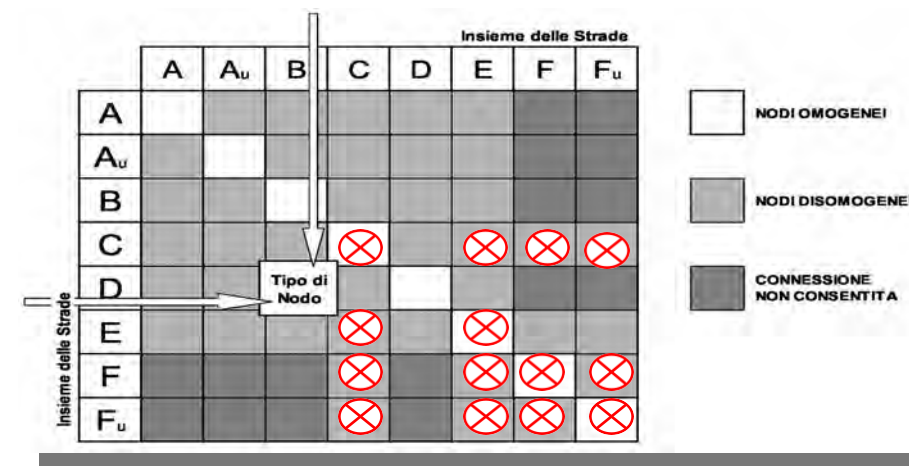
- rotatorie convenzionali: diametro esterno 40 - 50 m;
- rotatorie compatte: diametro esterno 25 - 40 m;
- mini rotatorie: diametro esterno 14 - 25 m.



Elemento modulare	Diametro esterno della rotatoria (m)	Larghezza corsie (m)
Corsie nella corona rotatoria (*), per ingressi ad una corsia	≥ 40	6,00
	Compreso tra 25 e 40	7,00
	Compreso tra 14 e 25	7,00 - 8,00
Corsie nella corona rotatoria (*), per ingressi a più corsie	≥ 40	9,00
	< 40	8,50 - 9,00
Bracci di ingresso (**)		3,50 per una corsia 6,00 per due corsie
Bracci di uscita (*)	< 25	4,00
	≥ 25	4,50

(*) deve essere organizzata sempre su una sola corsia.

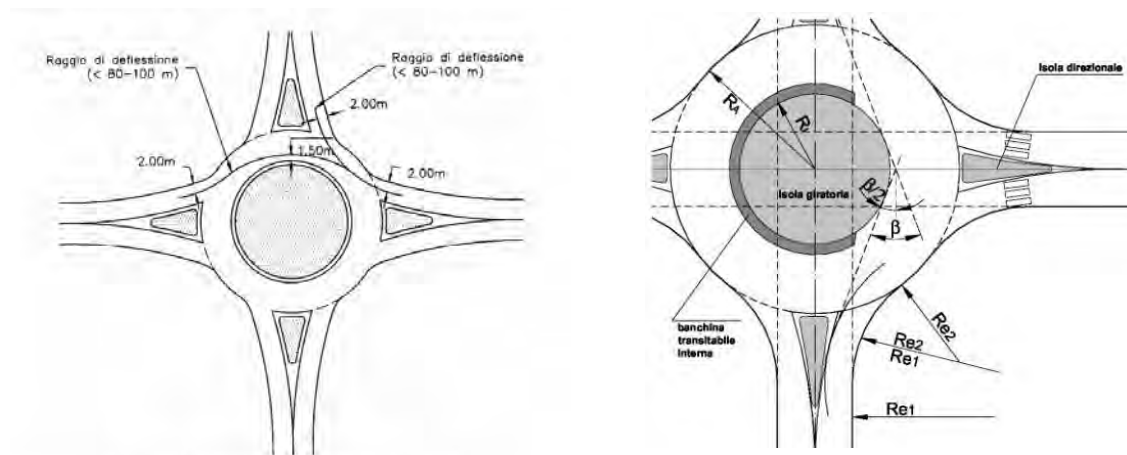
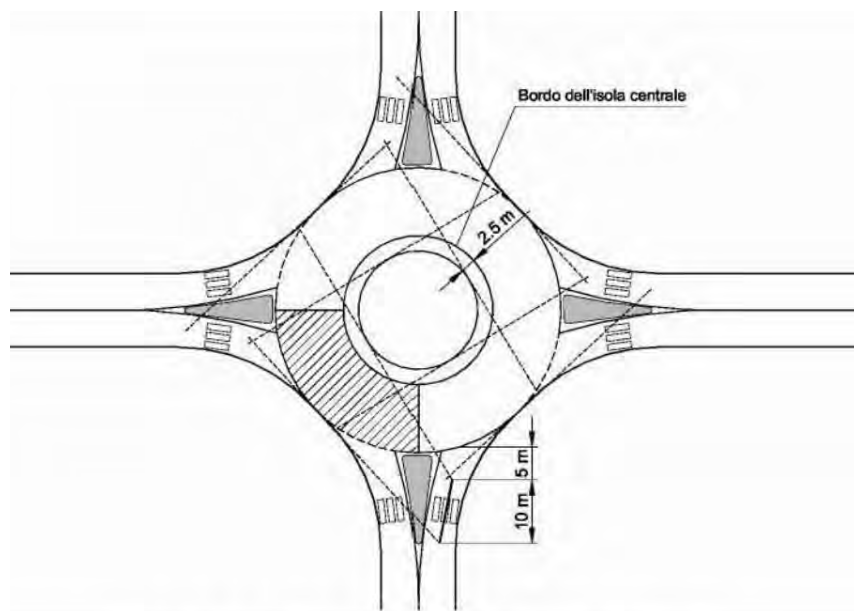
(**) organizzati al massimo con due corsie.



INTERSEZIONI A ROTATORIA

L'isola circolare centrale può essere:

- **transitabile** nel caso di mini-rotatorie con diametro esterno compreso fra 25 e 18 m
- **completamente transitabile** nelle rotatorie con diametro compreso fra 18 e 14 m;
- **non transitabile** (bordure non sormontabili) nelle rotatorie compatte.



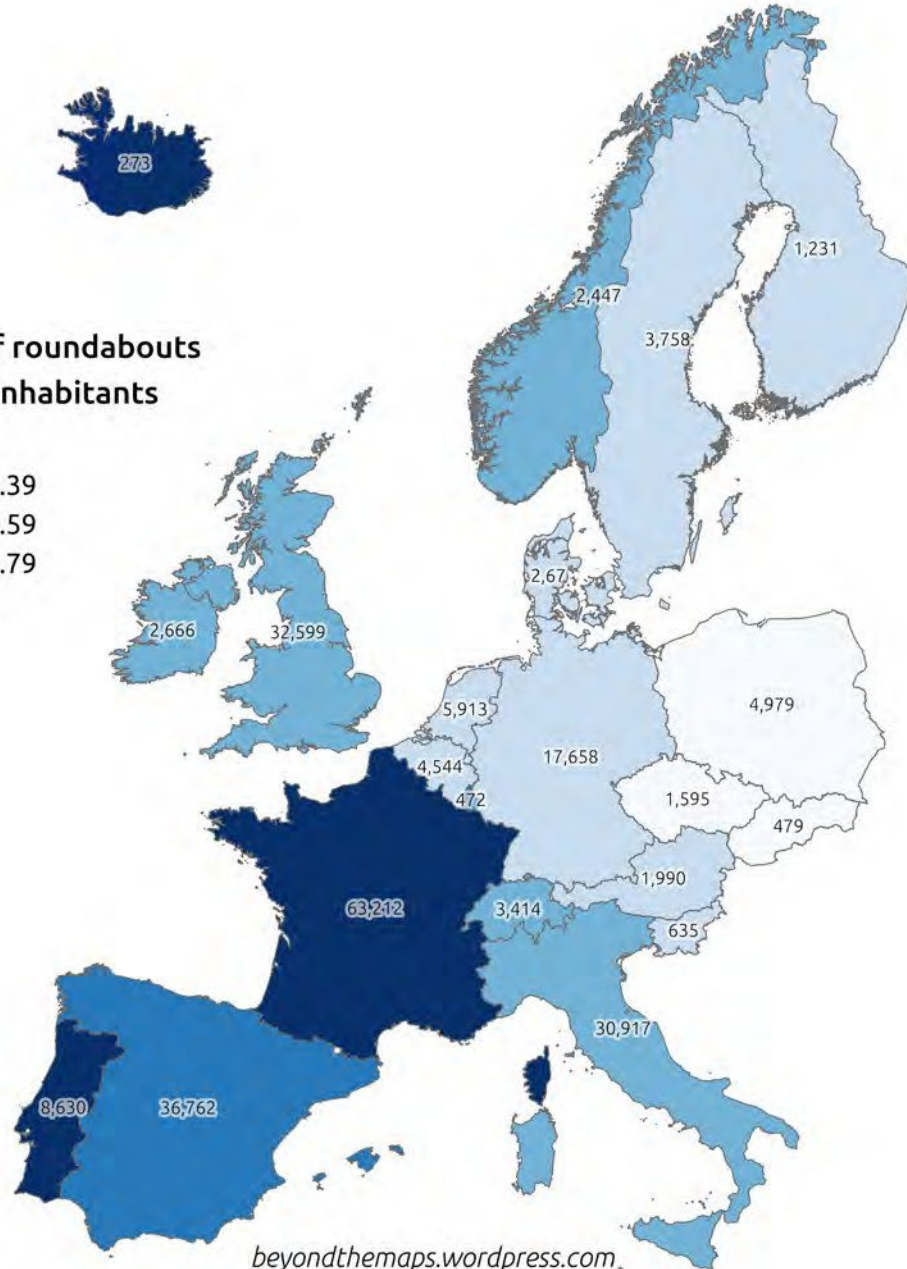
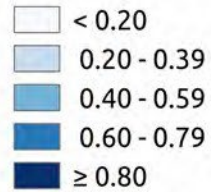
Per ogni immissione **si raccomanda** un valore dell'angolo di deviazione di almeno 45°



Visibilità: «sarà sufficiente 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 dell'anello.»

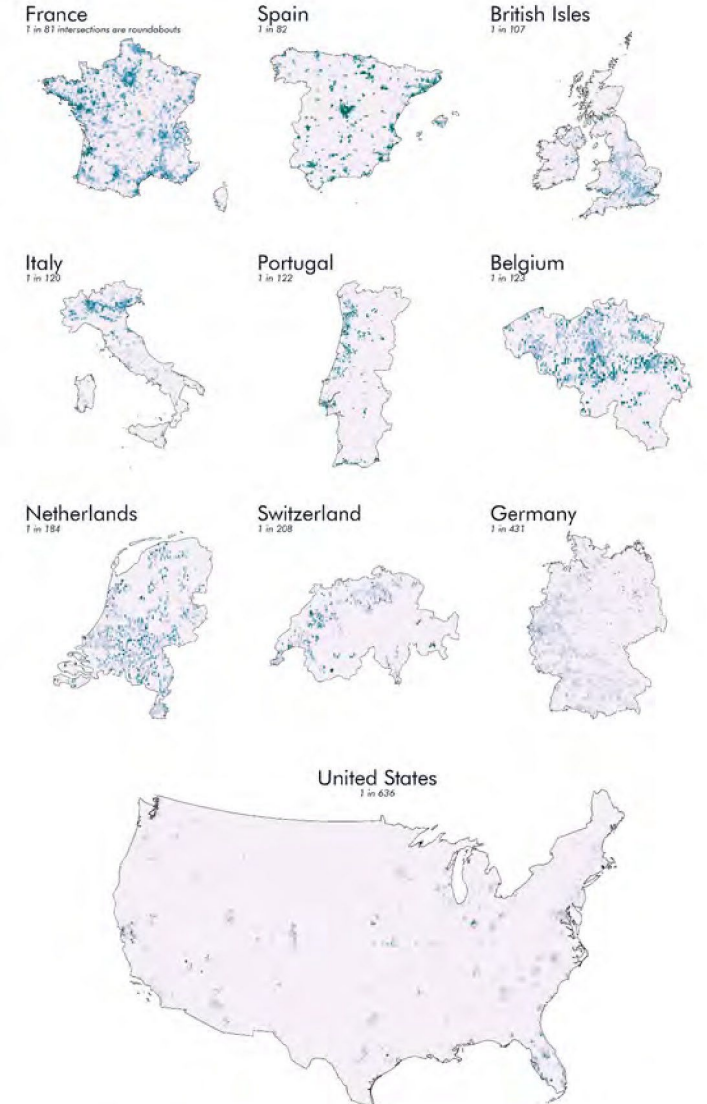
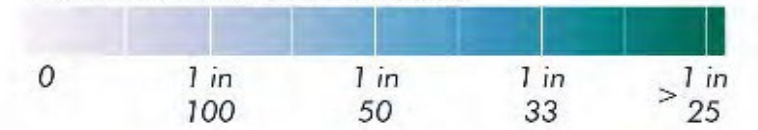
DIFFUSIONE DELLE ROTATORIE

Number of roundabouts per 1,000 inhabitants



beyondthemap.wordpress.com

intersections that are roundabouts



Casi di deroga

Le norme del D.M. 19/4/2006 si applicano alla costruzione di nuove intersezioni sulle strade ad uso pubblico, fatta salva la deroga di cui all'art. 13, comma 2 del decreto legislativo n. 285/1992

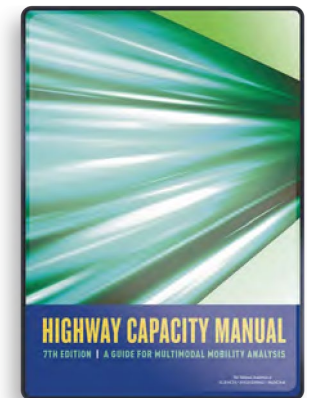
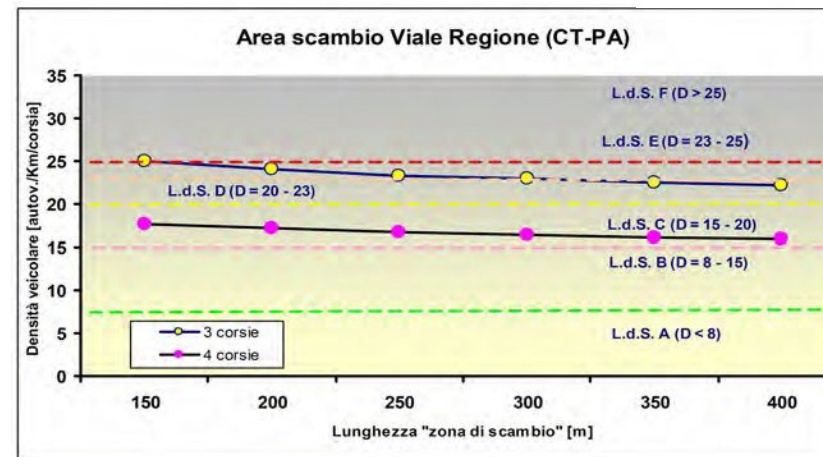
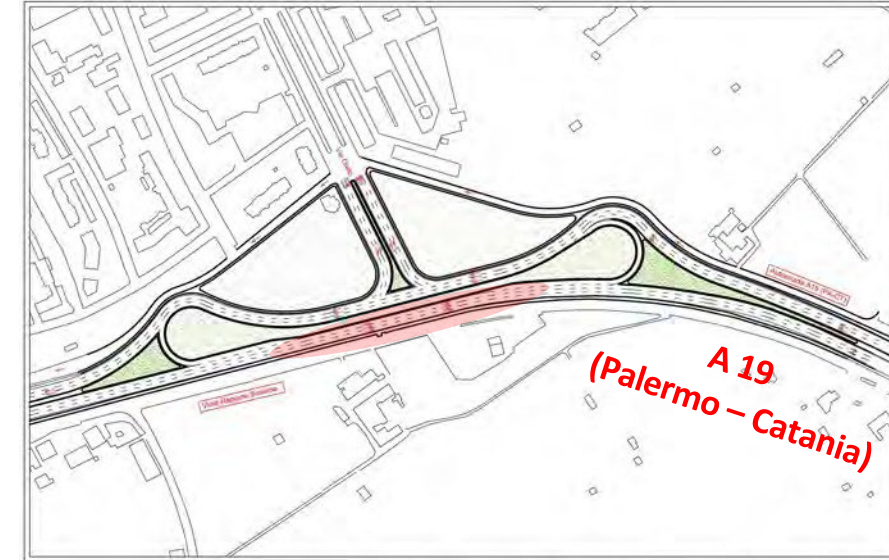
«**la deroga è consentita solo per specifiche situazioni** allorquando particolari condizioni locali, ambientali, paesaggistiche, archeologiche ed economiche non ne consentono il rispetto, **sempre che sia assicurata la sicurezza stradale** e siano comunque evitati inquinamenti.»

La deroga, **supportata da specifiche analisi di sicurezza**, è ammessa previo parere del Consiglio superiore dei lavori pubblici, per le intersezioni che interessano le autostrade, le strade extraurbane principali e le strade urbane di scorrimento, e del S.I.I.T Settore infrastrutture territorialmente competente per le altre strade.

Nel caso di **interventi di adeguamento di intersezioni esistenti le norme costituiscono il riferimento cui la progettazione deve tendere.**

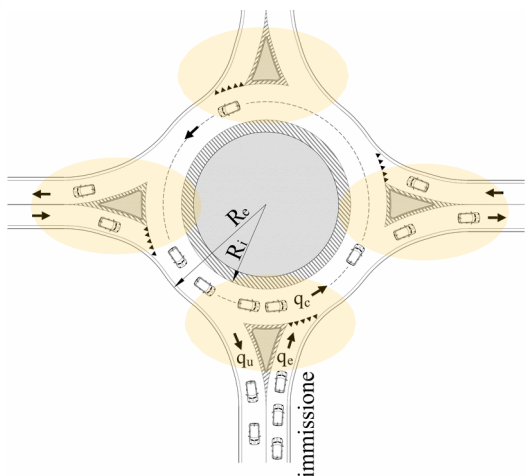
Sistemazioni con "circolazione rotatoria"

«Per sistemazioni con "circolazione rotatoria", che non rientrano nelle tipologie su esposte, il dimensionamento e la composizione geometrica debbono essere definiti con il principio dei tronchi di scambio tra due bracci contigui»

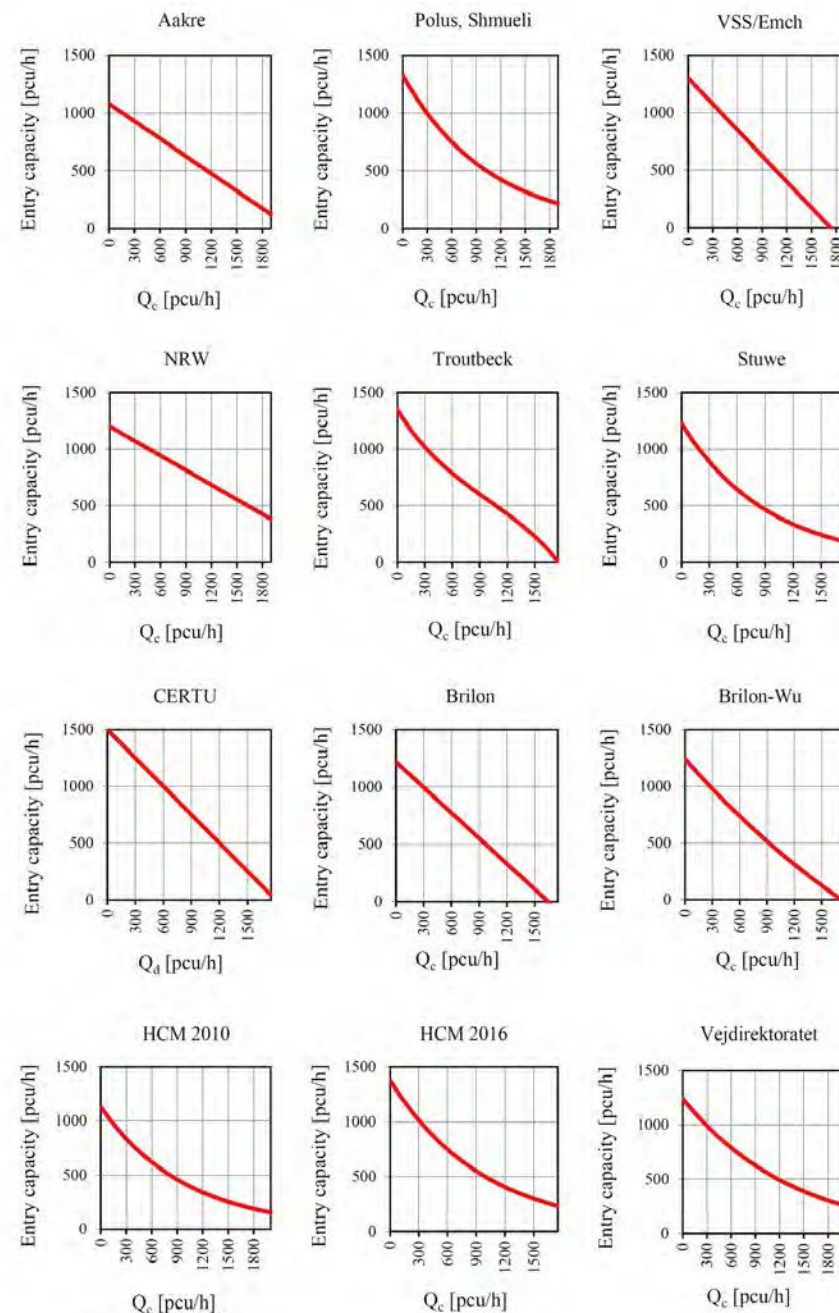


Fonte: Barresi, G.; Giuffrè, O.; Bruno, L.; Grana, A.; Guerrieri, M.; Parla, G.; Madonia, G.; Rizzo, A., "CIRCONVALLAZIONE DI PALERMO ED ASSE F. CRISPI-FORO UMBERTO I. Redazione di un piano integrato di interventi di riqualificazione urbana", Palermo: Dipartimento di Ingegneria delle Infrastrutture Viarie, Università degli Studi di Palermo, 2007, 74 p

FORMULAZIONI DI CAPACITA' DEGLI INGRESSI



Model	Entry Capacity
Kimber (1980)	$C = k(F - f_c \cdot Q_c); f = 303 \cdot x; f_c = 0.210 \cdot t^* (1 + 0.2 \cdot x);$ $k = 1 - 0.00347 \cdot (\phi - 30) - 0.978 \cdot \left(\frac{1}{r} - 0.05\right)$ $t^* = 1 + \frac{0.5}{1 + e^{\left(\frac{D-60}{10}\right)}}; x = c + \frac{e-c}{1+2S}; S = 1.6 \cdot \frac{e-c}{L}$
SETRA (1987)	$C = (1330 - 0.7 \cdot Q_d) \cdot [1 + 0.1 \cdot (ENT - 3.5)]$ $Q_d = (Q_c + \frac{2}{3} \cdot Q_u) \cdot [1 - 0.085 \cdot (ANN - 8)]$ $Q_u = Q_u \cdot \left(1 - \frac{SEP}{15}\right); Q_u = 0 \text{ if } SEP \geq 15m$
CERTU (1988)	$C = \left(1500 - \frac{5}{6} \cdot Q_d\right)$ $\alpha = 0.2 \text{ (typical value); } 0.7 \leq \beta \leq 1 \text{ (function of D and ANN)}$ $Q_d = \beta \cdot Q_c + \alpha \cdot Q_u$
VSS/Emch (1989)	$C = 1300 - 0.75 \cdot Q_c \text{ if } e \leq 1.5 \cdot c;$ $C = 1450 - 0.85 \cdot Q_c \text{ if } e > 1.5 \cdot c$
Troutbeck (1989)	$C = 3600 \cdot \frac{\alpha \cdot Q_c \cdot e^{-\lambda(t_c - \Delta)}}{1 - e^{-\lambda \cdot t_f}}; \lambda = \frac{\alpha \cdot Q_c}{1 - \Delta \cdot Q_c}; \alpha = 0.8 - 0.0005 \cdot Q_c$ $t_c = t_f \cdot (3.6135 - 0.0003137 \cdot Q_c - 0.339 \cdot e - 0.2775)$ $t_f = 3.37 - 0.000394 \cdot Q_c - 0.0208 \cdot D + 0.0000889 \cdot D^2 - 0.395 + 0.388$
Stuwe (1991)	$C = 1089 \cdot \exp(-7.42 / 10000 \cdot Q_c)$
Explorer (1992)	$C = 3600 \cdot (1 - Q_d \cdot t_{min}) \cdot \frac{Q_d \cdot e^{-Q_d(t_c - t_{min})}}{1 - e^{-Q_d \cdot t_f}}; Q_d = \frac{Q_c + 0.5 \cdot Q_u}{3600}$
Polus, Shmueli (1997)	$C = 394 \cdot D^{0.31} \cdot e^{-0.00095 \cdot Q_c}$
Brilon (1997)	$C = 1218 - 0.74 \cdot Q_c$
Aakre (1998)	$C = 275 \cdot x - 0.282 \cdot Q_c \cdot (1 + 0.2 \cdot x); x = c + \frac{e-c}{1+2S}; S = 1.6 \cdot \frac{e-c}{L}$
NRW (1999)	$C = 1200 - (1.27 - 0.021 \cdot D) \cdot Q_c \text{ with } 13 \text{ m} \leq D \leq 26 \text{ m}$
Brilon-Wu (2001)	$C = 3600 \cdot (1 - t_{min} \cdot Q_c / 3600) \cdot \frac{1}{t_f} \cdot \exp\left[-\frac{Q_c}{3600} \cdot \left(t_c - \frac{t_f}{2} - t_{min}\right)\right]$
Vejdirektoratet (1999)	$C = \frac{Q_c \cdot e^{-\frac{Q_c \cdot t_c}{3600}}}{1 - e^{-\frac{Q_c \cdot t_f}{3600}}}$
HCM 2010	$C = 1130 \cdot e^{-0.001 \cdot Q_c}$
HCM 2016	$C = 1380 \cdot e^{-0.00102 \cdot Q_c}$



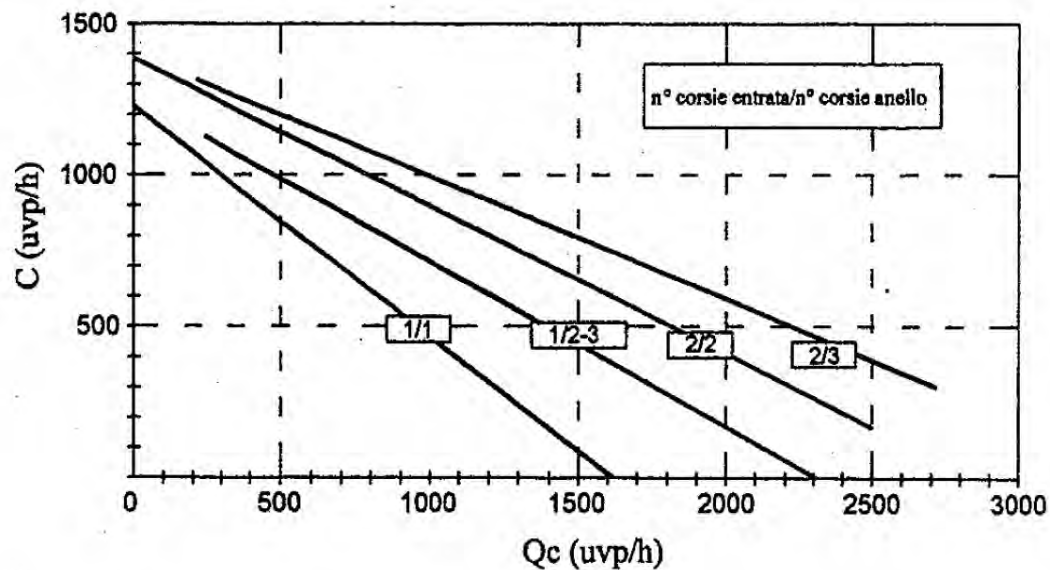
FORMULAZIONI DI CAPACITA

**INDIVIDUAZIONE
TRAMITE
TRATTAMENTO
DI DATI
EMPIRICI
(EQUAZIONI DI
REGRESSIONE)**

**TARATURA DI
FORMULAZIONI
CHIUSE
(TEORIA
DELL'INTERVALLO
CRITICO)**

- formulazioni che considerano solo il numero di corsie all'anello ed ai bracci
- formulazioni che considerano anche la geometria dello schema
- formulazioni che considerano anche il comportamento dell'utente

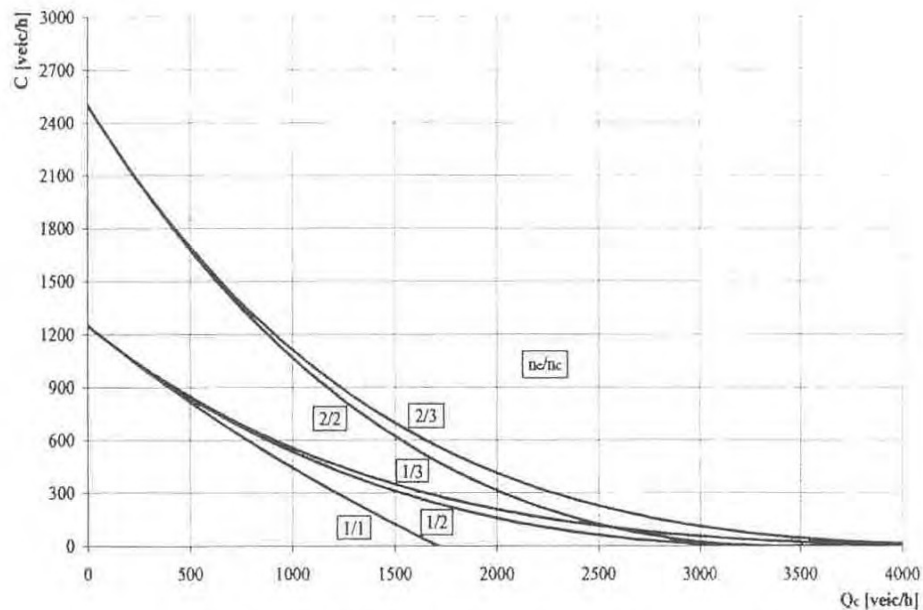
FORMULAZIONI DI CAPACITA' DEGLI INGRESSI



$$C_i = A - B \cdot Q_{ci}$$

Numero di corsie		A	B
all'anello	in entrata		
3	2	1.409	0,49
2	2	1.380	0,50
2 o 3	1	1.250	0,53
1	1	1.218	0,74

I parametri A e B sono forniti in tabella in funzione della sola configurazione geometrica.



T_g = critical gap [s] - (es. $T_g = 4.1$ s);

T_f = follow – up time [s] (es. $T_f = 2.9$ s);

T_{min} = the least headway between vehicles moving along the ring lanes [s] ($T_{min} = 2,1$ s).

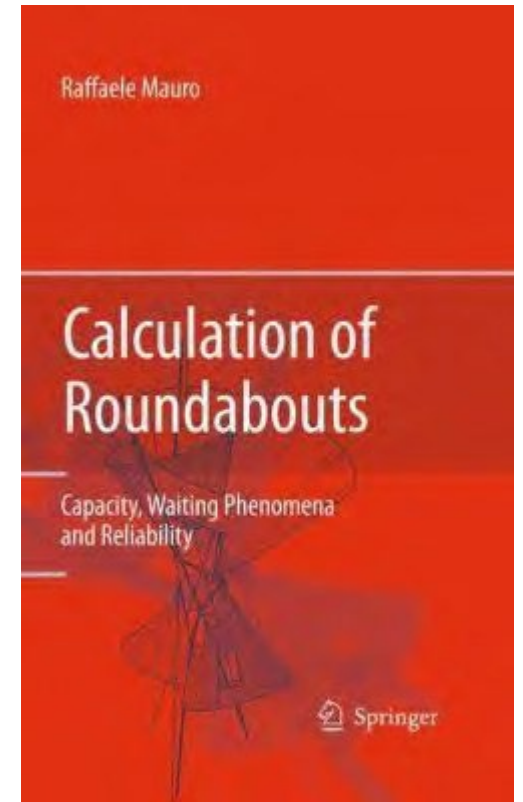
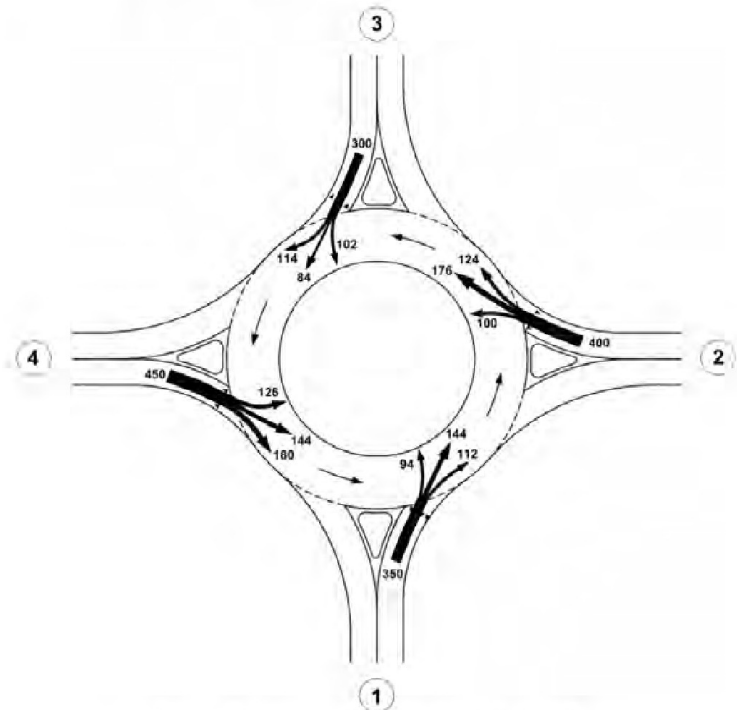
CAPACITA' SEMPLICE E CAPACITA' TOTALE

CAPACITA' SEMPLICE

E' il massimo valore del flusso in ingresso da ciascun braccio della rotatoria quando, per un aumento uniforme dei flussi, il primo braccio va in saturazione

CAPACITA' TOTALE

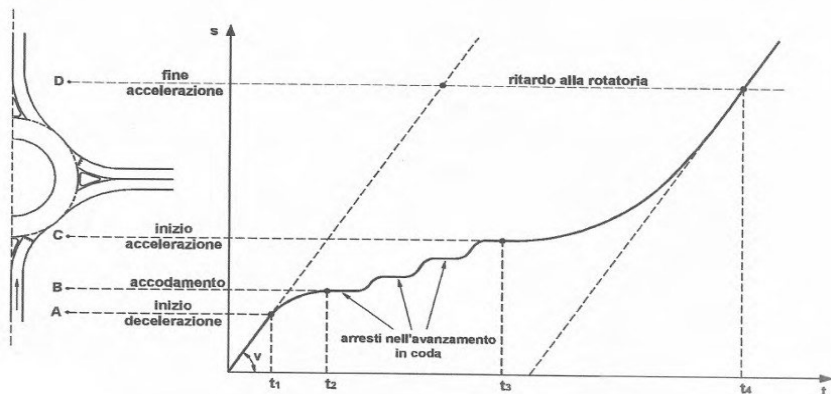
E' la somma dei flussi entranti quando tutti gli ingressi della rotatoria raggiungono contemporaneamente la saturazione



Capacità semplice e capacità totale si determinano usando una qualsivoglia formulazione di capacità, a partire dalla matrice O/D

CALCOLO DEI LIVELLI SI SERVIZIO

L.O.S.	RITARDO MEDIO
A	0 ÷ 10 (sec/veic)
B	10 ÷ 15 (sec/veic)
C	15 ÷ 25 (sec/veic)
D	25 ÷ 35 (sec/veic)
E	35 ÷ 50 (sec/veic)
F	> 50 (sec/veic)



Soluzioni in stato stazionario

$$(\rho = q_e/c < 1)$$

Soluzioni deterministiche in condizioni di congestione cioè di sovraturazione

$$(\rho = q_e/c \gg 1)$$

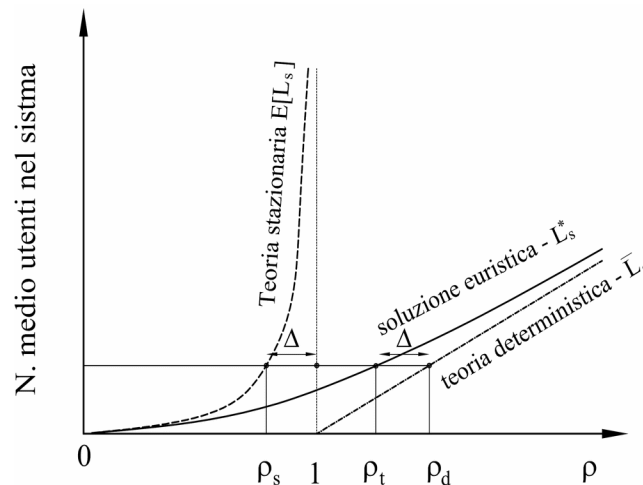
Soluzioni euristiche per lo stato stazionario ($\rho < 1$) e non stazionario ($\rho \geq 1$)

(trasformazione delle coordinate)

- Modelli probabilistici in stato stazionario, nei quali portata $q(t)$ e capacità $c(t)$ variano casualmente nel tempo ma i rispettivi valori medi si mantengono costanti.
- Applicabili dopo un tempo sufficientemente lungo dall'inizio del fenomeno (tempo di rilassamento della coda stazionaria).

gli arrivi avvengono in modo sempre meno casuale. Il sistema tende a comportarsi in maniera **deterministica**.

Coda e ritardi aumentano linearmente con il progredire del tempo.



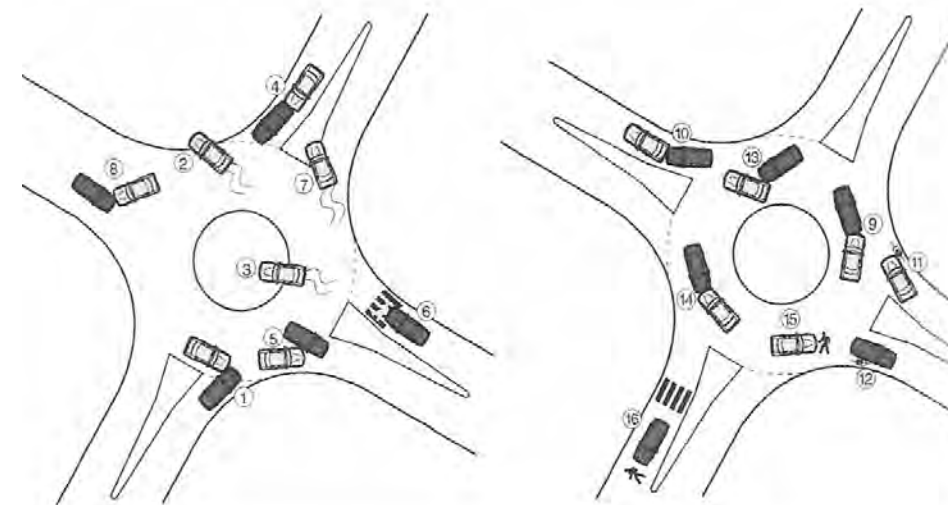
..Arrivi casuali (Poissoniani) e tempi di servizio esponenziali

Modello HCM

MODELLI PREVISIONALI DELL'INCIDENTALITA'

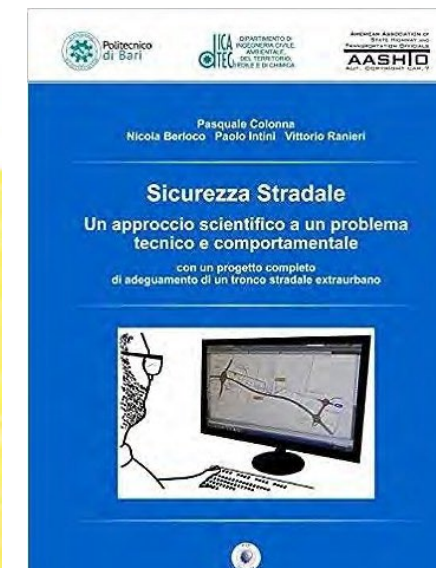
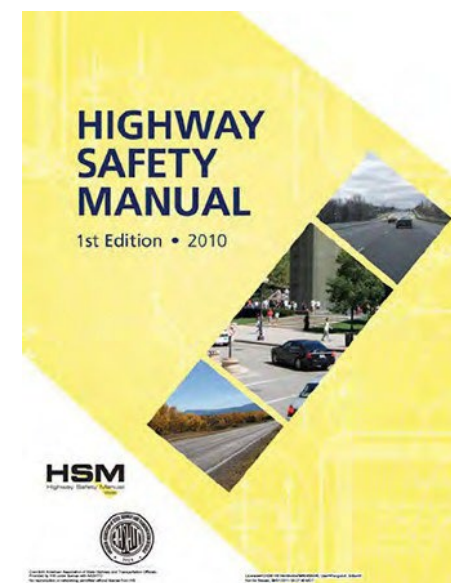
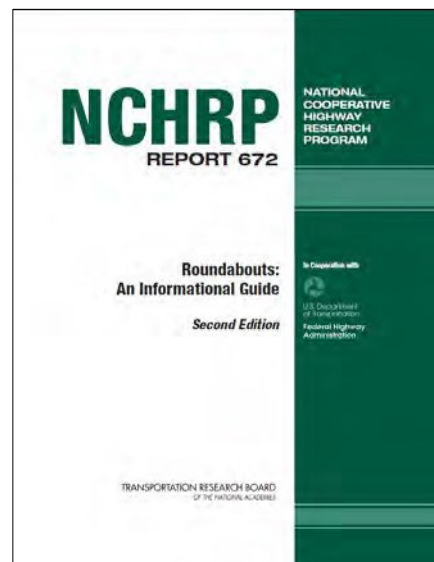
Permettono di stimare il numero atteso di incidenti in funzione di alcune grandezze geometriche e di traffico

- **Modelli per la stima di specifici tipi di incidenti** (es. tra veicoli entranti e circolanti, tra veicoli in entrata, veicolo isolato in ingresso, veicoli e pedoni...), tra questi si annoverano i modello di Maycock e Hall (1984), Arndt e Troutbeck (1995), Arndt (1998), ecc.
- **Modelli per la stima dell'incidentalità complessiva** (numero complessivo atteso di incidenti in un dato intervallo temporale) per la rotatoria nel suo complesso o sui singoli rami. Tra questi si annovera i modelli NCHRP 672, HSM



Model for Predicting the Expected Total Crash Frequency per Year by Number of Approaches			
Circ. Lanes	3 Legs	4 Legs	5 Legs
1	$0.0011(AADT)^{0.7490}$ 4,000 to 31,000 AADT	$0.0023(AADT)^{0.7490}$ 4,000 to 37,000 AADT	$0.0049(AADT)^{0.7490}$ 4,000 to 18,000 AADT
2	$0.0018(AADT)^{0.7490}$ 3,000 to 20,000 AADT	$0.0038(AADT)^{0.7490}$ 2,000 to 35,000 AADT	$0.0073(AADT)^{0.7490}$ 2,000 to 52,000 AADT
3 or 4 ¹	Not Available	$0.0126(AADT)^{0.7490}$ 25,000 to 59,000 AADT	Not Available

Dispersion parameter: $k = 0.90$



ROTATORIE NON CONVENZIONALI ED INNOVATIVE

Per incrementare capacità, LOS e sicurezza sono stati ideati diversi nuovi schemi geometrici

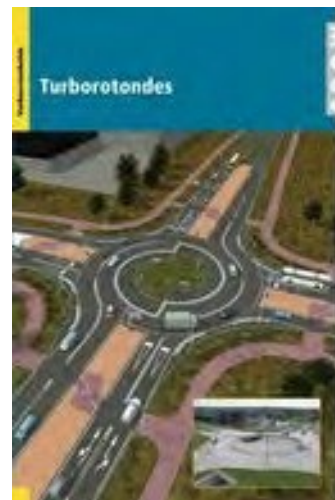
Le **turbo rotatorie**: separazione fisica delle corsie, sia agli ingressi, sia all'anello, ottenuta mediante l'installazione di cordoli.

La canalizzazione delle correnti di traffico determina la specializzazione delle corsie di marcia.

Ideatore: **Lambertus G. H. Fortuijn**

Prima turbo rotatoria: **olanda 2000**

Oggi si contano circa **500 turbo rotatorie**



In Italia le prime ipotesi progettuali risalgono al 2006

Piazza S. Bolivar, Palermo



R = 28 m

Piazza Caduti di El Almain, Palermo



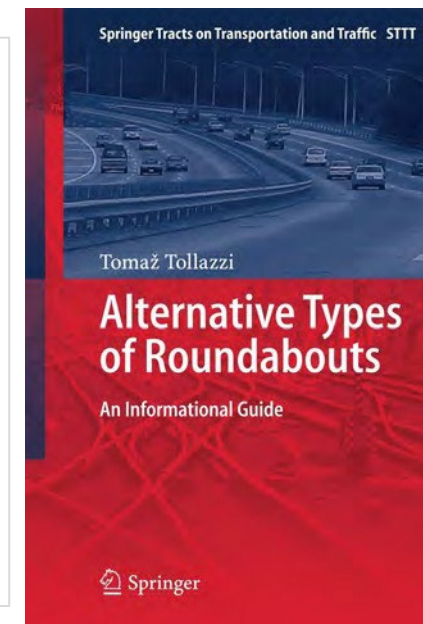
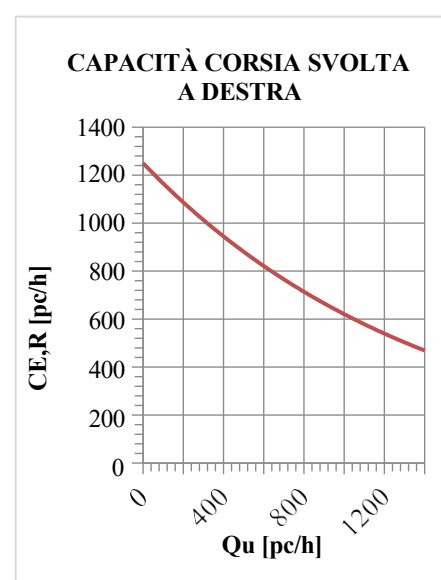
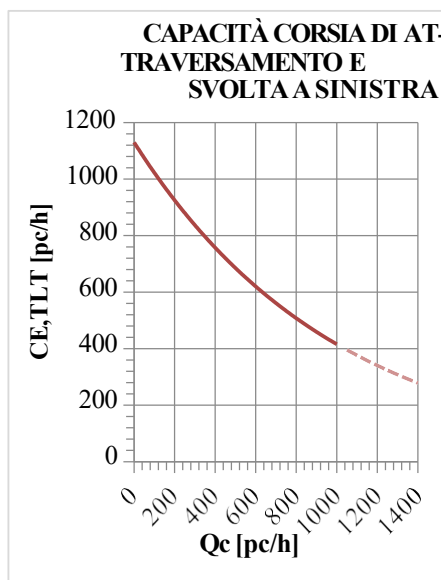
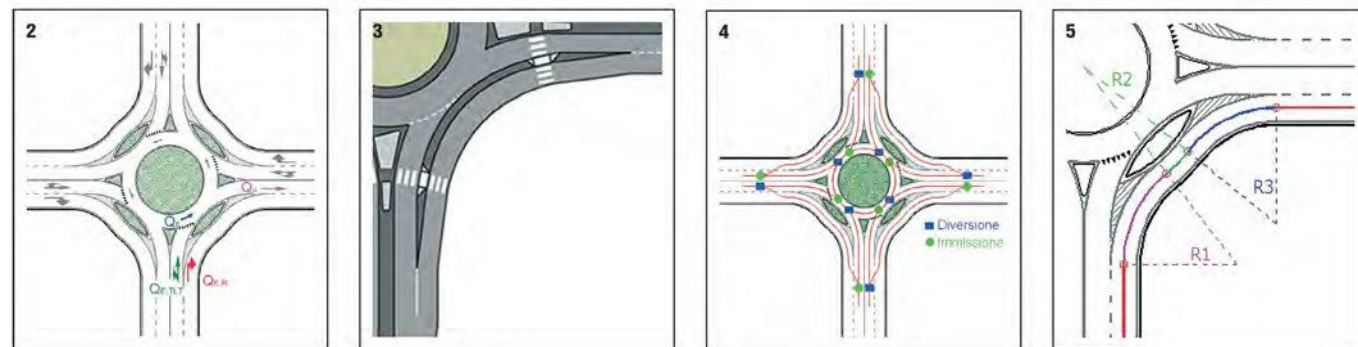
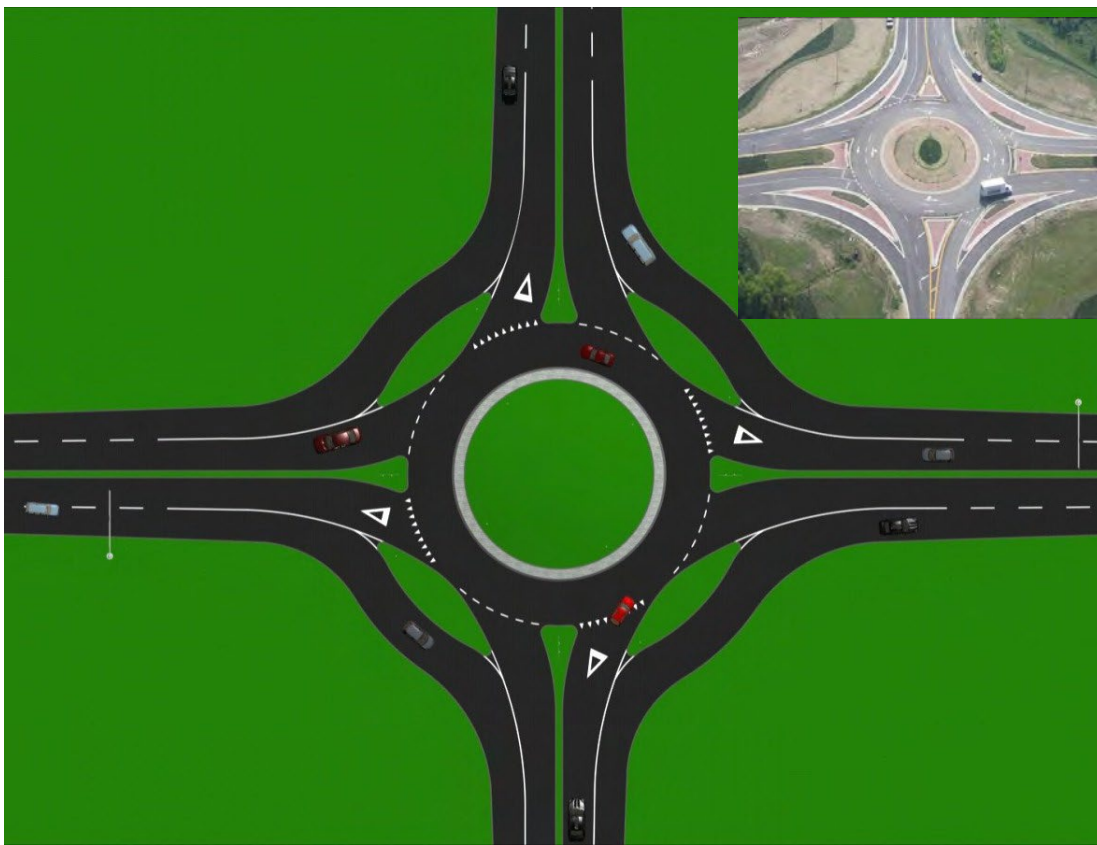
R = 57 m



ROTATORIE NON CONVENZIONALI ED INNOVATIVE

La **flower - roundabout** è una rotatoria con due corsie agli ingressi, due corsie alle uscite ed una corsia anulare in cui i veicoli che debbono effettuare la svolta a destra non si immettono sull'anello ma usufruiscono di una corsia di bypass a flusso libero

Non sono presenti manovre di scambio sull'anello ma permangono gli otto punti di conflitto (di cui 4 di diversione e 4 di immissione) tipici di una rotatoria convenzionale con una corsia anulare.



ROTATORIE NON CONVENZIONALI ED INNOVATIVE

rotatorie con segnaletica a spirale



rotatorie semaforizzate



rotatorie altimetricamente sfalsate



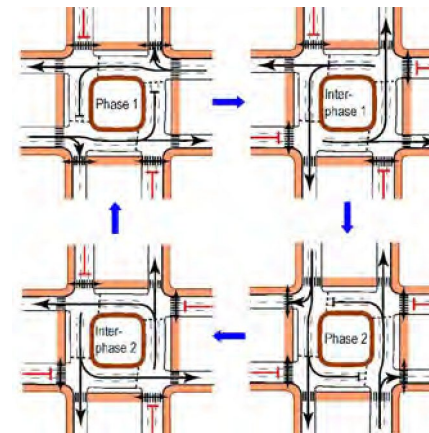
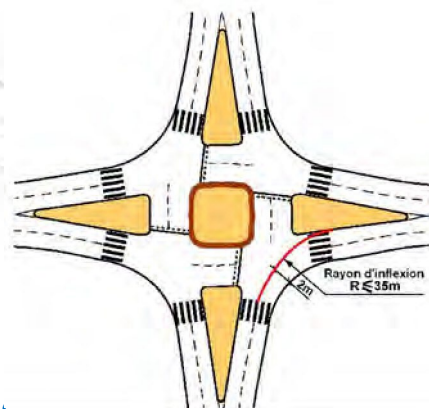
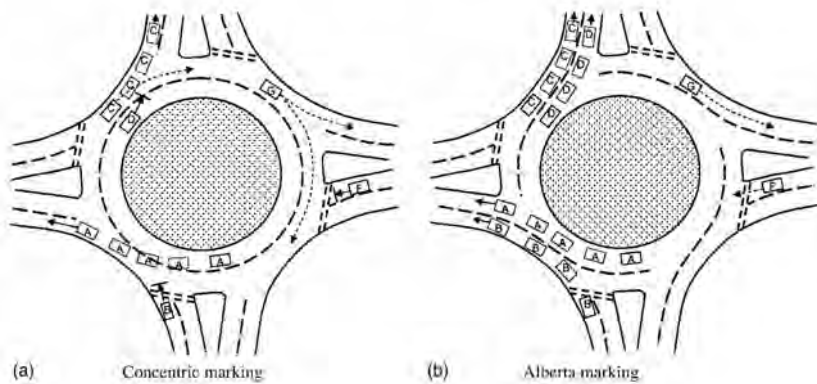
Lujiazui, China



Eindhoven, Paesi Bassi



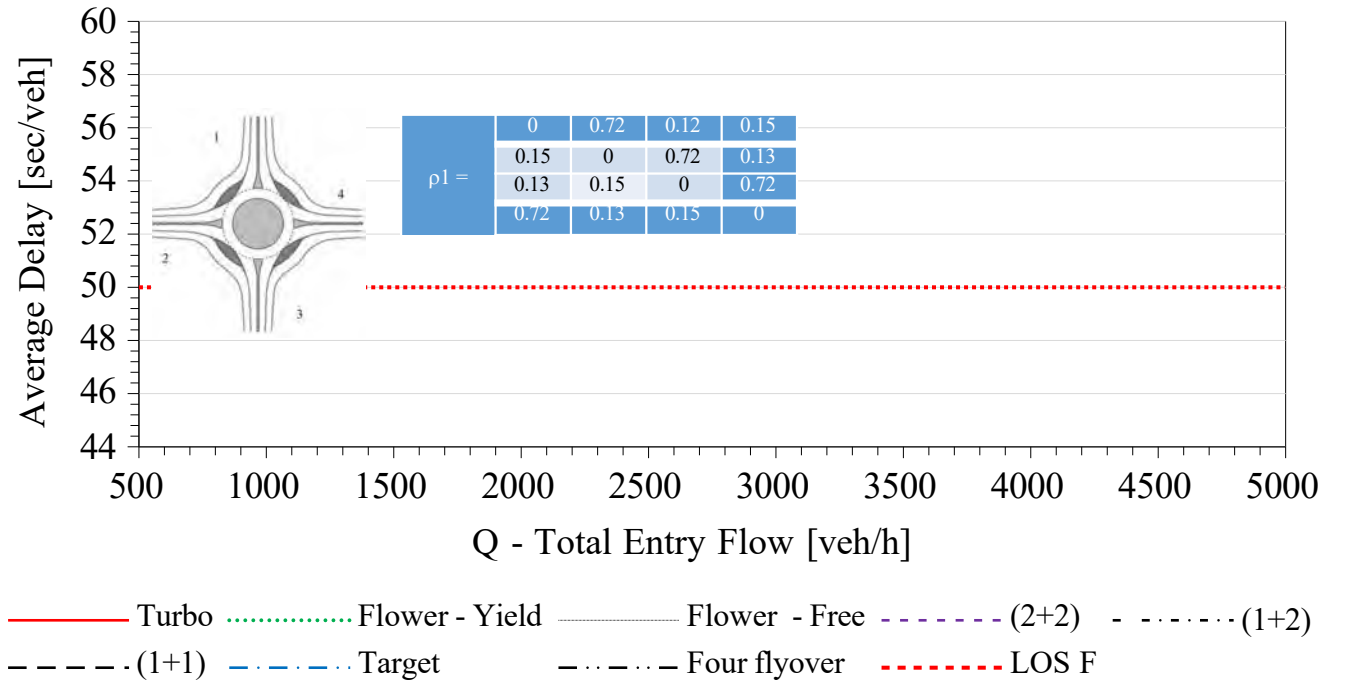
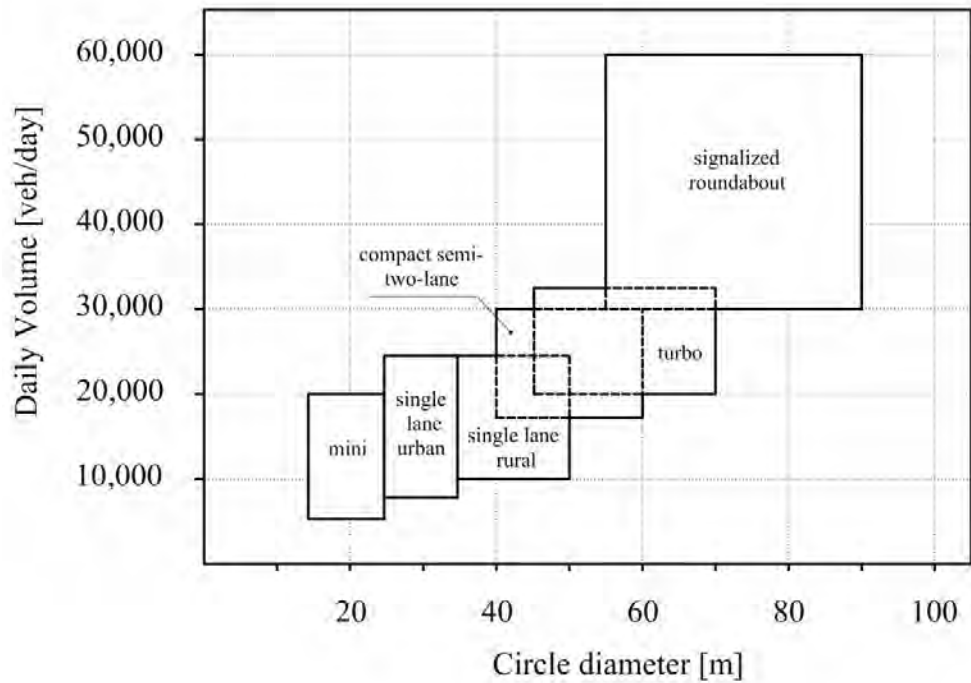
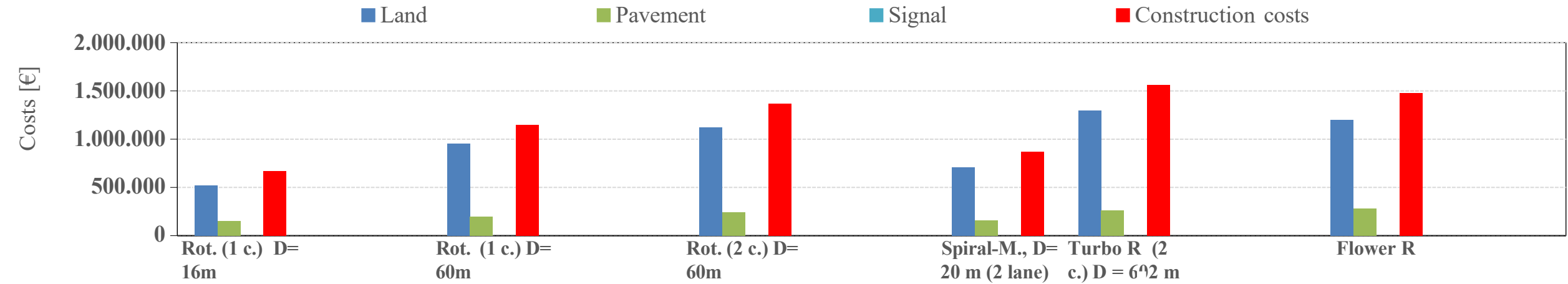
Vallvik



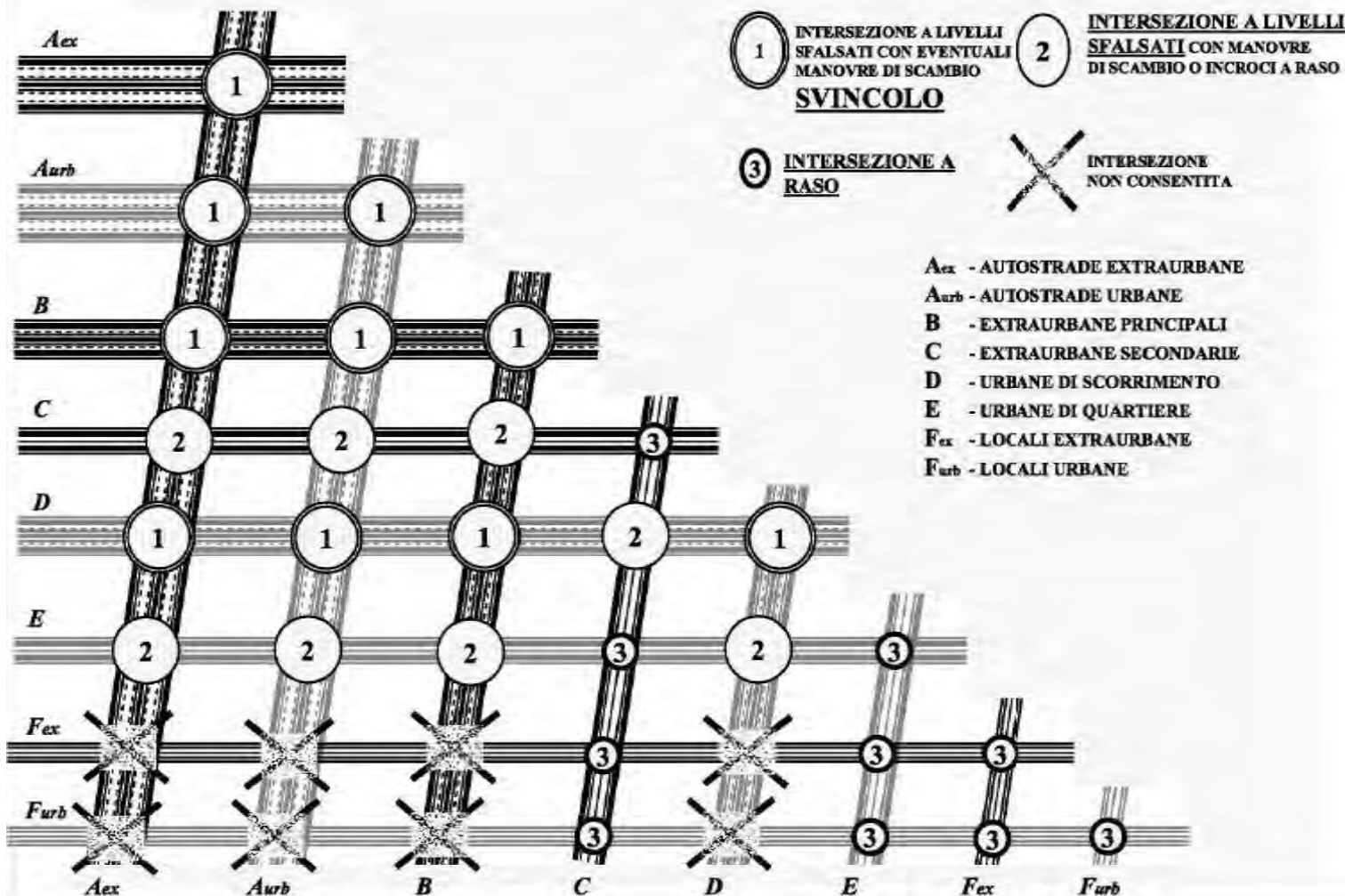
Carrefours à feux avec îlot central, CERTU 2008

Bie, et al. Circulatory Markings at Double-Lane Traffic Roundabout: Comparison of Two Marking Schemes. Journal of transportation engineering, 2008

ALCUNI CONFRONTI



SVINCOLI A ROTATORIA



Benefici:

- le velocità delle correnti in transito di una o di ambedue le strade restano pressoché invariate;
- le manovre di svolta, o almeno alcune di esse, avvengono senza arresti o rallentamenti eccessivi;
- la eliminazione parziale o totale dei punti di conflitto comporta un aumento di sicurezza.

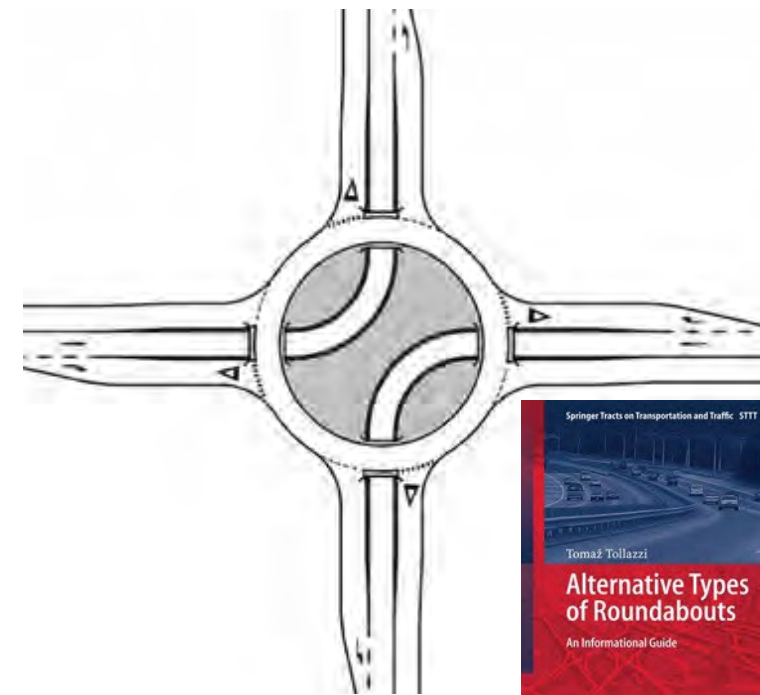
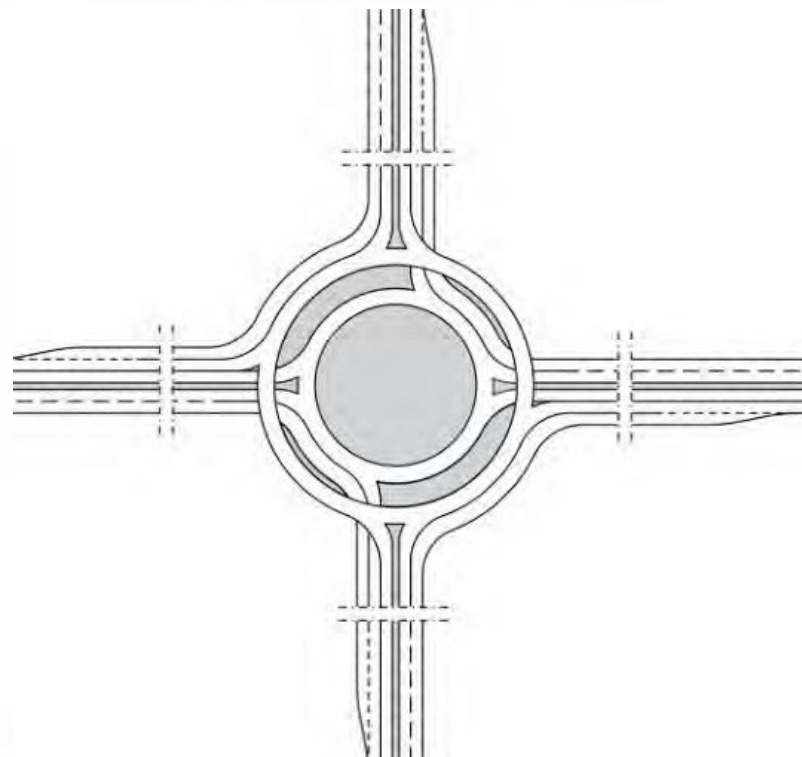
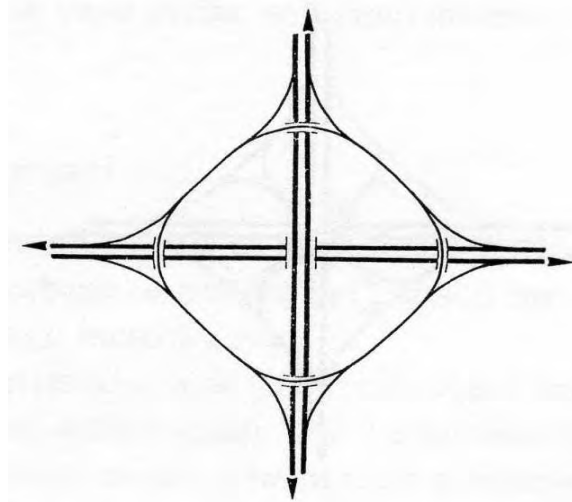
Aspetti negativi:

- l'incrocio a livelli sfalsati è più costoso per la presenza di una o più opere di scavalco, delle rampe e dello spazio occupato;
- la differenza di quota richiesta comporta variazioni del profilo altimetrico;
- l'incrocio sfalsato ha un maggiore impatto visivo rispetto a quelli a raso.

SVINCOLI A ROTATORIA

CARATTERISTICHE: Intersezione omogenea. Svincolo completo. Le svolte a sinistra escono ed entrano in destra.

OPERE D'ARTE PRINCIPALI:
5 scavalcamenti a 2 livelli, con 4 tronchi di scambio multiplo.



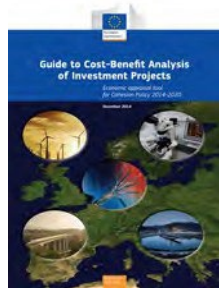
0 100 m 200 m 300 m 400 m

La simulazione del traffico

Secondo il nuovo codice appalti d.lgs 36/2023, la progettazione in materia di lavori pubblici si articola in due livelli di successivi approfondimenti tecnici:

- il progetto di fattibilità tecnico-economica
- il progetto esecutivo

LINEE GUIDA OPERATIVE PER LA VALUTAZIONE DELLE OPERE PUBBLICHE – SETTORE STRADALE



• Modelli macroscopici

(quali il traffico veicolare è assimilato ad un fluido continuo monodimensionale)

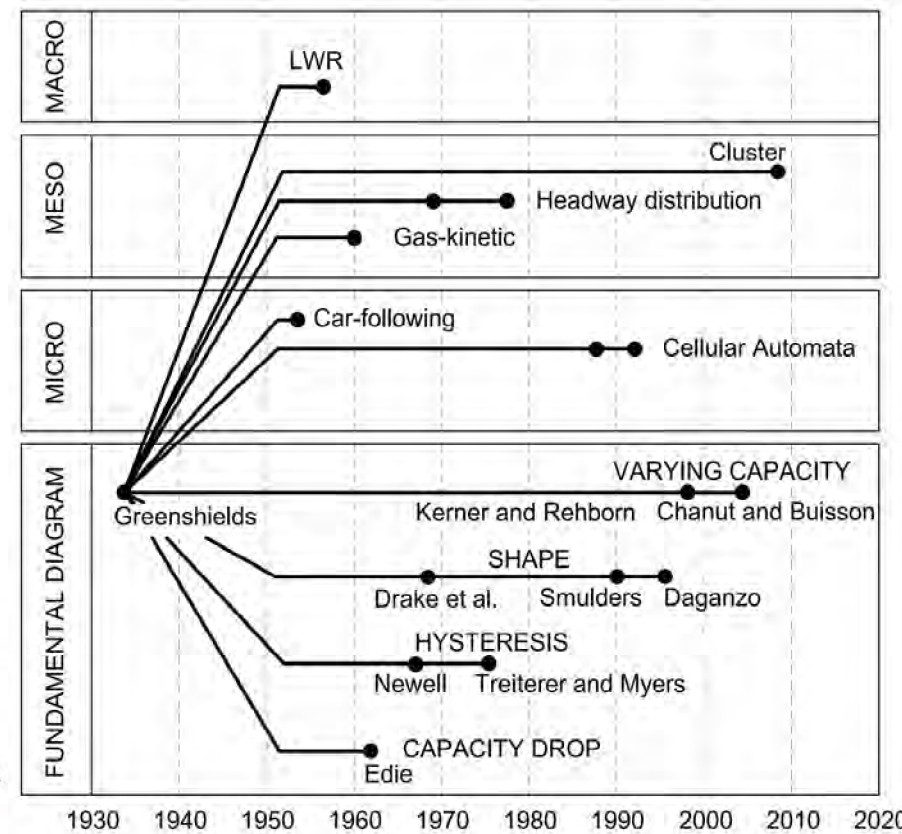
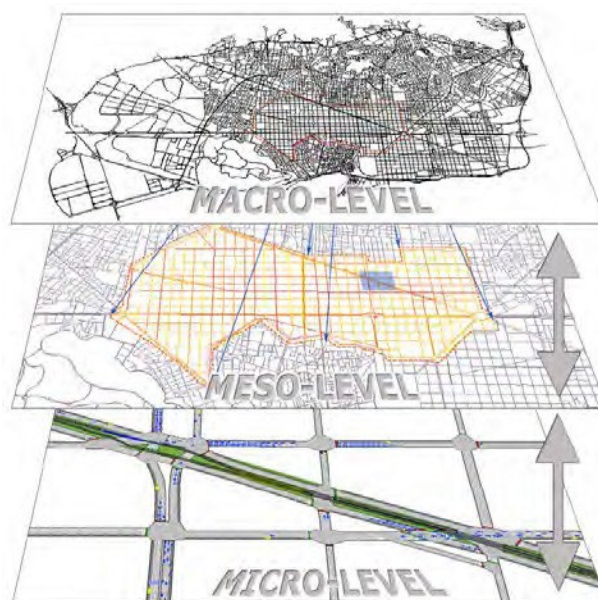
• Modelli mesoscopici

(non si analizza il comportamento dei singoli veicoli ma il movimento di gruppi di utenti, denominati “pacchetti di veicoli”)

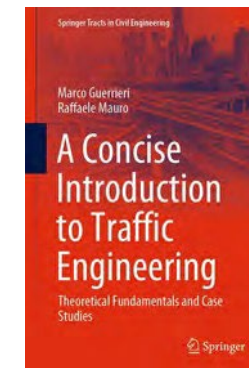
• Modelli microscopici

(viene esaminato il moto di ogni veicolo appartenente ad un flusso di traffico (velocità, accelerazione, tempo di percezione e reazione del conducente, ecc.) e le interazioni tra singoli veicoli.):

- Modello Car-Following;
- Modello Gap-Acceptance;
- Modello Lane-Changing
- Ecc.

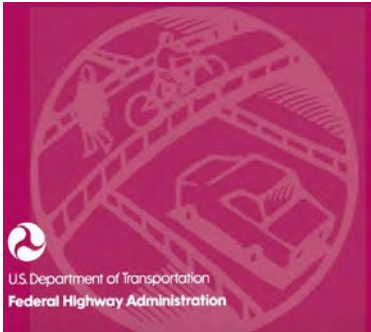


Fonte: https://www.researchgate.net/figure/From-macro-to-meso-and-micro_fig1_242154775

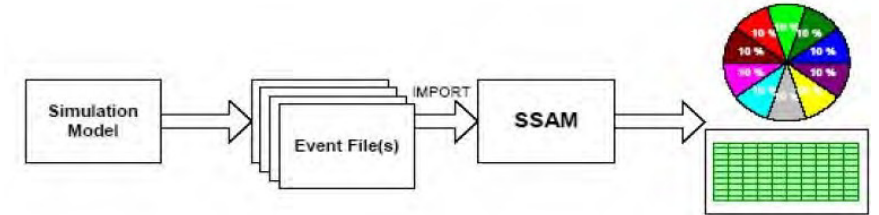


Misure surrogate di sicurezza

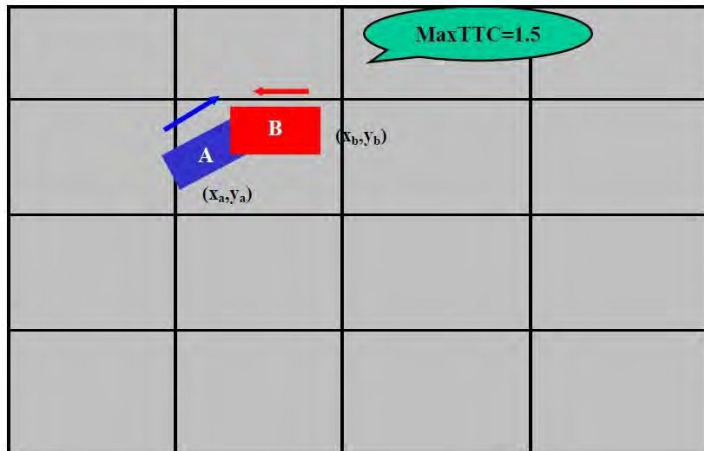
Per la stima delle condizioni di sicurezza possono essere utilizzate le **misure surrogate di sicurezza** ricavabili dalle traiettorie veicolari, ottenute dai modelli di micro-simulazione del traffico.



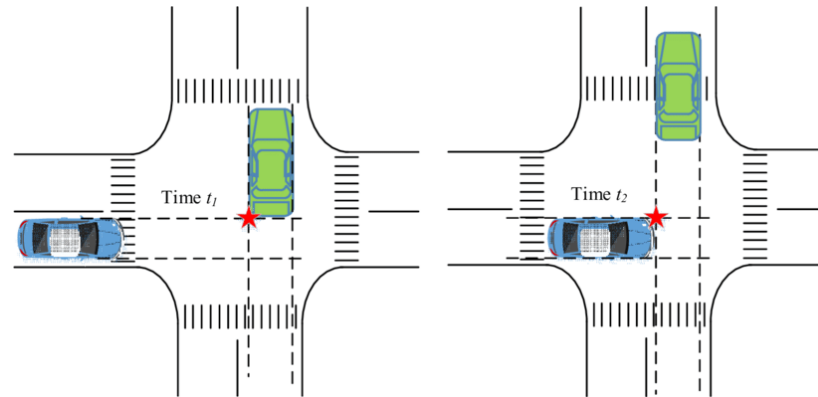
Il software **SSAM (Surrogate Safety Assessment Model)** analizza i file contenenti le traiettorie veicolari, calcola il numero dei potenziali punti di conflitto classificandoli secondo l'angolo di collisione θ tra veicoli.



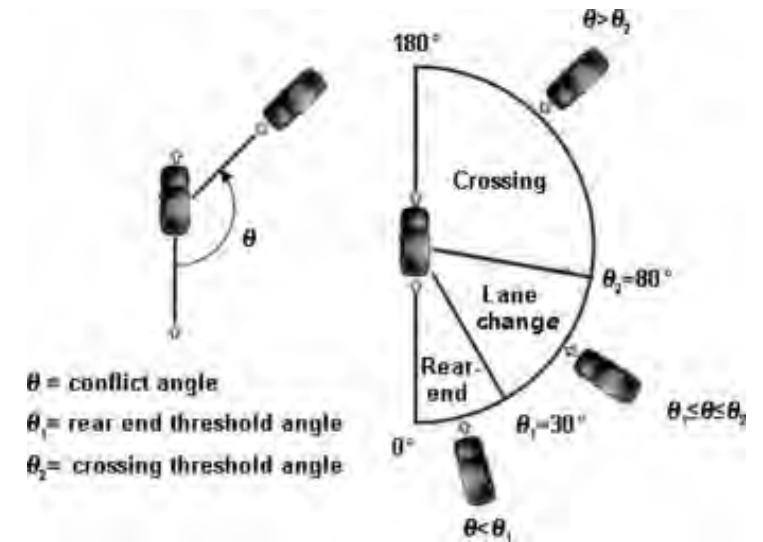
Fonte: <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/safety/08051/index.cfm>



Fonte: <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/safety/08051/02.cfm>

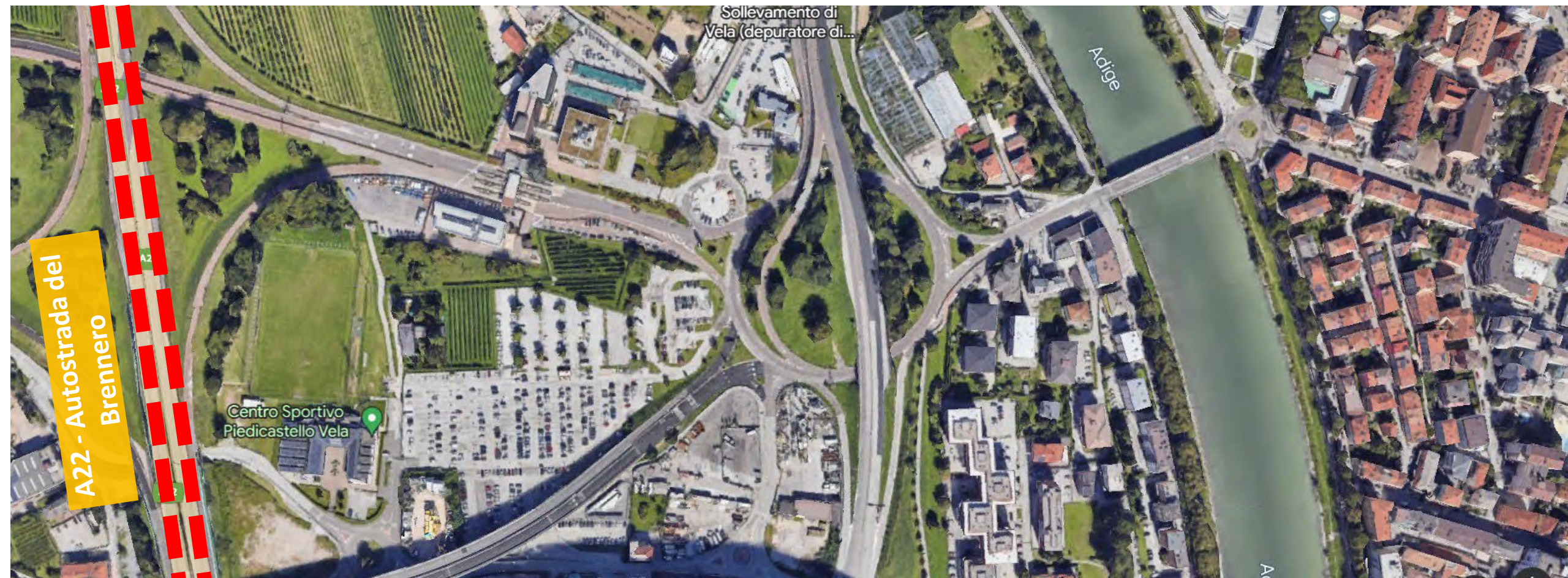


Fonte: https://www.researchgate.net/figure/The-concept-of-traffic-conflict-indicator-post-encroachment-time-PET-a-First_fig1_349069018



Fonte: https://www.researchgate.net/figure/Conflict-Angle-Diagram-Used-by-SSAM-Source-SSAM-Software_fig1_281976751

ANALISI DI UN CASO STUDIO



ANALISI DI UN CASO STUDIO

Rotatoria a livelli sfalsati nei pressi dell'ex area **Zuffo** della città di Trento.

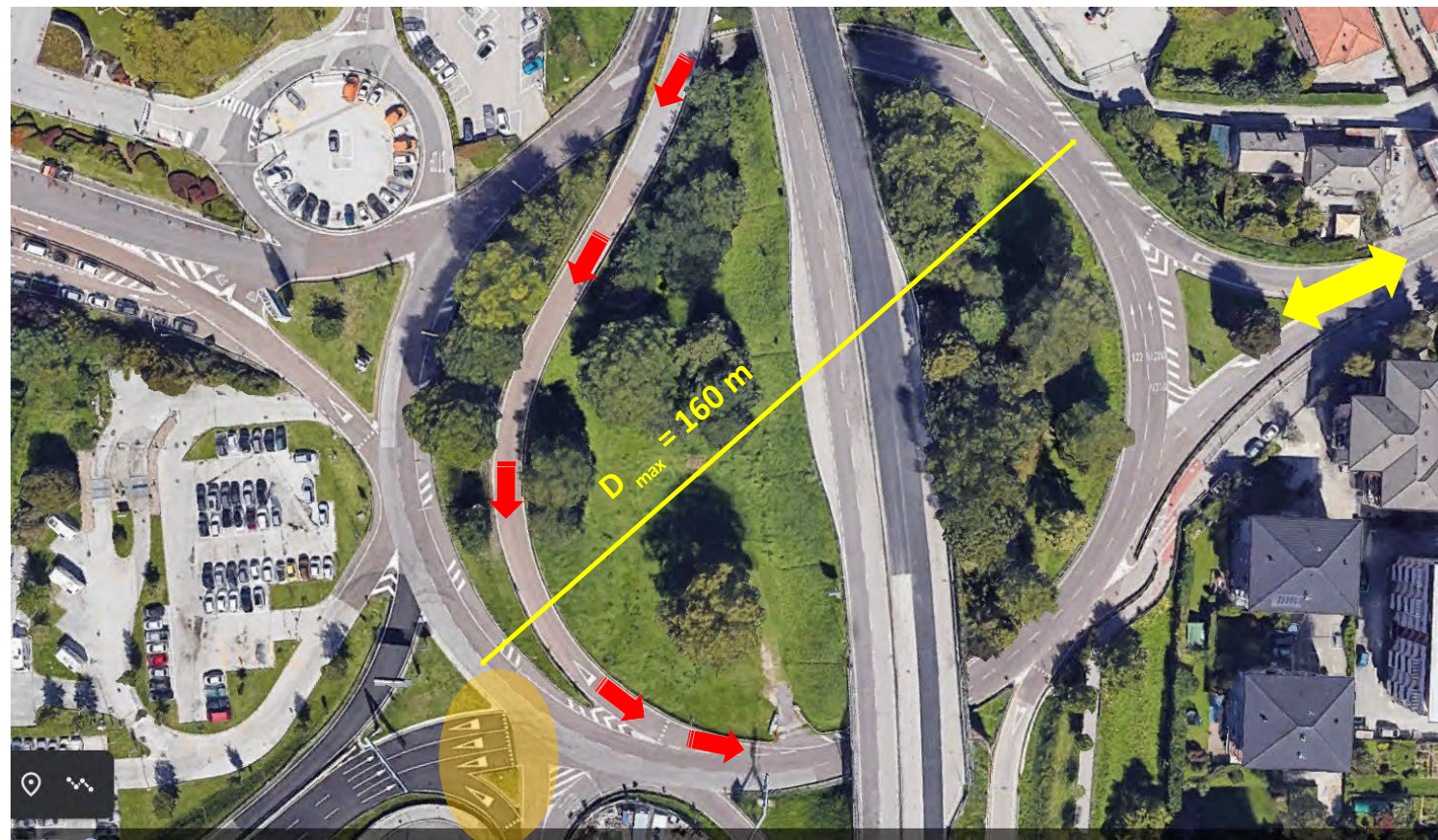
Nelle ore di punta della giornata si verificano fenomeni di sovrasaturazione (congestione) dovuti agli elevati flussi di traffico provenienti soprattutto da:

- Casello autostradale "Trento Centro";
- Circonvallazione di Trento "SS 12";
- Strada Gardesana "SS 45bis";
- Ponte S. Giorgio



Aspetti critici:

- forma irregolare della carreggiata anulare
- 7 immissioni;
- alcuni rami hanno immissioni tangenti rispetto all'anello
- Una immissione in sinistra
- Un ingressi con 3 corsie



Fonte: <https://www.google.it/maps/@46.0768194,11.1128,598m/data=!3m1!1e3>



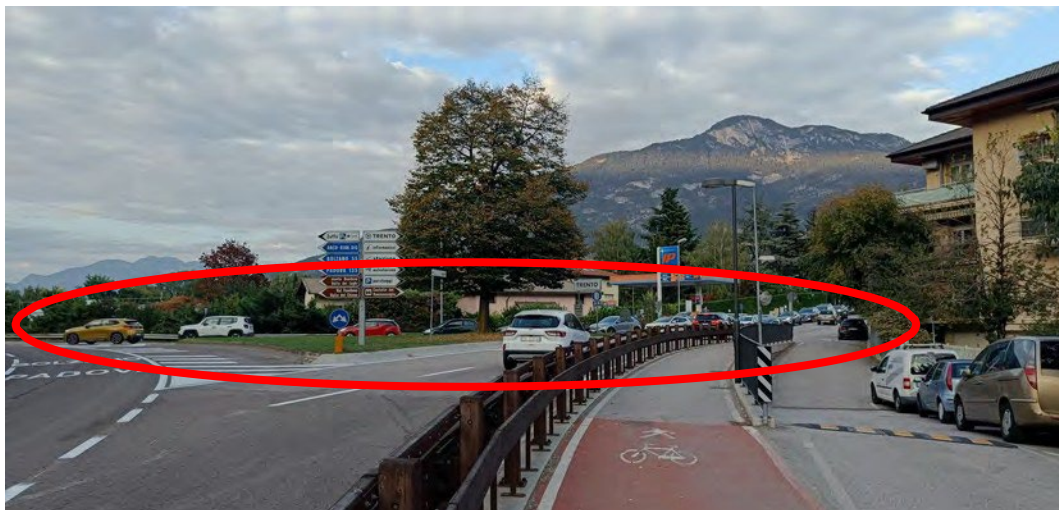
Fonte: <https://www.google.it/maps/@46.0768194,11.1128,598m/data=!3m1!1e3>



Ingresso 1 (immissione in rotatoria dalla strada SS 12 da nord)



Ingresso 5 (immissione in rotatoria dalla strada SS 12 da sud)



Ingresso 6 (immissione in rotatoria dal ponte S. Giorgio)

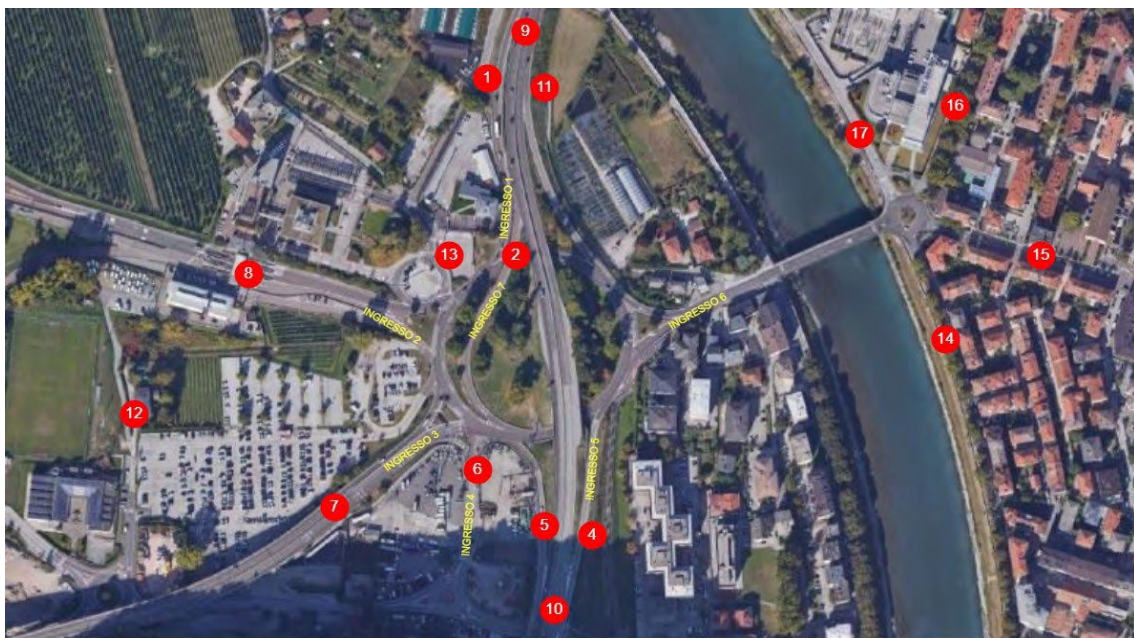


Ingresso 7 (immissione da centro in rotatoria dalla strada SS 12 da nord)

La domanda di traffico

La domanda di traffico è stata stimata sulla scorta di dati del PUM di Trento unitamente a dati di spira della A22 (per i soli flussi entranti e uscenti dal casello autostradale della A22).

Sono state determinate le matrici Origine/Destinazione dei flussi veicolari per l'ora di punta del mattino e per quella della sera per lo Scenario attuale.



Nodi Origine/Destinazione (centroidi) e indicazione ingressi per lo Scenario attuale

O/D	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	TOT
1	440	33	165	162	0	0	22	0	0	45	185	47	7	1106
2	22	26	317	22	0	0	2	0	0	47	207	8	13	664
4	22	11	165	55	0	0	56	0	0	39	112	45	17	522
6	9	0	363	6	0	0	366	0	0	4	7	0	0	755
7	167	108	0	0	0	0	409	0	0	34	64	43	22	847
8	0	153	112	0	0	0	74	0	0	43	82	36	8	508
9	0	0	0	0	0	1753	0	0	0	0	0	0	0	1753
10	0	0	0	0	2254	0	0	0	0	0	0	0	0	2254
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	6	9	0	0	0	0	90	0	0	110	0	25	0	240
16	6	31	44	51	0	0	157	0	0	403	143	0	0	835
17	0	4	11	4	0	0	34	0	0	0	0	0	0	53
TOT	672	375	1177	300	2254	1753	1210	0	0	725	800	204	67	9537

Matrice O/D ora di punta della sera 17:00-18:00 Scenario attuale (flussi espressi in [veicoli/ora])

... il processo degli arrivi veicolari e le variabili cinematiche

Distribuzione	Binomiale	Poisson	Binomiale negativa
d.d.p.	$\phi_n^r \phi p^n (1-p)^{n-r}$	$\frac{\mu^n}{n!} e^{-\mu}$	$\phi_{K-1}^{n-K+1} \phi p^{K-1} (1-p)^{n-K+1}$
media μ	rp	μ	$\frac{K \cdot (1-p)}{p}$
varianza σ^2	$rp(1-p)$	μ	$\frac{K(1-p)}{p^2}$
$\frac{\mu}{\sigma^2}$	$(1-p)^{-1} > 1$	1	$p < 1$
Stima dei parametri	$p = \frac{r \cdot \mu}{n \cdot \sigma^2}$ $r = \frac{\mu}{\sigma^2}$	$\mu = r \cdot \mu$	$p = \frac{r \cdot \mu}{K - r}$ $K = \frac{r \cdot \mu}{p(1-p)}$

Rapporto tra varianza s^2 e media	Distribuzione suggerita
> 1	Binomiale negativa
≈ 1	Poisson
< 1	Binomiale o Poisson Generalizzata

	Mean	Deviation	Min	Max
Length	4 m	0,50 m	3,40 m	4,60 m
Width	2 m	0 m	2 m	2 m
Max Desired Speed	110 km/h	10 km/h	80 km/h	150 km/h
Max Acceleration	3 m/s ²	3 m/s ²	3 m/s ²	3 m/s ²
Normal Deceleration	4 m/s ²	0,25 m/s ²	3,50 m/s ²	4,50 m/s ²
Max Deceleration	6 m/s ²	0,50 m/s ²	5 m/s ²	7 m/s ²
Speed Acceptance	1,10	0,10	0,90	1,30
Min Distance Veh	1 m	0,30 m	0,50 m	1,10 m
Maximum Give Way Time	11 Secs	2,50 Secs	5 Secs	15 Secs
Guidance Acceptance	75 %	10 %	65 %	90 %
Sensitivity Factor	1	0	1	1

Simulazione del traffico – Scenario attuale «S0»



Test GEH di Geoffrey E. Havers (*Highway Agency. 1996*)

$$GEH_i = \sqrt{\frac{2(x_i - y_i)^2}{x_i + y_i}}$$

$$\text{Let } GEH = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m GEH_i$$

If $GEH \geq 85\%$ then accept the model

Otherwise reject the model

Endif;

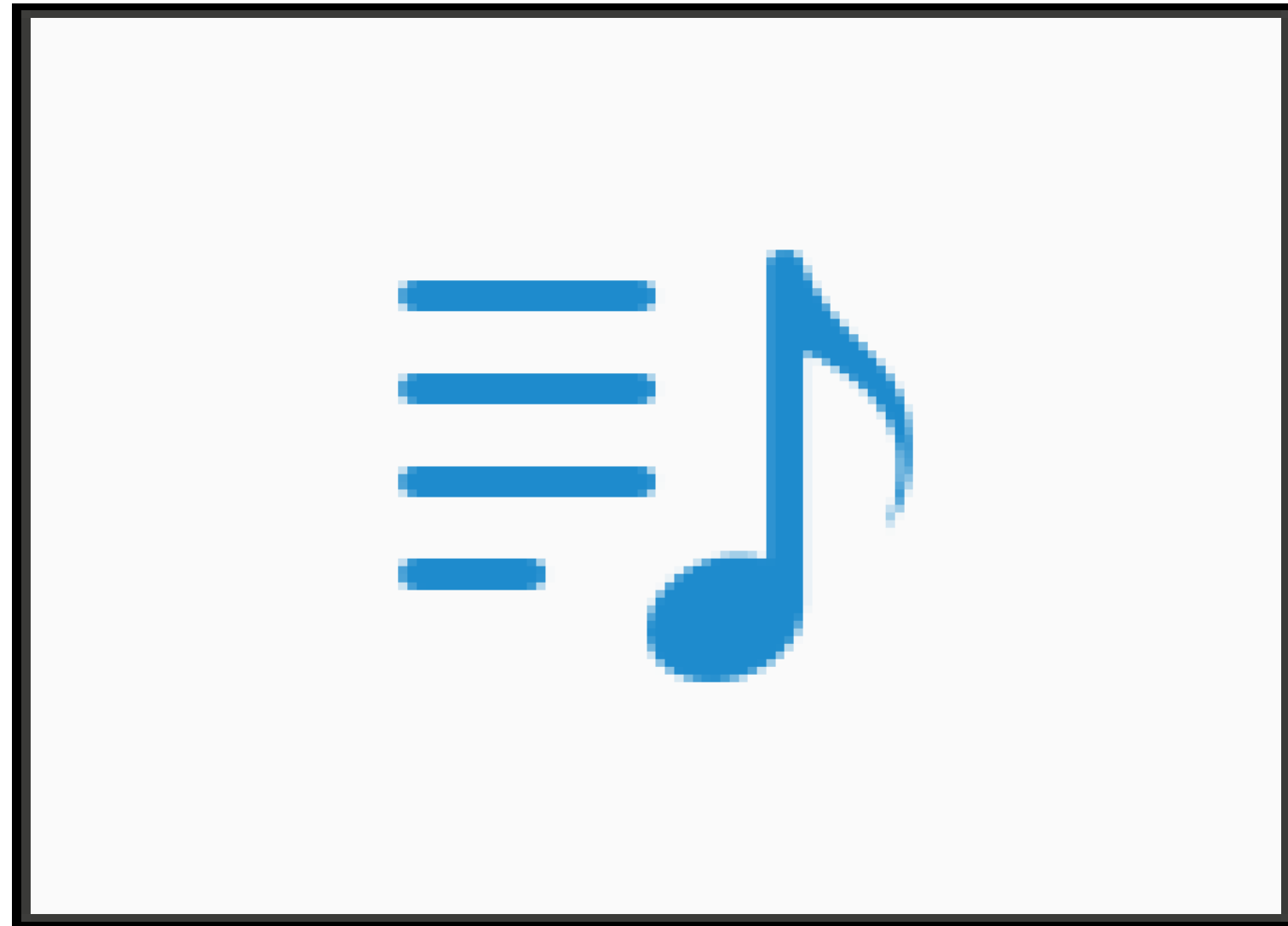
For $i = m$ (number of counting stations)

If $GEH_i \leq 5$, then set $GEH_i = 1$

Otherwise set $GEH_i = 0$

Endif;

End for;



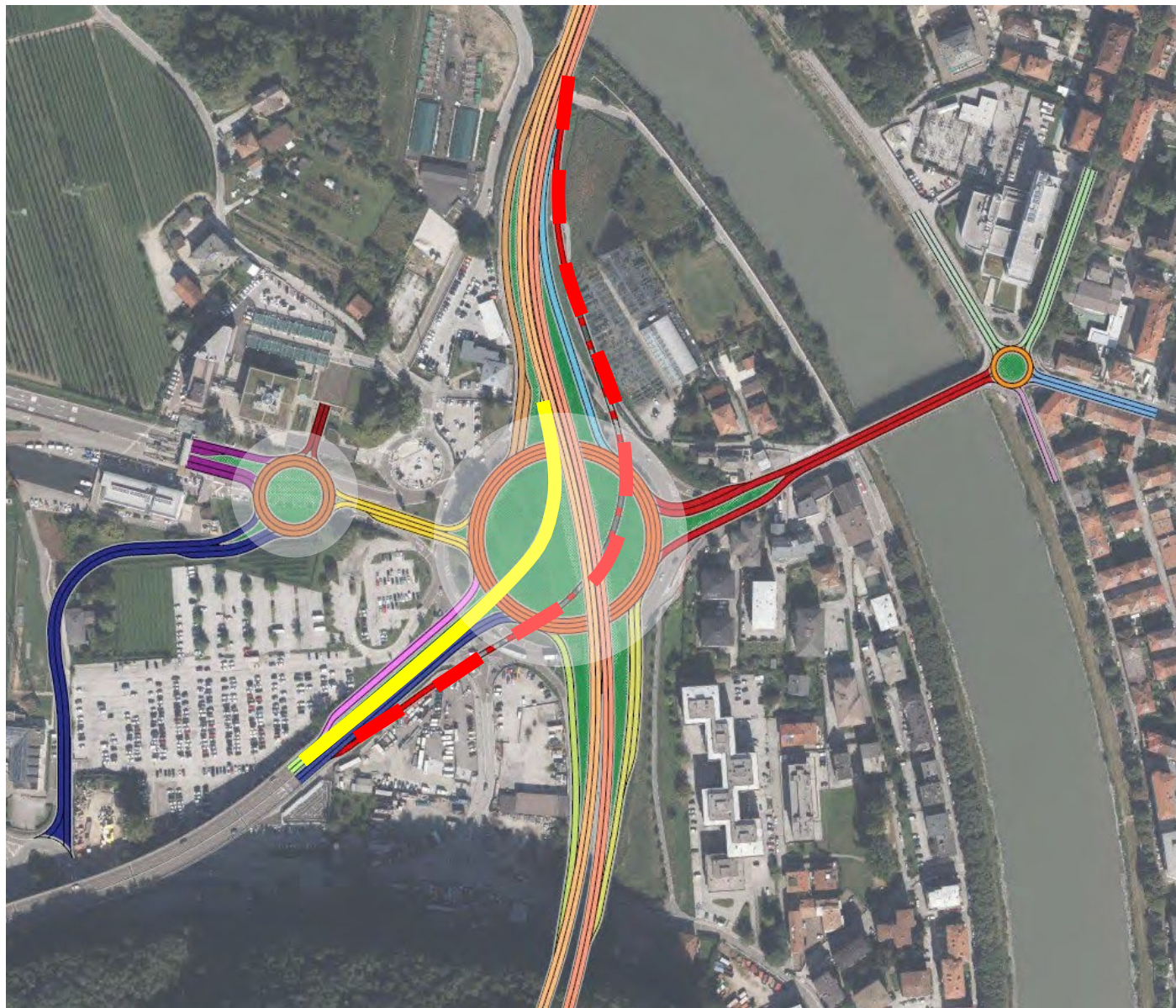
se la deviazione dei valori simulati rispetto alle misure è minore di 5 in almeno l'85% dei casi,

Scenario di progetto 1

«S1»

Caratteristiche principali:

- Careggiata anulare di forma circolare con 3 corsie;
- Nuova rotatoria con diametro esterno di 50 m in prossimità del casello autostradale;
- Bypass in galleria di collegamento tra la strada Gardesana "SS 45bis" e la circonvallazione di Trento "SS 12" a nord;
- Rimozione dell'ingresso da centro rotatoria e riconfigurazione come bypass di collegamento tra la circonvallazione di Trento "SS 12" e la strada Gardesana "SS 45bis".



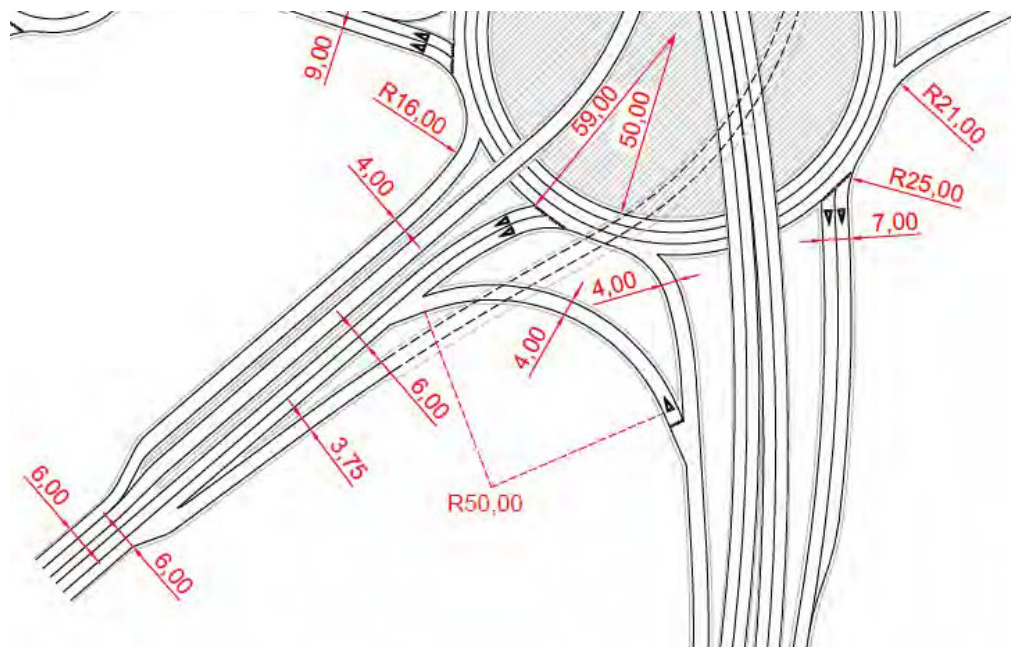
Planimetria dello Scenario di progetto – S1

Scenario di progetto 2 (bypass) –

«S2»

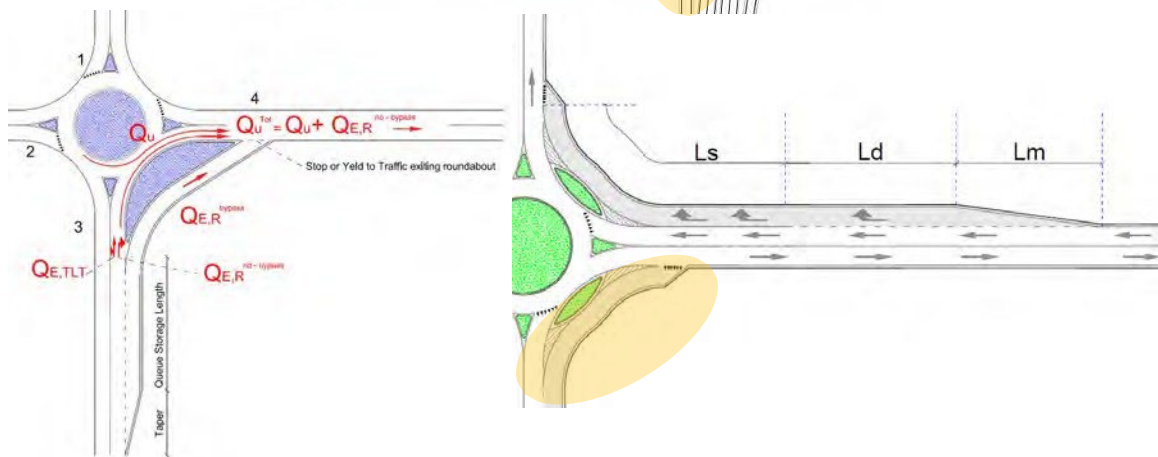
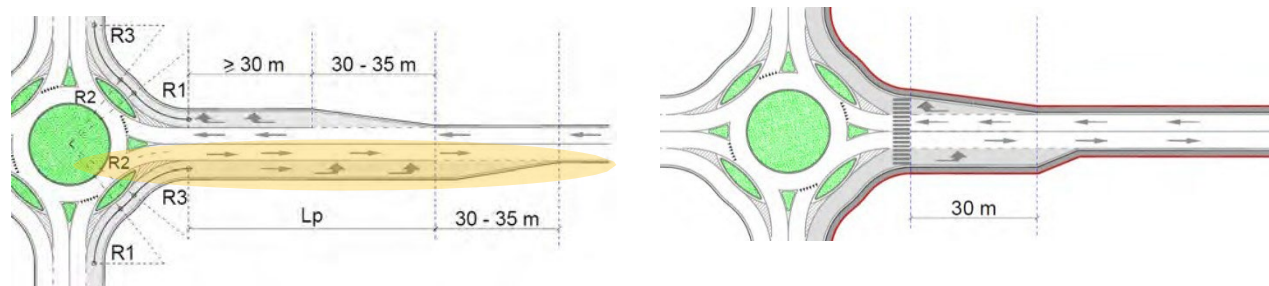
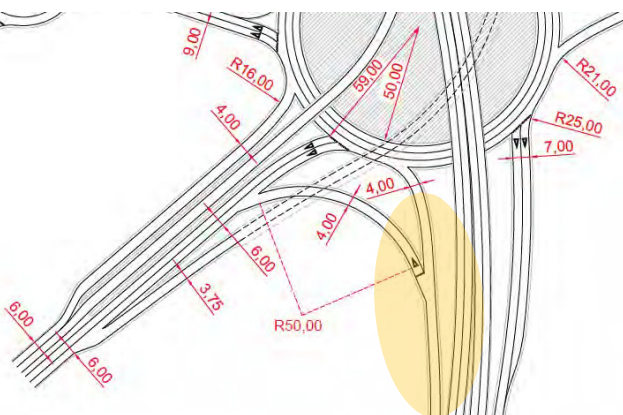
Si prevede duna bypass tra la strada Gardesana "SS 45 bis" e la circonvallazione di Trento "SS 12" a sud.

Ciò comporta una riduzione di flusso entrante in rotonda, di 282 veicoli/ora durante la fascia oraria del mattino e 167 veicoli/ora in quella serale.



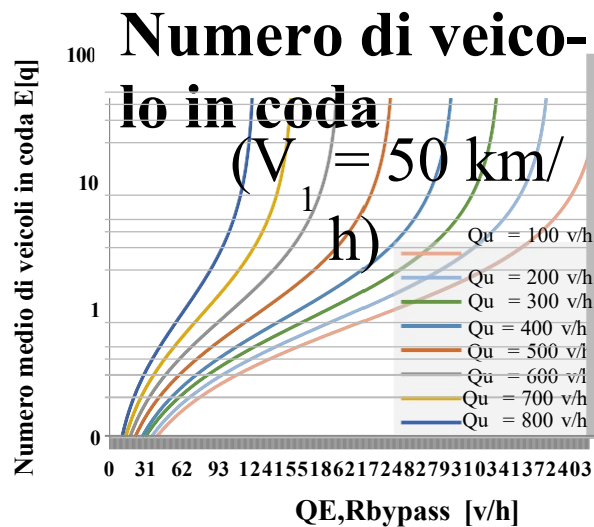
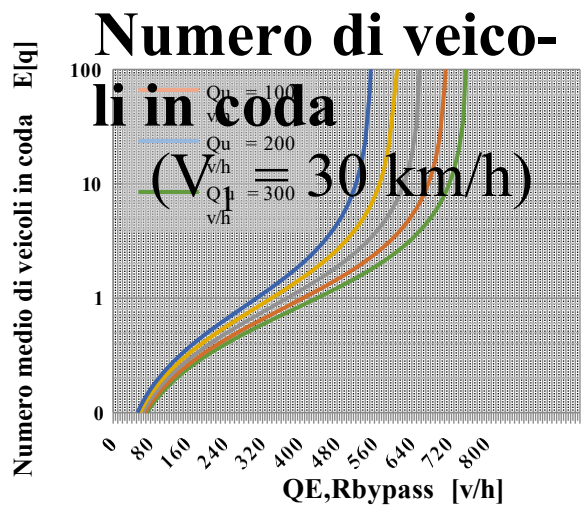
Planimetria dello Scenario di progetto 2 (bypass) – S2

Bypass regolamentati con Stop, precedenza o a flusso libero

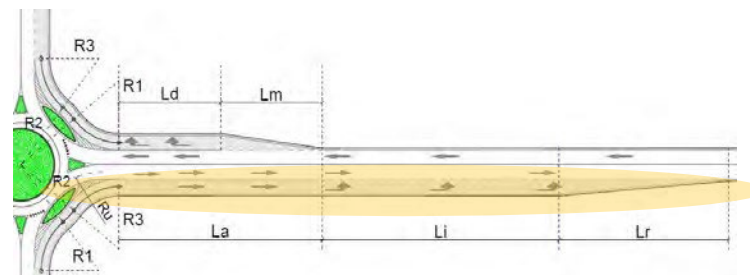


Velocità di Progetto [km/h]	Pendenza longitudinale [%]	Lunghezza Tronco Lp [m] in funzione del Raggio R3 [m]				
		≤ 10	11 ÷ 15	16 ÷ 20	21 ÷ 30	>30
60	-4	40	35	30	-	-
	-2	45	40	30	-	-
	0	50	45	35	25	-
	2	60	55	45	30	-
	4	75	65	55	40	25

Fonte: Wytyczne Projektowania Skrzyżowań drogowych, Czesc II, Warszawa, 2001



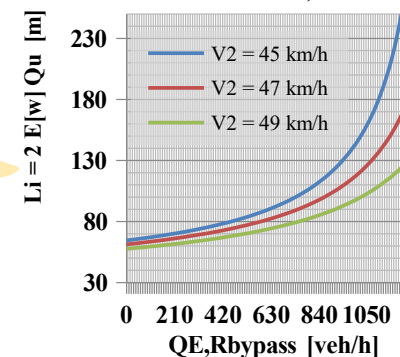
D.M. 19/4/2006



Relazione ANAS (Circolare n. 53688 del 2009) per strade di cat. A e B

Lunghezza tronco immissione "Li"

$(Q_u = 400-800 \text{ v/h}; V_1 = 50 \text{ km/h})$

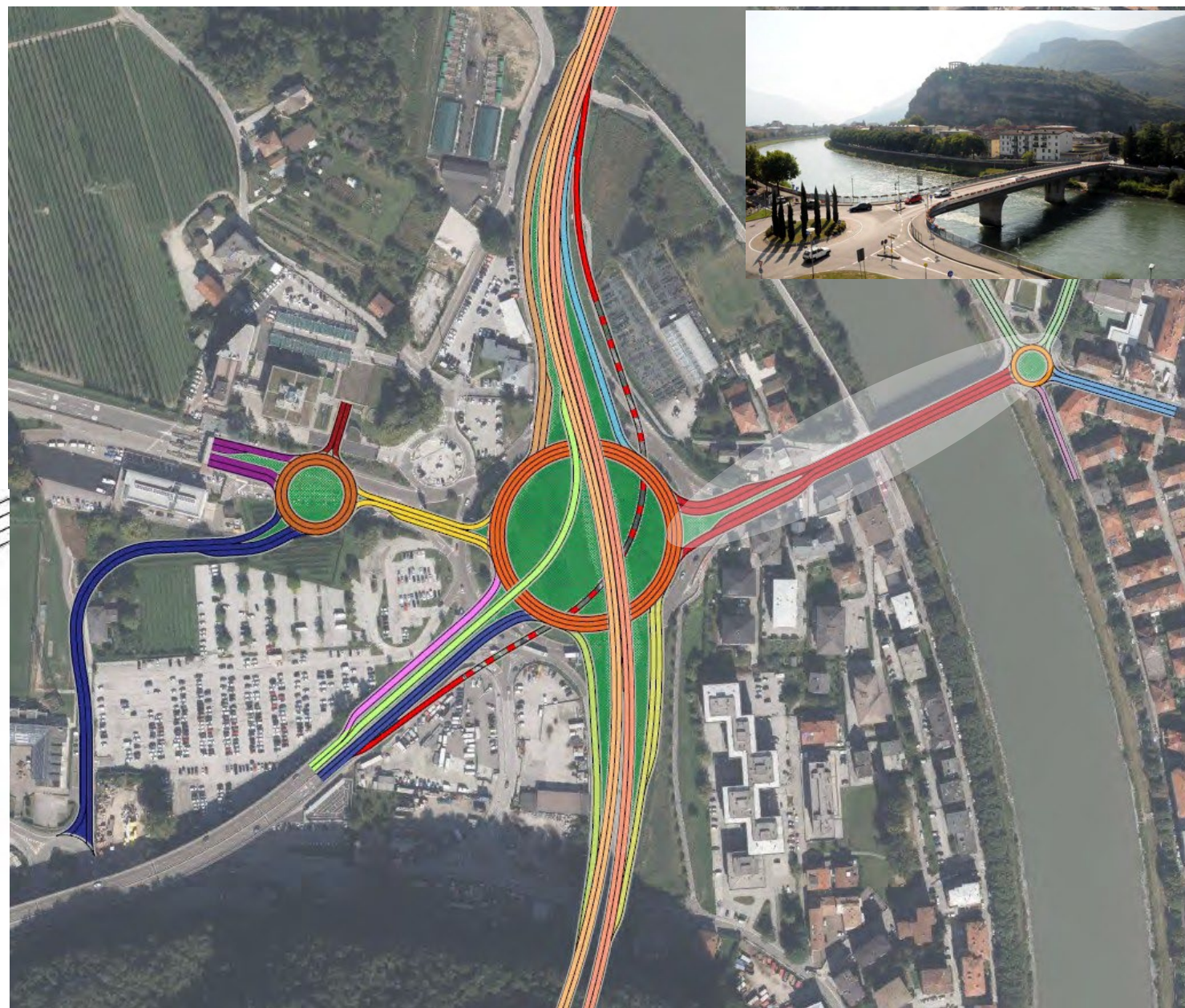
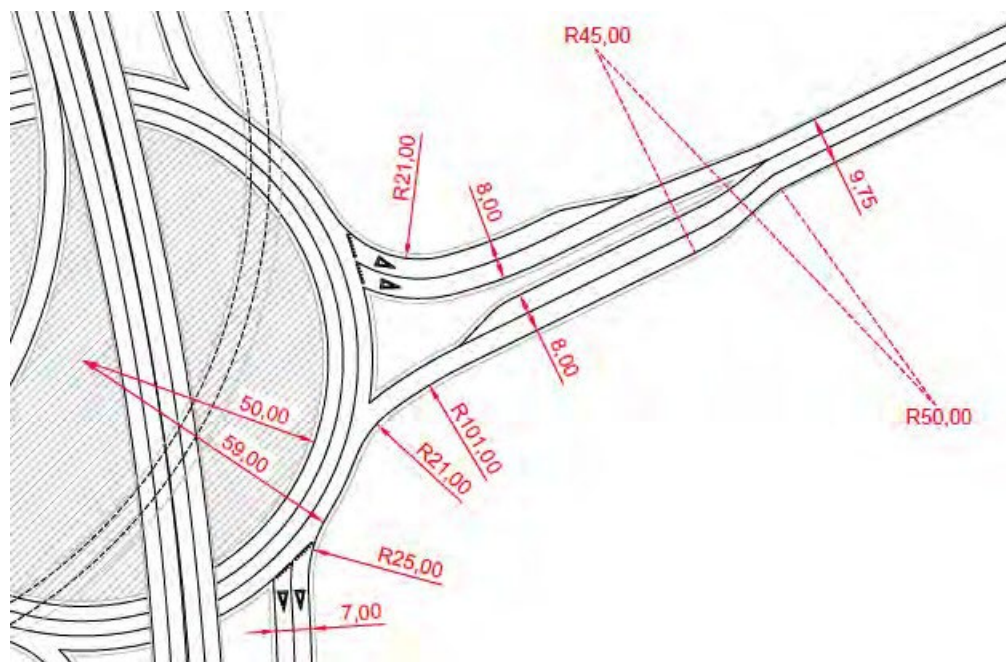


P-K
(Pollaczek e Khinchine)

Scenario di progetto 3 (allargamento ponte) –

«S3»

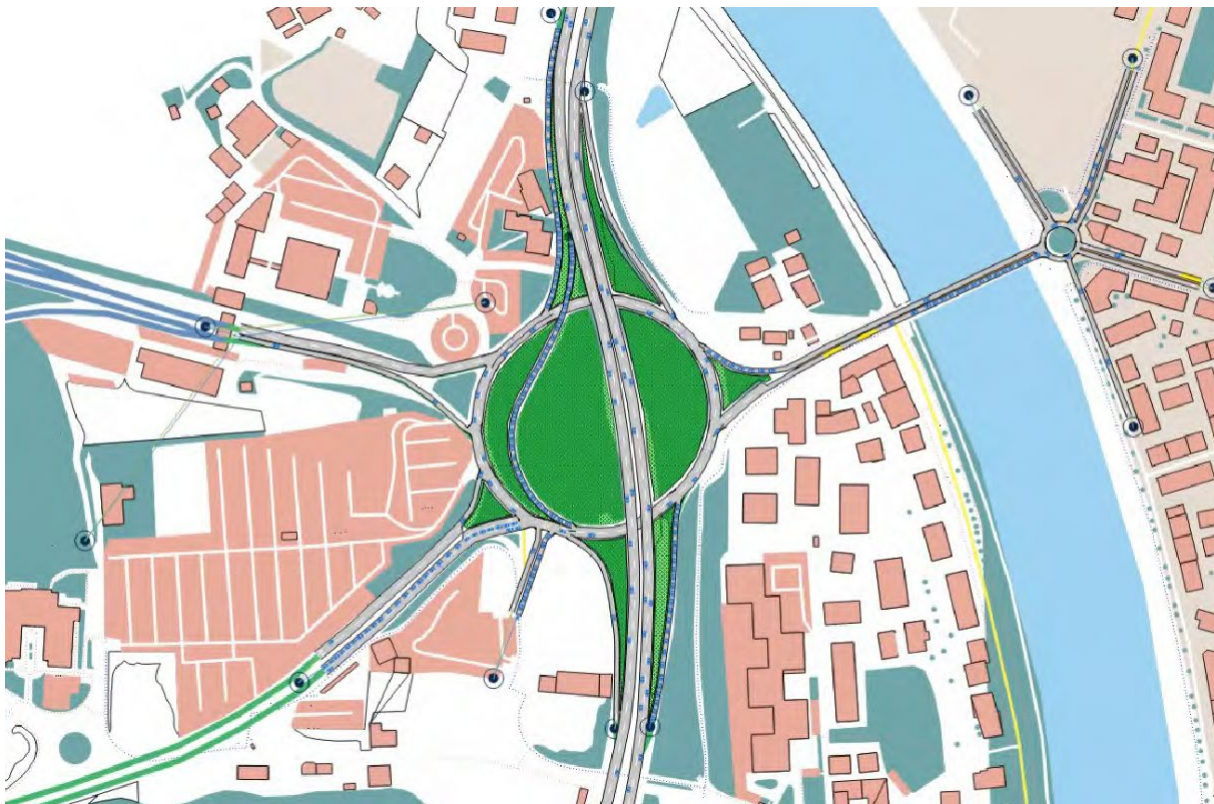
Questa variante precede l'allargamento della carreggiata del ponte per la realizzazione di una corsia aggiuntiva in direzione centro città.



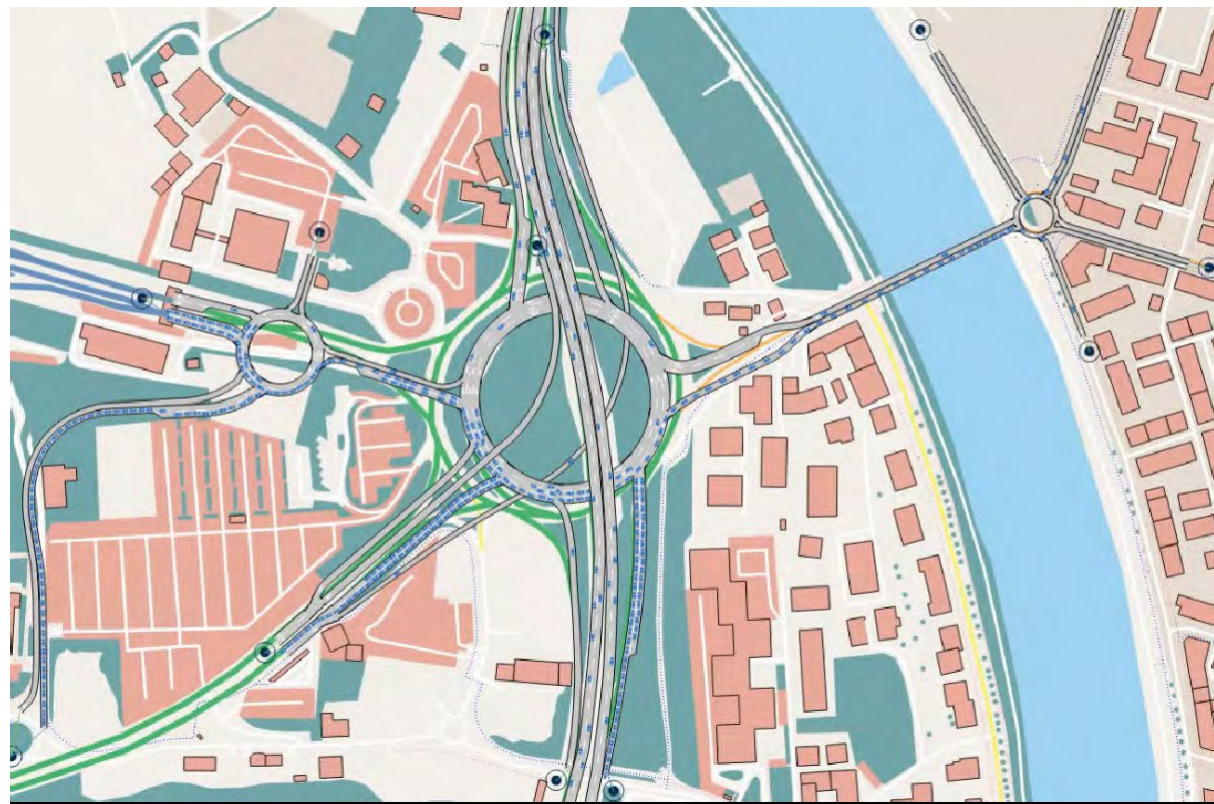
Planimetria dello Scenario di progetto (allargamento ponte) – S3

Simulazione di traffico

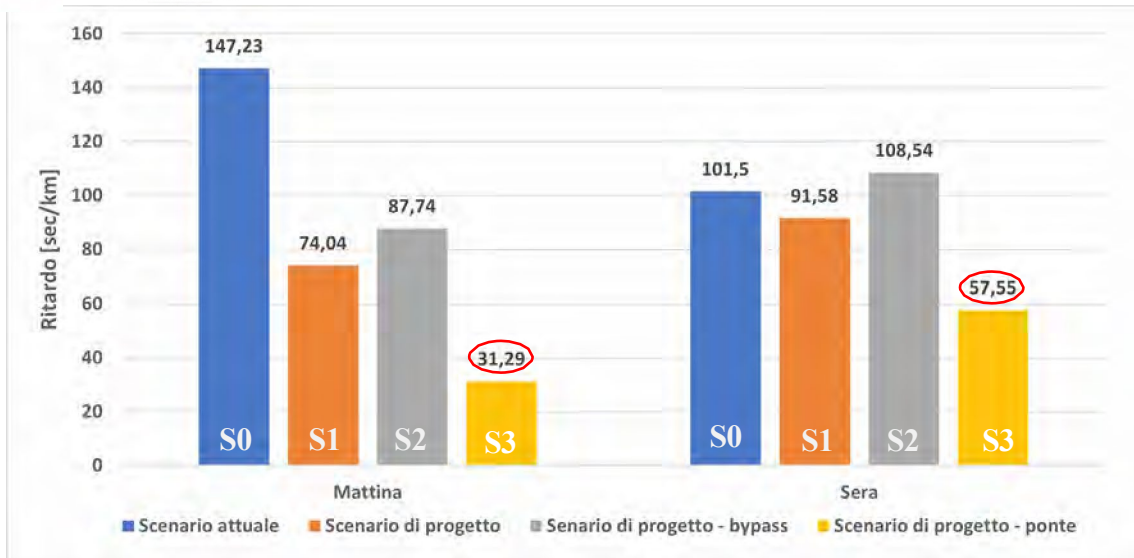
Scenario di progetto 2 (bypass) – S2



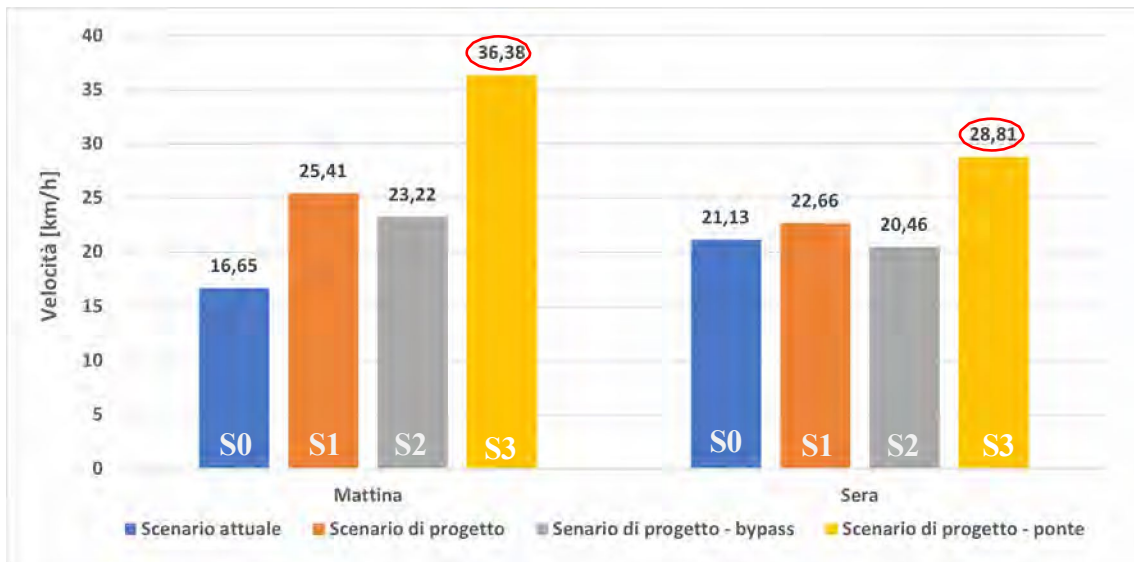
Scenario di progetto 1 (ponte) – S3



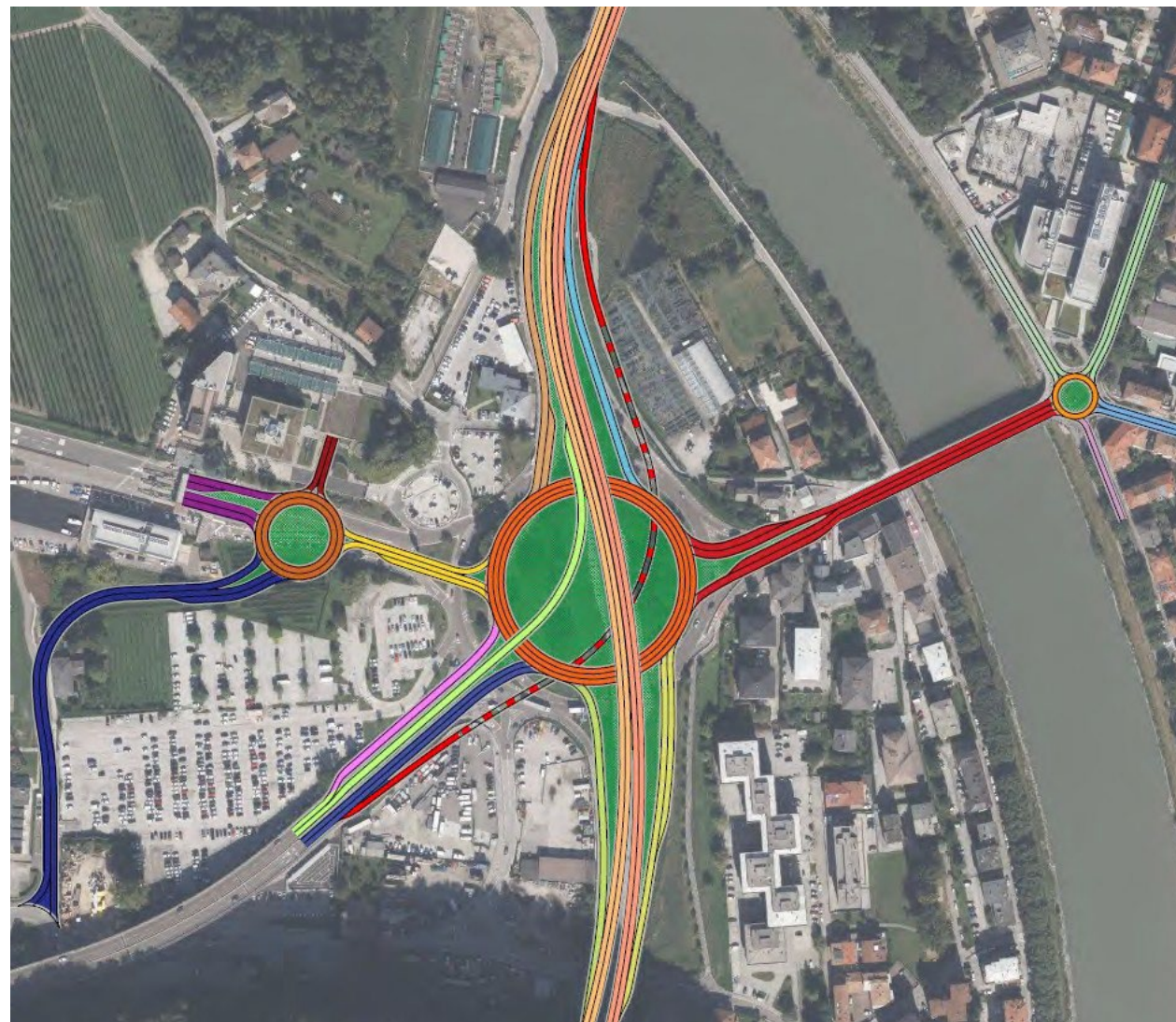
Confronto dei ritardi e velocità medie



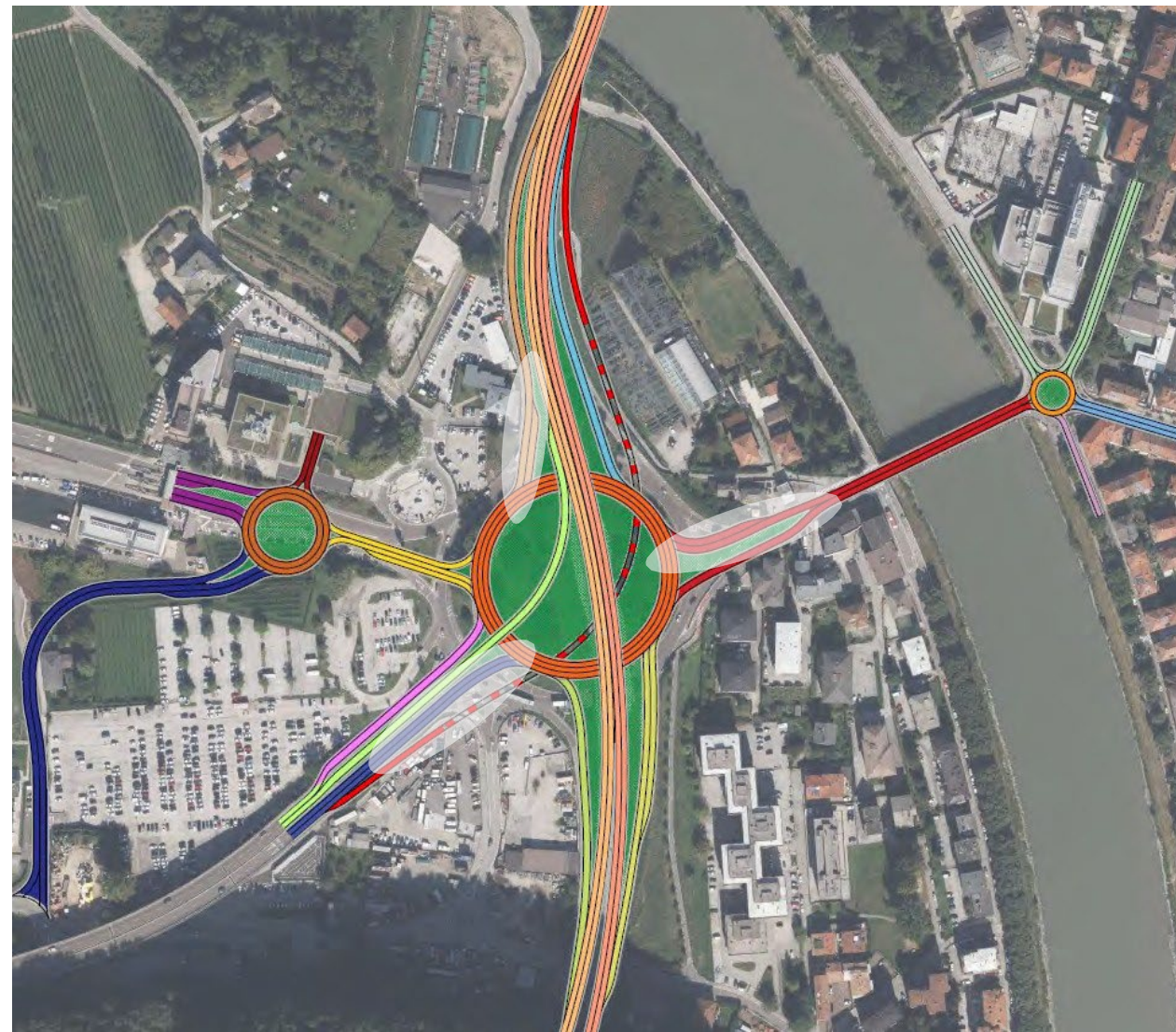
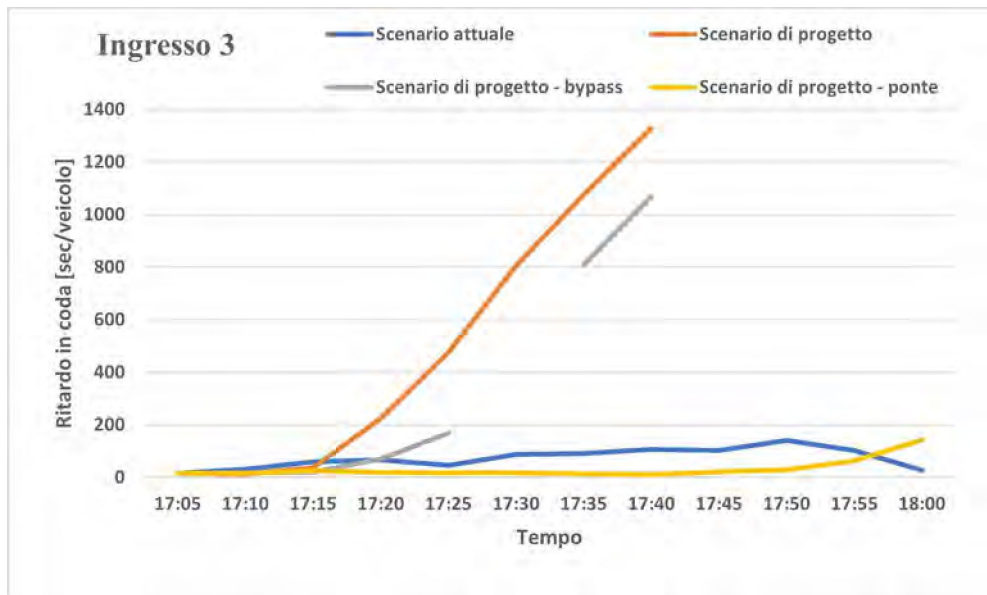
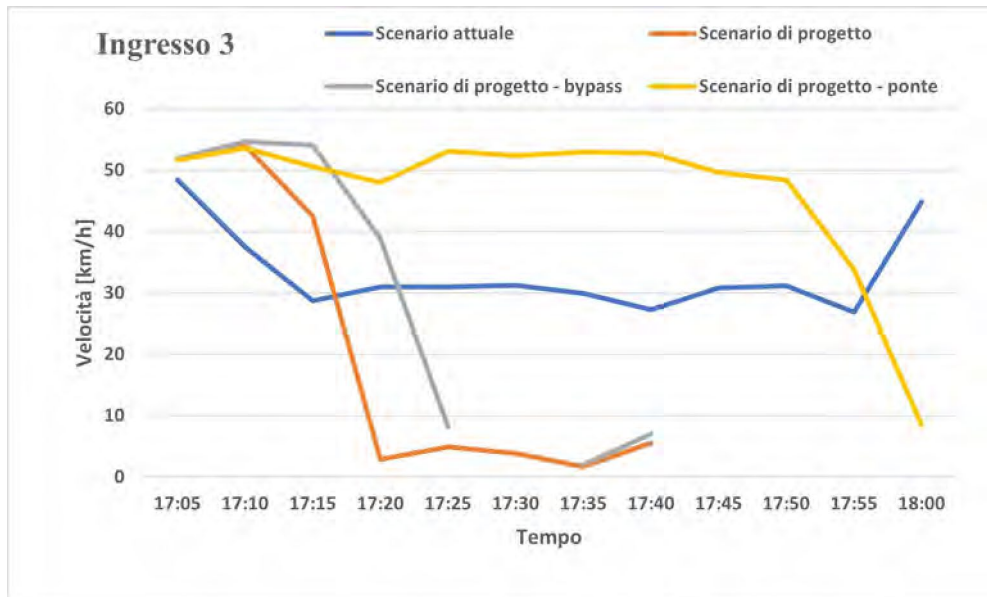
Confronto dei ritardi veicolari medi sulla rete



Confronto delle velocità medie sulla rete

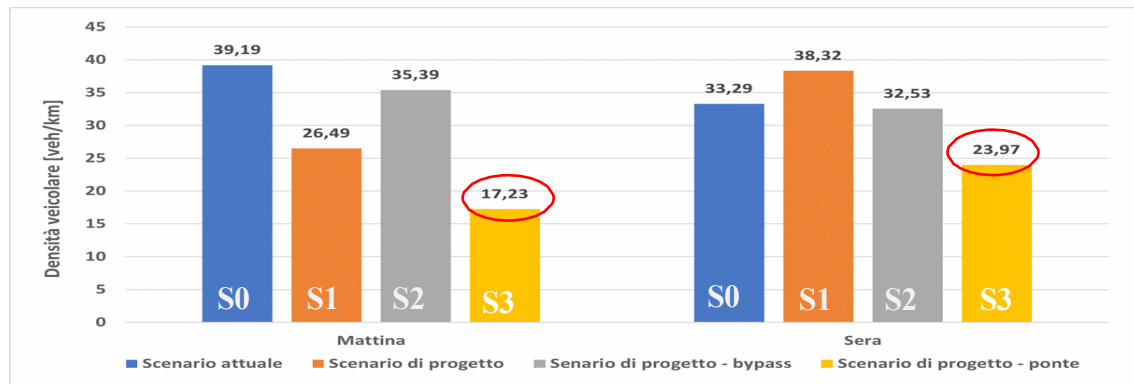


Planimetria dello Scenario di progetto (allargamento ponte) – S3

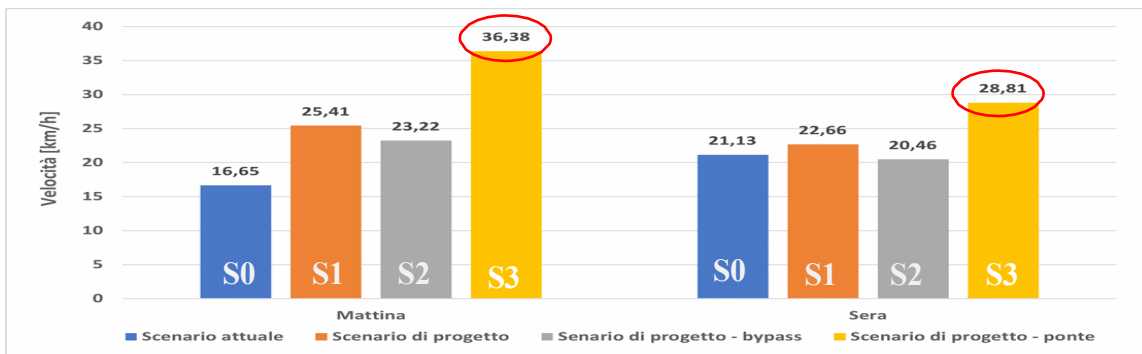


Planimetria dello Scenario di progetto (allargamento ponte) – S3

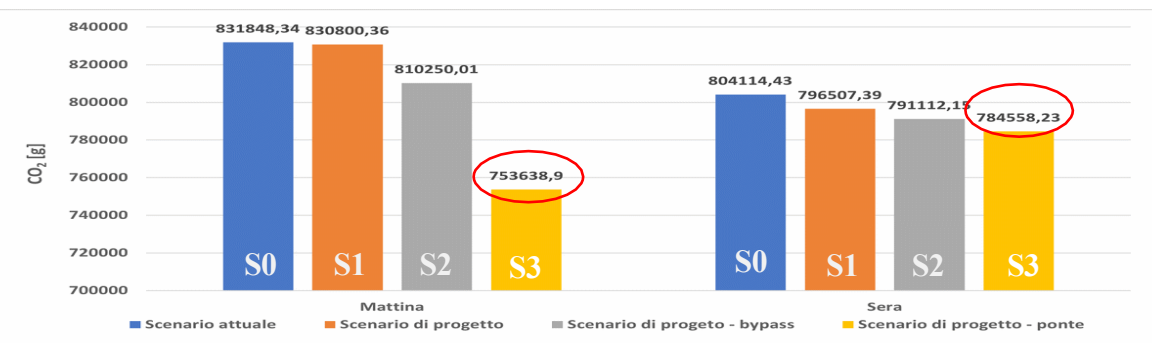
Qualità della circolazione



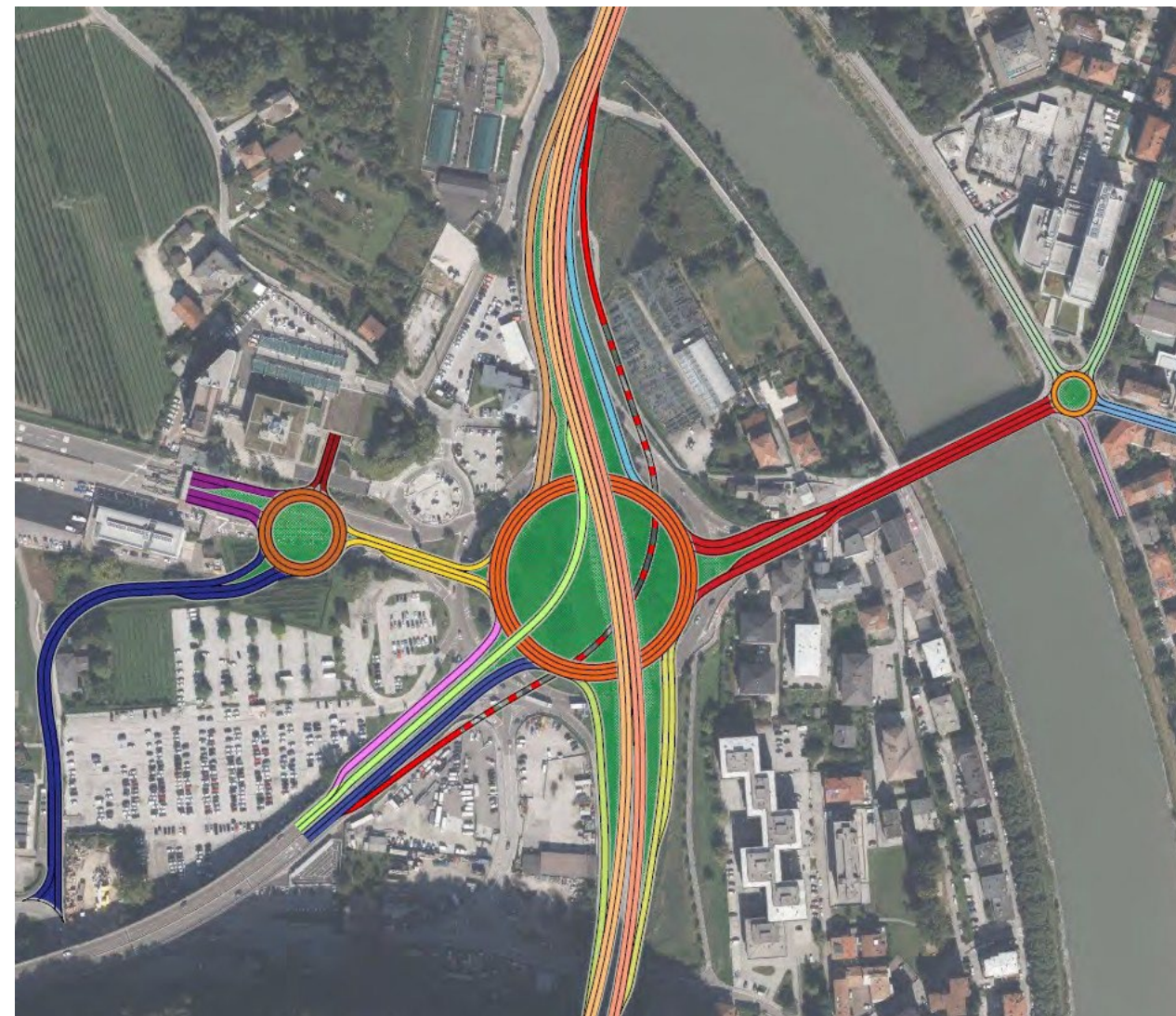
Confronto della densità veicolare totale per i 4 scenari analizzati



Confronto delle velocità medie totali per i 4 scenari analizzati



Confronto delle emissioni totali di CO₂



Planimetria dello Scenario di progetto (allargamento ponte) – S3

Livelli di servizio (LoS)



L.O.S.	RITARDO MEDIO
A	0 ÷ 10 (sec/veic)
B	10 ÷ 15 (sec/veic)
C	15 ÷ 25 (sec/veic)
D	25 ÷ 35 (sec/veic)
E	35 ÷ 50 (sec/veic)
F	> 50 (sec/veic)

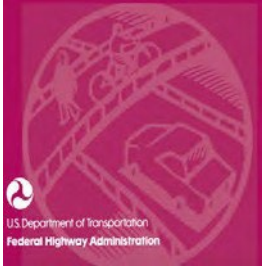
Denominazione	S0	S1	S2	S3
	Scenario attuale	Scenario di progetto	Scenario di progetto - bypass	Scenario di progetto - ponte
Ingresso 1	F	C	B	D
Ingresso 2	A	A	A	A
Ingresso 3	F	F	C	D
Ingresso 4	F	A	A	A
Ingresso 5	F	F	F	C
Ingresso 6	F	A	A	A
Ingresso 7	F	-	-	-
Ramo di collegamento	-	A	A	A

Confronto Livelli di Servizio degli ingressi per l'ora di punta della mattina 8:00-9:00

Denominazione	S0	S1	S2	S3
	Scenario attuale	Scenario di progetto	Scenario di progetto - bypass	Scenario di progetto - ponte
Ingresso 1	F	D	D	F
Ingresso 2	A	A	A	A
Ingresso 3	F	F	F	D
Ingresso 4	F	F	F	A
Ingresso 5	F	C	C	C
Ingresso 6	D	A	A	A
Ingresso 7	F	-	-	-
Ramo di collegamento	-	F	F	B

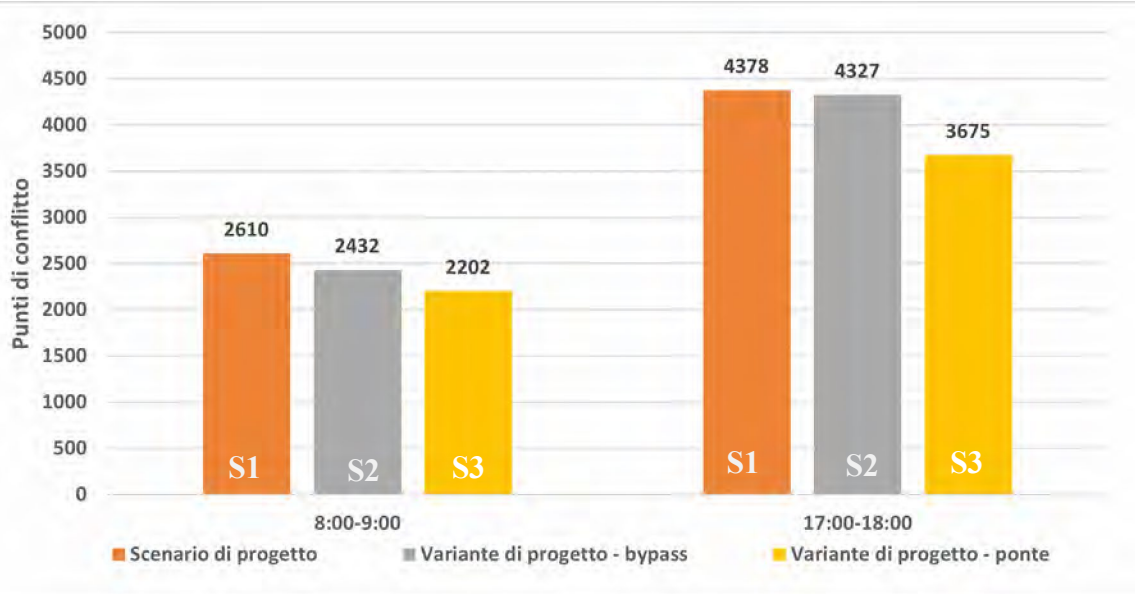
Confronto Livelli di Servizio degli ingressi per l'ora di punta della sera 17:00-18:00

Analisi di sicurezza



misure surrogate di sicurezza

Software SSAM (Surrogate Safety Assessment Model).



Confronto potenziali punti di conflitto dei tra scenari di progetto

	S1	S2	S3
Tipologia di conflitto	Scenario di progetto	Scenario di progetto - bypass	Scenario di progetto - ponte
Crossing	95	77	6
Rear End	1922	1784	1749
Lane change	593	571	447
Totale	2610	2432	2202

Numerosità dei conflitti veicolari durante l'ora di punta della mattina 8:00-9:00

	S1	S2	S3
Tipologia di conflitto	Scenario di progetto	Scenario di progetto - bypass	Scenario di progetto - ponte
Crossing	142	164	51
Rear End	3390	3302	2851
Lane change	846	861	773
Totale	4378	4327	3675

Numerosità dei conflitti veicolari durante l'ora di punta della sera 17:00-18:00

La progettazione di opere di adeguamento di infrastrutture stradali esistenti è un'attività professionale sempre più altamente specialistica

La sentenza n. 1255/2021 del Consiglio di Stato ribadisce la piena ed esclusiva competenza professionale degli Ingegneri sulla progettazione delle opere viarie.

<https://ordineingegnerivenezia.org/>



**OPERE STRADALI
INGEGNERI**
**Consiglio di Stato
Sentenza n. 1255/2021**

I

CONSIGLIO NAZIONALE
DEGLI INGEGNERI



Con il contributo incondizionato di:



La progettazione di opere di adeguamento di infrastrutture stradali esistenti

Quadro normativo e scelte tecniche
Parte 1: Ambito Extraurbano

Grazie per l'attenzione

Marco Guerrieri

Dipartimento Ingegneria Civile Ambientale e Meccanica
Università di Trento
marco.guerrieri@unitn.it