



COMUNE DI SAN GIULIANO

Provincia di Pisa

Progetto Unitario Convenzionato

(ai sensi art.121 L.R.65/2014)

COMPARTO 3 UTOE 33

Via Fabbricone Pontecorvo, Località La Fontina

PROPRIETA'

SADIEMA S.R.L.

P.Iva 01944970506

Via Carducci, 62 - San Giuliano Terme (PI)

PROGETTO

SEVEN ARCHITETTURA

P.Iva 01965000506

Via SalvoD'Acquisto, 44/d - Pontedera (PI)

Tel. 0587 59545

Architetto Fabrizio Cerrai

STUDIO TECNICO PISTELLI ED ASSOCIATI

P.Iva 01701970509

V.lo Vecchio Ospizio, 2/A - San Giuliano Terme (PI)

Tel. 050 818603

Geometra Gianluca Pistelli

**ANALISI DI FATTIBILITA' DI UN INCROCIO
A ROTATORIA TRA LA VIABILITA' DI ACCESSO
AL NUOVO PARCO COMMERCIALE E
VIA FABBRICONE - PONTECORVO**



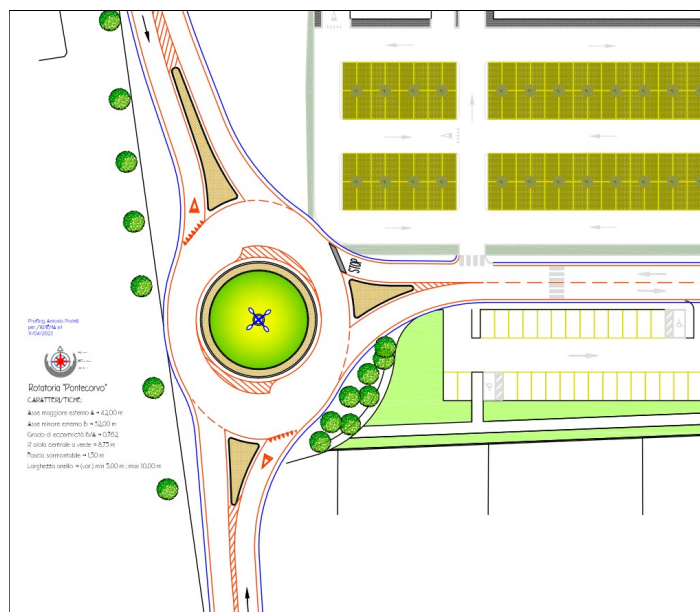
COMUNE DI SAN GIULIANO TERME

**Piano Operativo Comunale
Comparto 3PP UTOE 33**

**ANALISI DI FATTIBILITÀ DI UN INCROCIO A ROTATORIA TRA LA
VIABILITÀ DI ACCESSO AL NUOVO PARCO COMMERCIALE E VIA
FABBRICONE-PONTECORVO**

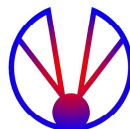
Rotatoria non-convenzionale su Via Fabbricone-
Pontecorvo: geometria ottimale e verifiche

RELAZIONE TECNICA



Prof. Ing. Antonio PRATELLI

Professore di Ingegneria dei Trasporti nell'Università di Pisa
Eminent Scientist medal del Wessex Institute of Technology di Southampton (UK)



NEPEA Servizi d'Ingegneria s.r.l.

Sede legale:

Via Teresa Bandettini, 154 - s. Concordio in Contrada
55100 LUCCA

A. Prатели
ORDINE DEGLI INGEGNERI
DI LUCCA
Dott. Ing.
ANTONIO
PRATELLI
n. 728

– 30 maggio 2022 –

Indice

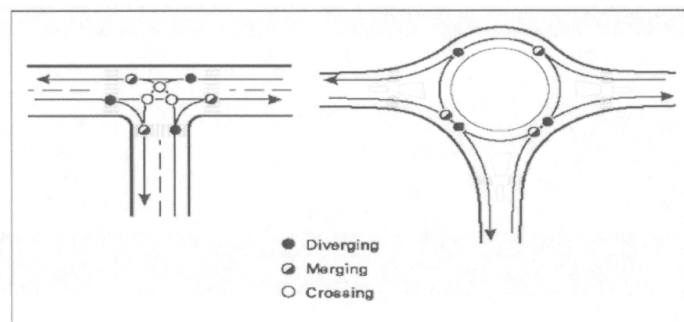
1. INQUADRAMENTO
2. NORMATIVE E BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO
3. DEFINIZIONE DELLA GEOMETRIA
4. VERIFICA DI DEFLESSIONE DELLE TRAIETTORIE
5. VERIFICA DELLA VISIBILITÀ
6. CAPACITÀ E LIVELLO DI SERVIZIO
7. VERIFICA DELLA PERCORRIBILITÀ DELLE MANOVRE
8. RISPONDENZA A REQUISITI DI SICUREZZA E CONCLUSIONI

1. INQUADRAMENTO

Il progetto del nuovo Parco Commerciale presentato dalla Soc. Sadiema srl prevede che nell'area di sua proprietà, situata lungo il lato sud della Via Pontecorvo, si realizzino tre medie strutture di vendita, preventivamente destinate a Supermercato Discount, Pet Store per animali da compagnia e Superstore di prodotti per igiene e bellezza; ci sarà inoltre un ristorante Fast Food.

La stima del traffico generato dalle attività di previsto insediamento nel progetto del nuovo Parco Commerciale del Comparto 3PP UTOE 33, in fregio alla Via Fabbricone Pontecorvo, è già stata effettuata e presentata a suo tempo quale contributo specialistico richiesto dal Comune di San Giuliano Terme per la Conferenza di co-pianificazione per il Piano Operativo Comunale¹.

La possibilità di realizzare una rotatoria all'incrocio della Via Fabbricone Pontecorvo con la Viabilità di accesso del nuovo Parco Commerciale prende spunto infatti da due differenti obiettivi legati al traffico che presumibilmente verrà generato dalle attività di nuovo insediamento. Il primo obiettivo riguarda la sicurezza stradale, che la soluzione a rotatoria sarebbe notoriamente in grado di garantire in misura maggiore di qualsiasi altra soluzione alternativa a raso, per minor numero di punti di conflitto ed efficacia nella moderazione delle velocità.



Punti di conflitto in una intersezione a tre rami: soluzione a raso (9), rotatoria (6).

Difatti, se per il caso in esame del punto d'incrocio tra Via Pontecorvo e la viabilità d'accesso al nuovo Parco Commerciale si adottasse uno schema a tre rami con

¹ Comune di San Giuliano Terme, Piano Operativo Comunale, Comparto 3PP UTOE 33 (Allegato alla documentazione di verifiche richieste secondo le disposizioni art. 26 Legge Regionale Toscana n.65/2014 – rich. Sadiema srl), “*Stima dei flussi di traffico generato e degli effetti attesi sulla viabilità afferente dalla realizzazione di un Parco Commerciale*”, 24/03/2021.

sistemazione a raso, si avrebbero 9 punti di conflitto delle diverse correnti di traffico (3 punti di diversione; 3 punti di immissione; 3 punti di attraversamento); se invece si scegliesse una soluzione geometrica a rotatoria allora il numero di punti di conflitto si ridurrebbe a 6 (3 punti di diversione; 3 punti di immissione). Tutta la letteratura tecnica di settore attesta che la riduzione dei punti di conflitto risulta sempre uno dei fattori essenziali nel diminuire la probabilità di incidente in una qualunque intersezione stradale.

Il secondo obiettivo è correlato alle migliori prestazioni, intese in termini di livello di servizio, che una soluzione a rotatoria può offrire rispetto ad altre tipologie d'incrocio, soprattutto per i tempi di attesa molto più contenuti e code più corte che, a parità di portate di traffico in gioco, si possono determinare sull'intersezione nei diversi periodi di tempo.

Dunque, può sembrare chiaro che una possibile soluzione a rotatoria dell'incrocio in esame, si presenta con vantaggi attesi, tanto per la sicurezza stradale quanto nella qualità delle condizioni di circolazione.

Tuttavia, nel caso specifico ricorre più di un vincolo, principalmente quello legato alla disponibilità delle aree e quindi ad espropri da evitare, comunque.

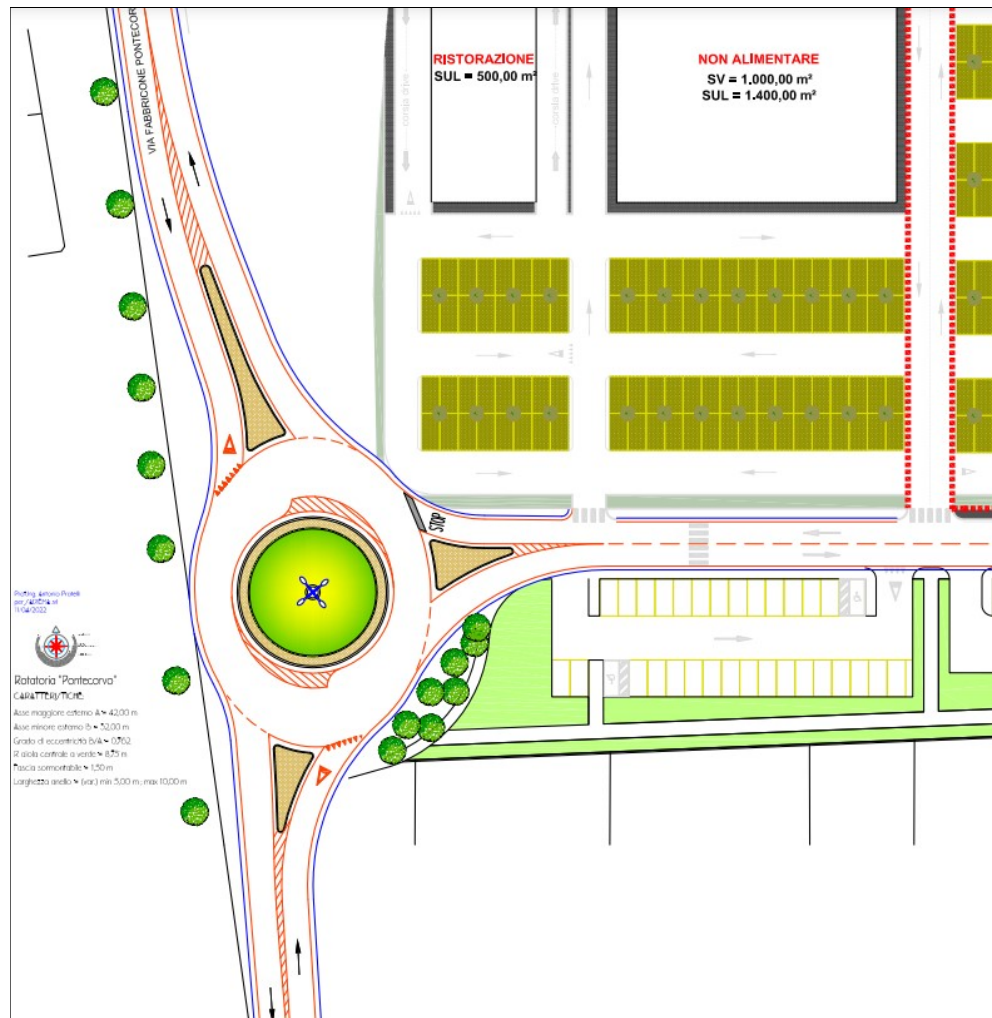
La presenza di questi e anche di altri vincoli porta alla necessità di valutare, proprio per il caso dell'incrocio in esame, una soluzione a rotatoria avente una forma geometrica alternativa a quella circolare, o tradizionale. Geometrie del genere sono dette di tipo “non-convenzionale”, secondo la definizione data dal DM n.1699 del 19/04/2006 e recante le Norme per le intersezioni stradali.

Queste soluzioni geometriche² a rotatoria “non-convenzionale” risultano in pratica comunque del tutto idonee a soddisfare le verifiche di sicurezza, come la deflessione delle traiettorie più veloci, sono inoltre in grado di offrire buoni requisiti di prestazione, come la capacità e livello di servizio della rotatoria. In ultimo, il ricorso ad una forma geometrica “non-convenzionale” della rotatoria si dimostra in molti casi più che adatto ad assolvere la percorribilità delle manovre di svolta da

² Pratelli A. et al. (2017) “Conventional and unconventional roundabouts: A review of geometric features and capacity models”, *International Journal of Transport Development and Integration*, n. 2, Vol. 3, pp. 225-239.

parte dei veicoli pesanti a fronte di velocità di attraversamento del nodo ipotizzate incrementando, qualora necessario, la larghezza delle banchine³.

Qui a seguire, si trova dapprima la definizione delle caratteristiche geometriche della rotatoria, poi sono riportati i risultati delle verifiche di capacità, prestazione e sicurezza.



Layout della soluzione a rotatoria "non-convenzionale" dell'incrocio tra la viabilità d'accesso al nuovo Parco Commerciale e Via Fabbricone-Pontecorvo.

³ Pratelli A. et al. (2014) "Unconventional roundabout geometries for large vehicles or space constraints". in *Proceedings of TRB Fourth International Conference on Roundabouts* pp.1-17, Seattle.

2. NORMATIVE E BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO

- Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, DM 19 Aprile 2006 n.1699, Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali.
- Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, D.M. n. 6792 del 5.11.2001, Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade.
- Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, D.Lgs. 22.04.2004, Norme di riferimento per l'adeguamento delle strade esistenti (G.U. n.147 del 25/06/2004).
- CNR Consiglio Nazionale delle Ricerche, "Studio a carattere prenormativo. Norme sulle caratteristiche funzionali e geometriche delle intersezioni stradali", Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Ispettorato Generale per la Circolazione e la Sicurezza Stradale, Roma 2001.
- VSS (2000) *Carrefours Giratoires*, Norme Suisse n. 640 263, Zurich.
- SETRA – Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes (1987) *La capacité des carrefours giratoires interurbains, premiers résultats*, Note d'Information n. 44, Bagneux.
- NCHRP Report 672 (2010) *Roundabouts: An Informational Guide* – Second Edition, Transportation Research Board, Washington DC.
- HMSO Department of Transport (1984) *The geometric design of roundabouts*, Departmental Standards TD 16/84 and TA 42/84, HMSO, London.
- Federal Highway Administration (2000), *Roundabouts: an informational guide*, Report n. FHWA-RD-00-067, Springfield.
- Gazzarri A., Pratelli A., Martello M. and Souleyrette R.R. (2012) Estimation of gap acceptance parameters for HCM2010 roundabout capacity model applications, in Longhurst J. and Brebbia C. (Eds.), "WIT Transactions on the Built Environment". Vol. 128, pp. 309-320.
- Maternini G. e Zavanella L. (a cura di) *Intersezioni stradali: le normative Europee*. EGAF, Forlì 2006.
- Mathew T. and Rao K. (2007) *Introduction to transportation engineering*. NPTEL, Chpt. 40 "Traffic rotaries".
- Mahajan S.K., Umadekar A. and Jethwa K. (2013) New concept of traffic rotary design at road intersections, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Vol. 96, pp. 2791-2799.
- Pratelli A., *Rotatorie di Nuova Generazione*, TEP Tipografia Editrice Pisana, Pisa 2004.
- Pratelli A. (2006) Design of modern roundabouts in urban traffic systems, in Brebbia (ed.) "Urban Transport XI", WIT Press, Ashurst Lodge (UK), pp. 83-93.

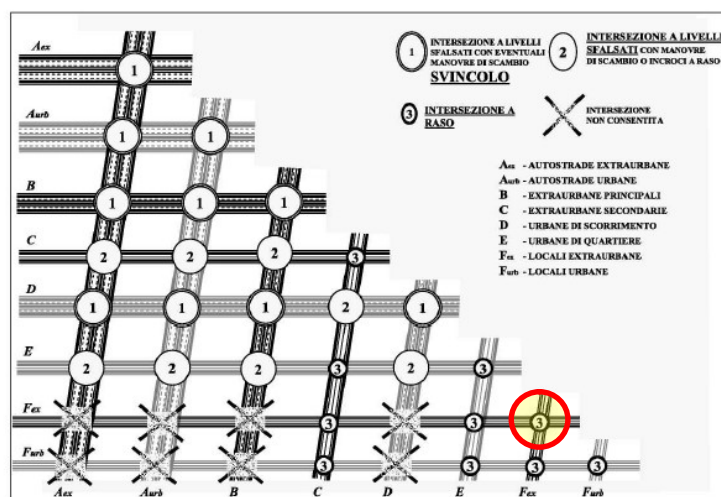
- Pratelli A., Gazzarri A., Souleyrette R.R. and Russel E. (2014) Unconventional roundabout geometries for large vehicles or space constraints. In *Proceedings of TRB Fourth International Conference on Roundabouts*, pp.1-17, Seattle.
- Pratelli A., Casella S., Farina A. and Lupi M. (2017) "Conventional and unconventional roundabouts: A review of geometric features and capacity models", *International Journal of Transport Development and Integration*, n. 2, Vol. 3, pp. 225-239.
- Pratelli A. e Iannelli C. (2018) "*Esercitazioni di Tecnica del Traffico*", TEP Tipografia Editrice Pisana.
- Pratelli A., Sordi L. and Farina A. (2021) "Methods to generate an expected turning traffic flows matrix for road junction analysis", *International Journal of Transportation Development and Integration*, Vol. 5, n. 1, pp. 1–14.
- Salter R.J., *Highway traffic analysis and design*. 2nd Edition, MacMillan, 1989.
- Suisse Norme SN 640263 "Carrefours Giratoires", VSS, Zurich 2000
- Wu N. and Lemke K. (2016) "The new procedures for diverge, merge, and small weaving segments in the new version of German Highway Capacity Manual (HBS 2015)", *Transportation Research Procedia*, pp. 366–377.

3. DEFINIZIONE DELLA GEOMETRIA

3.1. Compatibilità Normativa

La Via Fabbricone Pontecorvo si sviluppa per una parte nel Comune di San Giuliano e per una parte nel Comune di Pisa, che nel PGTU⁴ la classifica come strada extraurbana. La Via Fabbricone Pontecorvo ha una sezione geometrica della carreggiata a due corsie, una per senso di marcia, di larghezza di 6,50 m circa che è affiancata da banchine non pavimentate di 1,00 m e cigli inerbiti, senza alcuna protezione con barriere guardavia e sosta ammessa in piazzole ai lati della carreggiata, senza marciapiedi. Di conseguenza, per caratteristiche, geometria e funzionalità, la Via Fabbricone Pontecorvo è assimilabile ad una strada extraurbana locale di categoria F_{ex} , o F2 (DM n.6792/2001).

Al tempo stesso, la via di accesso al nuovo Parco Commerciale ha le caratteristiche di una strada locale di categoria F2. Pertanto, le due strade confluenti nel nodo d'incrocio in esame sono entrambe di categoria F2, o F_{ex} ; per questo nodo d'incrocio, stando alla Figura 3 delle Norme Tecniche del DM n.1699/2006, la tipologia ammessa è quella a raso in cui è ricompresa anche la soluzione a rotatoria.



Organizzazione delle reti stradali e definizione intersezioni ammesse (Figura 3, DM n.1699/2006).

⁴ Classificazione funzionale delle strade tratta dal Piano Generale del Traffico Urbano del Comune di Pisa (<https://www.comune.pisa.it/doc/sit-pisa/p-traffico/index.htm>).

Il tipo di soluzione non-convenzionale scelta per l'incrocio in esame è quella conosciuta come a “*Doppia Geometria*”, per il fatto che il bordo esterno della rotatoria è una ellisse mentre quello interno è una circonferenza⁵. Questa combinazione geometrica si dimostra particolarmente adatta a risolvere situazioni di incroci a 3 rami, fortemente vincolate, in cui è praticamente impossibile l'apporto di deviazioni effettive e consistenti degli assi delle strade convergenti nell'incrocio. La “doppia geometria” comporta infatti sempre un anello a sezione variabile che permette di compensare in termini di deflessione delle traiettorie alla mancanza di deviazione degli assi stradali convergenti nel nodo. Detto in altre parole, la “doppia geometria” si dimostra particolarmente adatta a risolvere quelle situazioni in cui non si ha la coincidenza, anche approssimativa, del centro della rotatoria col centro d'incontro degli assi delle strade convergenti. Con uno schema a “doppia geometria”, l'asse minore dell'ellisse del margine esterno può essere allineato in modo tale che lo sfasamento dell'asse centrale possa essere bilanciato e comunque ridotto. L'allineamento porta in questo modo a un aumento della deflessione con l'ottenimento di un valore del raggio che al tempo stesso garantisce una curvatura sufficiente all'entrata.

3.2. Caratteristiche

Le caratteristiche geometriche principali della soluzione con rotatoria a “doppia geometria” messa a punto per il nodo d'incrocio tra Via Fabbricone-Pontecorvo e la via d'accesso al nuovo Parco Commerciale di San Giuliano Terme, sono le seguenti:

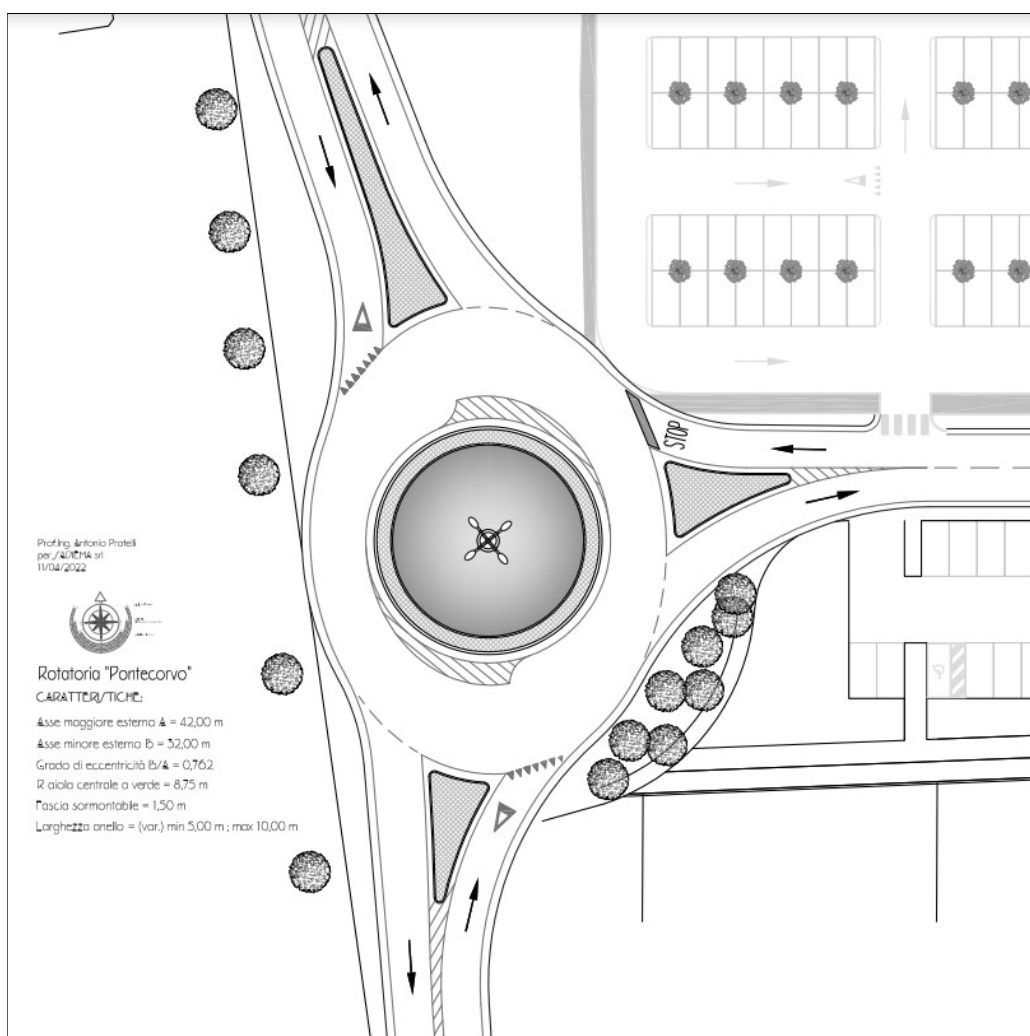
- Asse maggiore ellisse esterna A	42,00 m
- Asse minore ellisse esterna B	32,00 m
- Rapporto assi: B/A (limite inferiore ammissibile = 0,75 ⁶)	0,762
- Raggio dell'aiola circolare a verde centrale interna R_c	8,75 m
- Larghezza fascia sormontabile L_s	1,50 m
- Larghezza minima corsia anello $W_{a_{min}}$	5,00 m
- Larghezza massima corsia anello $W_{a_{max}}$	10,00 m

⁵ Pratelli A., et al. (2014) *Unconventional roundabout geometries for large vehicles or space constraints*. in Proceedings of TRB Fourth International Conference on Roundabouts, pp.1-17, Seattle (USA).

⁶ VSS (1991) “Guide Suisse des Giratoires”, *Chapitre 5.3.* - Il rapporto tra la dimensione dell'asse minore e quella dell'asse maggiore fornisce un valore rappresentativo dello schiacciamento dell'ellisse; più il valore di questo rapporto è vicino all'unità e più l'ellisse si avvicina ad un cerchio.

Inoltre, per tutti e tre i rami della rotatoria sono previste in progetto delle isole triangolari spartitraffico di tipo rialzato e permanente (Art. 176 NCdS), con funzione di canalizzazione delle correnti di traffico.

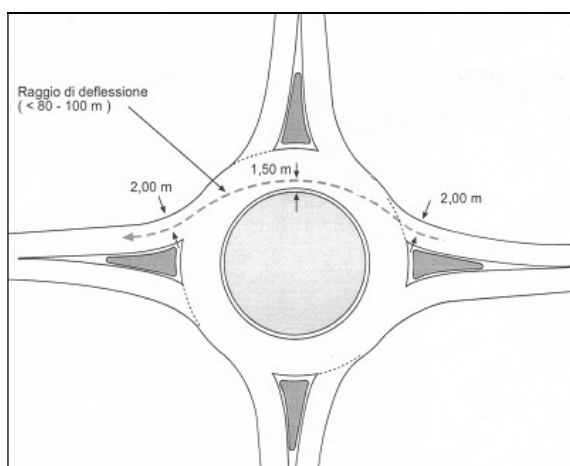
Le isole triangolari spartitraffico in progetto sono quindi opportunamente delimitate con segnaletica orizzontale specifica ed effettivamente non transitabili; su di esse è possibile l'installazione di segnaletica verticale (Artt. 150 e 177 NCdS).



4. VERIFICA DI DEFLESSIONE DELLE TRAIETTORIE

Ai fini della sicurezza della circolazione è fondamentale che una rotatoria riesca a deflettere le traiettorie secanti più veloci, obbligando così i conducenti a indirizzare i loro veicoli su dei percorsi aventi dei raggi di curvatura contenuti, tali da essere in grado di indurre una corrispettiva risposta di moderazione delle velocità nella condotta di guida da mantenere in generale durante l'attraversamento dell'incrocio.

Questa verifica si trova codificata nello Studio Prenormativo CNR/2001⁷ e per le rotatorie in campo extraurbano, come appunto quella qui in questione, stabilisce che il raggio di curvatura R_s della deflessione della traiettoria secante risulti inferiore a 80 m, ovvero $R_s \leq 80$ m.



Studio CNR/2001: Indicazioni per la costruzione grafica per la verifica della deflessione delle traiettorie secanti più veloci dei veicoli in rotatoria; coloro che possono essere interessati alla verifica della traiettoria tra una entrata e l'uscita immediatamente successiva sono rimandati alla nota qui a piè di pagina.

Tale verifica di deflessione è finalizzata al fatto che la geometria complessiva impedisca valori cinematici superiori ai limiti usualmente assunti a base di progetto, e cioè con velocità massime dell'ordine dei 40 km/h per le manovre più dirette. In particolare, è così definita deflessione di una traiettoria il raggio dell'arco di cerchio che passa a 1,5 m dal bordo dell'isola centrale e a 2,0 m dal margine delle corsie di entrata e di uscita; tale raggio R_s non deve superare i valori di

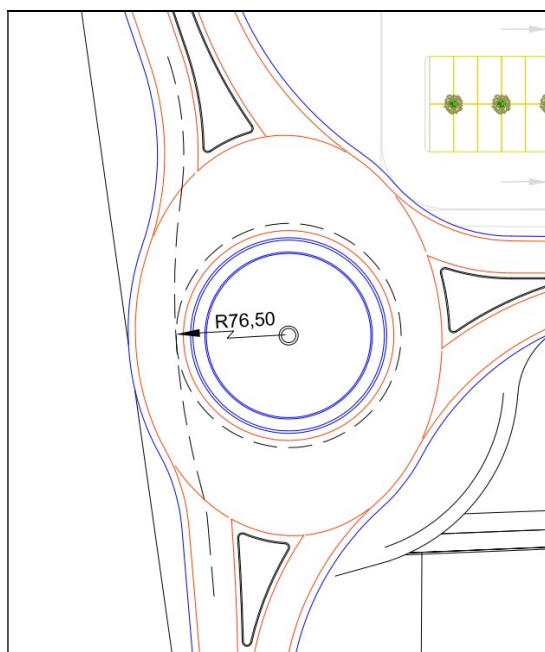
⁷ M.I.T., Consiglio Nazionale delle Ricerche, "Studio a carattere pre-normativo per le Norme sulle Caratteristiche Funzionali e Geometriche delle Intersezioni Stradali", CNR, Roma, dicembre 2001. In proposito si fa notare che la deflessione delle traiettorie secanti è l'unica verifica possibile con le indicazioni contenute nello Studio CNR/2001. Detto Studio suggerisce anche per ogni entrata la contestuale verifica della curvatura della traiettoria curvilinea uscente sul ramo immediatamente successivo all'entrata stessa. Le istruzioni per la costruzione grafica di questa traiettoria sono riportate dallo Studio CNR2001 in una apposita figura. Tuttavia ciò è del tutto inutile, dato che infatti per applicare alla lettera questa verifica come prescritta in CNR/2001 occorrerebbe accettare come valida e indiscutibile la predetta costruzione in cui si pretende di identificare in modo univoco una circonferenza, dandone però a riferimento 2 punti soltanto, mentre invece di punti di riferimento del genere ne servono 3, almeno e da sempre.

80÷100 m (con 80 m che vale per le grandi rotatorie con $D > 40$ m e tipiche dell'ambito extraurbano, mentre 100 m si applica alle rotatorie compatte con D compreso tra 25 e 40 m e molto frequenti in ambito urbano).

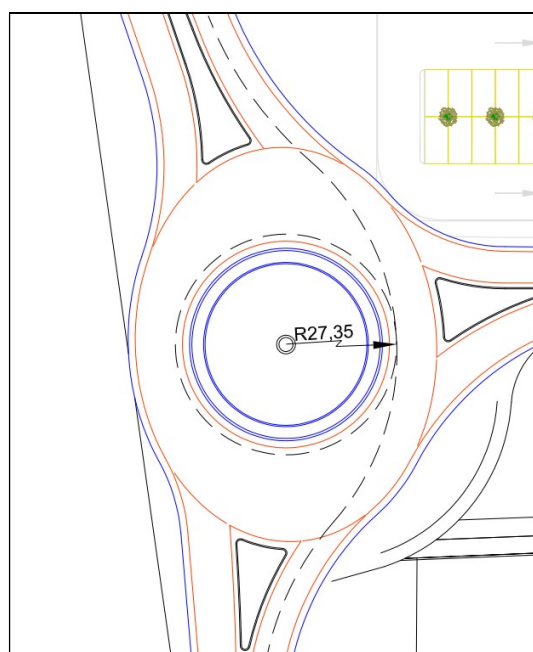
Nel caso specifico della rotatoria proposta su Via Pontecorvo, come si può vedere dalla figura sotto riportata e riferita alla verifica costruita sul layout planimetrico della rotatoria in questione, la traiettoria dei veicoli che attraversano l'incrocio proseguendo a dritto su Via Pontecorvo, direzione E/W ed in quella W/E opposta, che in questo caso sono le direzioni più veloci, si ottiene:

<i>Rotatoria Via Pontecorvo-Via Traversa P.C. Traiettoria secante (orientamento)</i>	Raggio deflessione R_s (m)	Verifica CNR/2001: $R_s \leq 80$ m
Traiettoria Via Pontecorvo (or. N/S)	76,50	Si
Traiettoria Via Pontecorvo (or. S/N)	27,35	Si

e quindi in entrambi i casi si ha un valore di R_s che soddisfa pienamente la verifica CNR/2001 e che quindi ostacola la possibilità di attingere degli alti valori della velocità di percorrenza in rotatoria grazie ad un efficace effetto di deflessione delle traiettorie dei veicoli, a tutto vantaggio della sicurezza della circolazione.



Verifica deflessione traiettorie: or. Via Pontecorvo Nord – Via Pontecorvo Sud (verificato).

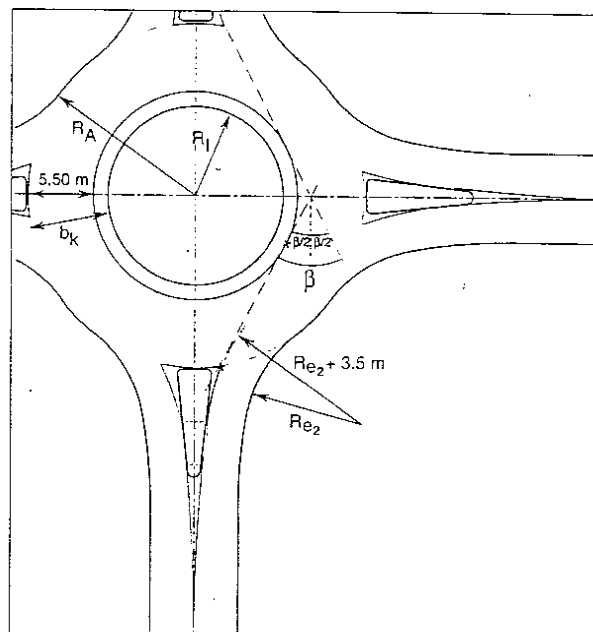


Verifica deflessione traiettorie: or. Via Pontecorvo Sud – Via Pontecorvo Nord (verificato).

4.1. Verifica dell'angolo di deviazione

Per la verifica della deflessione delle traiettorie più veloci si dispone anche del metodo indicato dal punto 4.5.3 del DM n.1699/2006, che tuttavia è notoriamente sconsigliato vi è riportata una errata interpretazione della valutazione del valore della deflessione per mezzo del cosiddetto angolo di deviazione, o angolo β , che dovrebbe essere almeno di 45° .

Infatti, sia la costruzione geometrica, che il DM citato riporta nella Fig. 11 del punto 5, sia le indicazioni dello stesso punto 5 sono assolutamente sbagliate e copiate in modo parziale e maldestro, nonché tradotte ancor peggio, dalla Normativa Svizzera: Suisse Norme SN 640263 “Carrefours Giratoires”, VSS, Zurich 2000, che difatti esclude in maniera tassativa dal campo di applicazione della verifica dell'angolo di deviazione sia le rotatorie a 3 rami, sia quelle di diametro esterno inferiore ai 35 m.



Fall 2: Mit Innenring um die Mittelinsel
Cas 2: Avec anneau intérieur autour de l'îlot central

Figura 6 tratta dal punto 13 delle Norme Svizzere SN 640263 per la determinazione dell'angolo di deviazione nel caso in cui si abbia una fascia sormontabile attorno all'aiola centrale di una rotatoria a 4 rami, mentre quelle a 3 rami sono tassativamente escluse.

Queste due ultime raccomandazioni non sono state riprese nel DM n.1966/06, verosimilmente per superficialità oppure per scarsa dimestichezza linguistica, o forse per la concorrenza di entrambe.

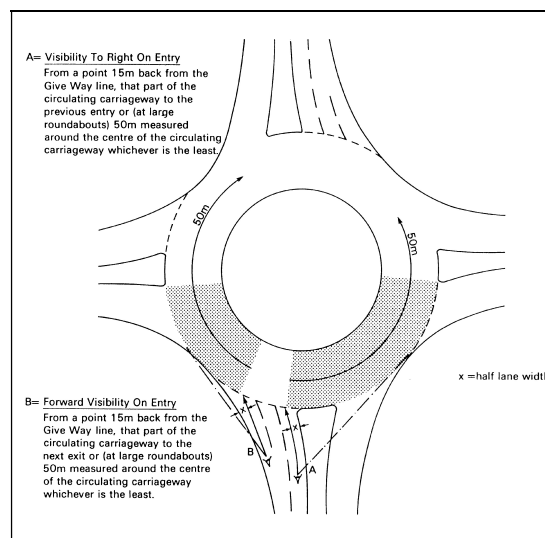
Sta di fatto che la rotatoria non convenzionale a doppia geometria di Via Pontecorvo, qui in esame, è a 3 rami e la media aritmetica tra le dimensioni degli assi dell'ellisse in cui la rotatoria è inscritta è di 37 m; pertanto non ricorrono affatto, nel caso specifico, le condizioni per condurre una qualsivoglia verifica corretta dell'angolo β di deviazione.

5. VERIFICA DELLA VISIBILITÀ

Per la verifica di visibilità della soluzione di progetto si segue il procedimento della Normativa Inglese⁸, che per un conducente in entrata in rotatoria prevede sia la verifica del campo di visibilità alla sua destra, sia la verifica del campo di visibilità a sua sinistra.

Al contrario, il DM n.1699/06 prescrive soltanto una verifica di visibilità a sinistra dell'entrata, risultando così insufficiente perché senza l'accertamento della visuale libera anche dalla parte a destra non vi è garanzia che il conducente riesca per tempo a rendersi conto di un ostacolo sulla carreggiata, magari perduto da un veicolo commerciale transitato da poco, oppure, ancora peggio, di un ciclista caduto a terra. Una verifica che richiede la visuale libera soltanto a sinistra dell'entrata è in pratica orientata soltanto a preservare il rispetto del diritto di precedenza per i veicoli circolanti nell'anello, ragion per cui è una verifica solo parziale e da considerare incompleta ai fini della sicurezza della circolazione.

Verifica delle distanze di visuale libera per la soluzione a rotatoria prospettata: entrata Nord ed entrata Sud era in una rotatoria prescritte dalla Normativa Inglese⁷ (il riferimento è ovviamente da traslare dalla regola della “mano sinistra” a quella della “mano destra”).



I campi di visuale libera, che il conducente di un veicolo in approccio all'entrata deve avere ad una distanza di 15 m dalla linea d'arresto, sono determinati in ragione del fatto che al conducente devono essere visibili sia l'entrata precedente che l'uscita successiva o, in alternativa, un settore di anello di almeno 50 m di

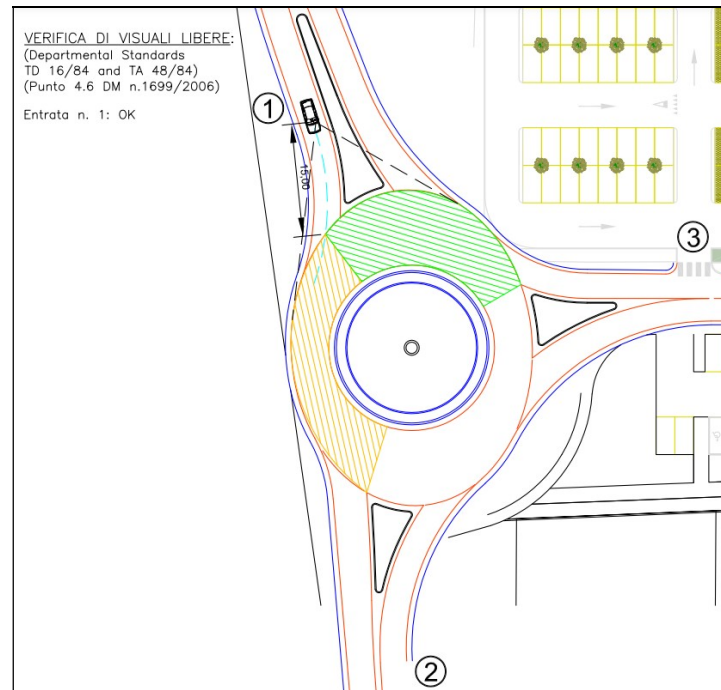
⁸ HMSO - Department of Transport, "The geometric design of roundabouts", Departmental Standards TD 16/84 and TA 42/84, London (UK), 1984.

sviluppo, tanto alla sua destra quanto alla sua sinistra. Più precisamente, a 15 m dalla linea d'arresto sull'entrata il conducente non deve avere ostacoli per poter vedere:

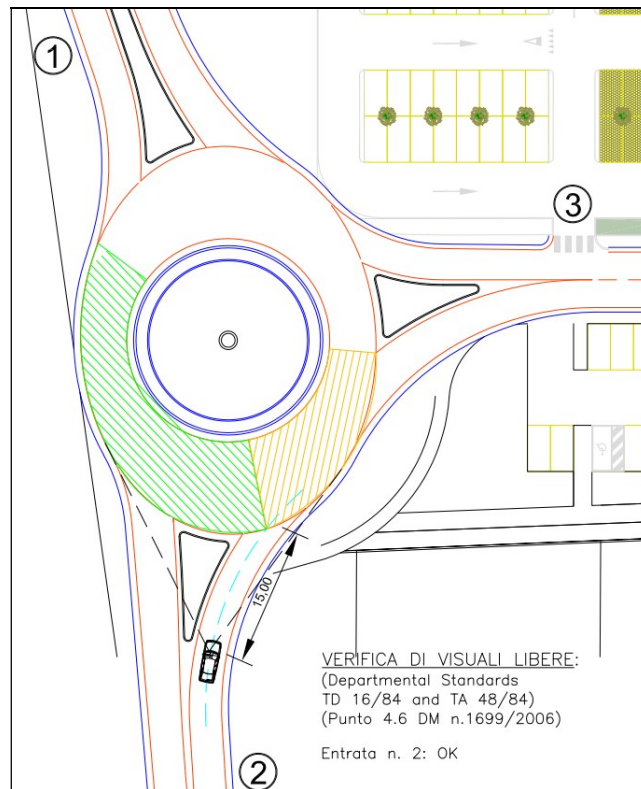
- a) alla sua sinistra, la porzione di anello fino all'entrata precedente in cui ci possono essere veicoli ai quali deve dare la precedenza; oppure, nel caso di grandi rotatorie, un tratto di anello dello sviluppo di 50 m misurati sulla circonferenza di mezzeria, se inferiore alla porzione precedente;
- b) alla sua destra, la porzione di anello fino all'uscita successiva in cui ci possono essere veicoli fermi in attesa; oppure, nel caso di grandi rotatorie, un tratto di anello dello sviluppo di 50 m misurati sulla circonferenza di mezzeria, se inferiore alla porzione precedente.

La verifica di visibilità secondo la Normativa Inglese è più completa ed appropriata e comunque anche comprensiva di quella parziale suggerita dal DM 1699/2006.

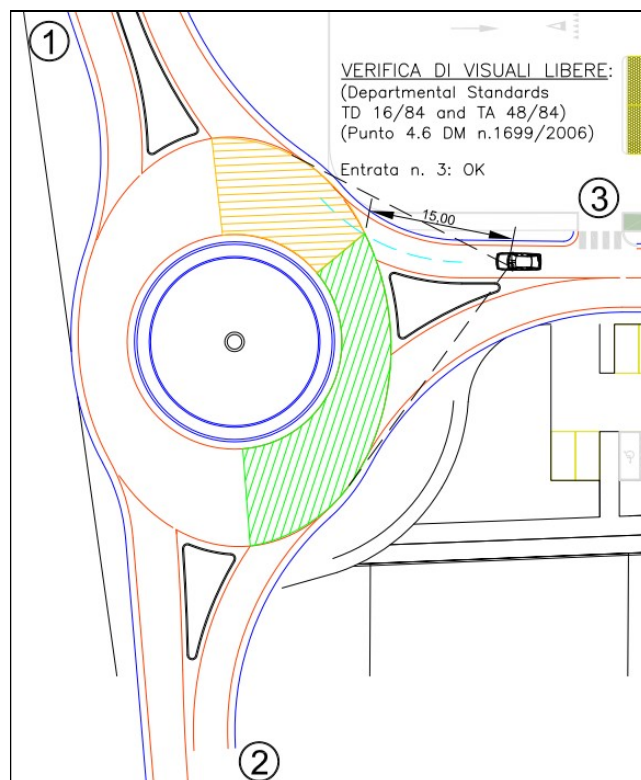
Le verifiche di visibilità così condotte per ciascuna delle tre entrate della soluzione a rotatoria qui in esame per l'incrocio tra Via Pontecorvo e la Via Traversa del nuovo Parco Commerciale risultano pienamente soddisfatte, come è illustrato in dettaglio nelle figure che seguono.



Verifica delle distanze di visuale libera per la rotatoria di Via Pontecorvo: entrata Via Pontecorvo Nord.



Verifica delle distanze di visuale libera per la rotatoria di Via Pontecorvo: entrata Via Pontecorvo Sud.

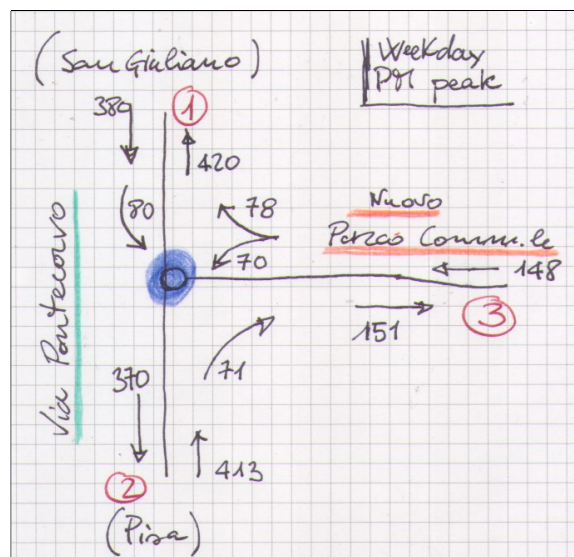


Verifica delle distanze di visuale libera per la rotatoria di Via Pontecorvo: entrata Via Traversa nuovo Parco Commerciale

6. CAPACITÀ E LIVELLO DI SERVIZIO

6.1. Traffico dell'ora di progetto

Per quanto riguarda la rotatoria all'intersezione tra Via Pontecorvo e la Via Traversa del nuovo Parco Commerciale di San Giuliano T.me, di cui viene valutata la proposta di una soluzione a “doppia geometria”, si effettuano i calcoli di capacità e delle prestazioni della rotatoria rispetto ad uno scenario di traffico di progetto. Questo scenario si localizza nell'ora di punta del pomeriggio del giorno feriale (weekday PM peak), dalle ore 17:30 alle 18:30 ed è stato determinato partendo dai dati di traffico rilevati dalla Direzione Mobilità del Comune di Pisa aggiornati all'anno 2019, ultimo anno attendibile pre-Pandemia, mediante modelli matematici di previsione dell'evoluzione traffico sulle strade Nazionali⁹. Questi dati sono stati poi combinati con le stime del traffico generato dalle attività costituenti il nuovo Parco Commerciale e ottenute applicando il noto metodo dell'ITE¹⁰ dei fattori generativi del “Trip Generation Manual”. Il risultato raggiunto è illustrato nello schema della figura seguente, dove per l'ora di progetto sono indicati i valori delle portate delle diverse correnti veicolari che interessano l'incrocio in esame.



Schema dell'incrocio in esame con i diversi valori dei flussi di traffico dell'ora di progetto.

⁹ Elaborazione dal Progetto “Super” del PRA2020 dell'Università di Pisa del grafico dell'andamento della crescita del traffico sulle strade extraurbane tratto dal Rapporto Tecnico Gruppo SIAS, Steer Davies and Gleave, 2015.

¹⁰ ITE – Institute of Transportation Engineers, “Trip Generation Manual”, 10th Edition, Washington DC, 2017.

Per diretta conseguenza, allo schema di figura del nodo di incrocio in esame viene ad essere associata la matrice del carico di traffico $M_{o/d}$ che è appunto riferita alle portate di traffico dello scenario di traffico dell'ora di progetto:

$M_{o/d} (Q)$	1	2	3	Qe	
1	0	300	80	380	Via Pontecorvo N
2	342	0	71	413	Via Pontecorvo S
3	78	70	0	148	Via Traversa P.C.
Qu	420	370	151	941	Qe Tot. (veic/h)

6.2. Verifiche

La rotatoria prevista per l'incrocio di Via Pontecorvo è “a doppia geometria”, tipologia che non rientra tra quelle del punto 4.5.1 del DM 1699/2006 per cui viene classificata come rotatoria di tipo non-convenzionale che deve essere calcolata col “principio dei tronchi di scambio tra due bracci contigui”.

Perciò si applica il metodo del TRRL-Transport Road Research Laboratory¹¹, comunemente noto anche come “Metodo Inglese”, che consiste in una procedura di calcolo metodo di calcolo specifica per il dimensionamento e la verifica dei diversi singoli tratti tra entrate successive di una rotatoria e che sono intesi come dei corti tratti di scambio¹².

Mediante la formula:
$$Q_{\max} = \frac{Aw(1 + m/w)(1 - P/3)}{(1 + w/L)} \quad [\text{veic/h}]$$

si calcola infatti il valore della massima portata oraria Q_{\max} che può essere ospitata in un tratto di scambio e che, attraverso la costante¹³ $A = 354$, è funzione della larghezza media $m = (m_1 + m_2)/2$ in metri all'inizio del tratto di scambio, della lunghezza L in metri del tratto e dell'incidenza proporzionale P della corrente di intreccio $Q_I = (b+c)$ sul flusso di traffico totale $Q_T = (a+b+c+d)$ nel tratto stesso.

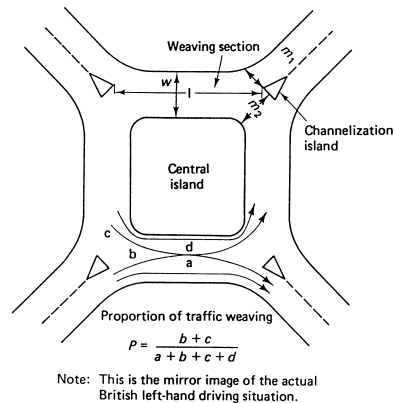
La P è definita dall'espressione:
$$P = \frac{Q_I}{Q_T} = \frac{b+c}{a+b+c+d} ;$$

¹¹ Mathew T. and Rao K. *Introduction to transportation engineering*. NPTEL, IIT Bombay 2007.

¹² Pratelli A., *Rotatorie di Nuova Generazione*, TEP Tipografia Editrice Pisana, Pisa 2004.

¹³ La formula sovrastima la capacità per rotatorie piccole o compatte e quando in tali casi si ha un valore della capacità calcolata inferiore ai 4000 veic/h allora il calcolo va ripetuto con una costante ridotta $A=302$.

con valori di a, b, c, d associati ai rispettivi flussi di traffico nel tratto di scambio secondo lo schema stabilito in figura:



I valori ottenuti dalla formula sono ovviamente i valori massimi delle capacità dei diversi tratti di scambio e che corrispondono a condizioni di congestione, con lunghe code e velocità di deflusso piuttosto modeste, attorno a 16 km/h.

La verifica è ottenuta ogni volta che per ciascun tratto di scambio risulta:

$$Q_T \leq \eta Q_{\max} \quad (\text{con } \eta = 0,80 \div 0,90)$$

La procedura del Metodo Inglese è stata quindi implementata su un foglio Excel e di seguito ci sono i risultati conseguiti per la soluzione in esame dell'incrocio di Via Pontecorvo con rotatoria non-convenzionale a "doppia-geometria".

Nelle condizioni di traffico dello scenario di progetto, risultano pienamente soddisfatte le verifiche di capacità e di livello di servizio:

- per ciascuno dei 3 tratti di scambio il valore Q_{ti} della portata complessiva è non superiore alla portata massima $Q_{\max,i}$ del rispettivo tratto di scambio:

Tratto 1-2: Via Pontecorvo Nord – Via Pontecorvo Sud

$$Q_{t1} = 450 \text{ veic/h} \leq 2697 \text{ veic/h} = Q_{\max,1}$$

Tratto 2-3: Via Pontecorvo Sud – Via Traversa

$$Q_{t2} = 493 \text{ veic/h} \leq 2388 \text{ veic/h} = Q_{\max,2}$$

Tratto 3-4: Via Traversa P.C. – Via Pontecorvo Nord:

$$Q_{t3} = 490 \text{ veic/h} \leq 2264 \text{ veic/h} = Q_{\max,3}$$

- per ciascuno dei 3 tratti di scambio della rotatoria a “doppia geometria” in esame il livello di servizio, o LoS, è risultante è sempre LoS “A”, ovvero il migliore possibile e quindi migliore del LoS limite di soglia accettabile, tanto per l’ambito urbano, LoS “D”, quanto per l’ambito extraurbano, LoS “C”.

Calcolo della capacità per rotatorie non-convenzionali (punto 4.5.1 del DM n.1699/2006)
METODO TRRL-Transportation Road Research Lab: Verifica per corti tratti di scambio

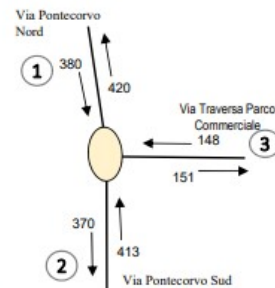
2022 - Incrocio Via Pontecorvo/Via Traversa nuovo Parco Comm.le (San Giuliano T.me, Pi)
Periodo di progetto: weekday pM peak (17:00 - 18:00); aggiornamento dati di traffico all'anno 2019

Nel nodo d'incrocio, di cui viene esaminata la fattibilità di una soluzione con rotatoria a “doppia-geometria”, di tipo non-convenzionale, convergono i tre assi di altrettante strade: Via Pontecorvo Nord (dir. San Giuliano T.me), Via Pontecorvo Sud (dir. La Fontina-Pisa) e Via Traversa nuovo Parco Commerciale.

La matrice Mo/d del periodo di progetto è stata determinata partendo da dati di rilievi di traffico della Direzione Mobilità del Comune di Pisa, poi aggiornati al 2019 (ultimo anno pre-pandemia) mediante modelli matematici di previsione dell'evoluzione traffico sulle strade Nazionali (Università di Pisa, per ANAS). La stima del traffico generato dalle attività di previsto insediamento nel nuovo Parco Commerciale è stata effettuata col noto metodo dei fattori di generazione del "Trip Generation Manual" dell'ITE.

Con PHF=0,95 adeguato al contesto urbano si sono definiti i flussi totali, entranti ed uscenti che sono stati ripartiti tra le diverse correnti veicolari in manovra dell'incrocio con un algoritmo euristico di assegnazione iterativa in base al rapporto gravitazionale tra gli elementi di Mo/d, fino alla convergenza della soluzione. (Pratelli A., Sordi L., Farina A. (2021). "Methods to generate an expected turning traffic flows matrix for road junction analysis". International Journal of Transport Development and Integration Vol. 5 n.1, pp. 1-14, 2021).

Mo/d (Q)	1	2	3	Qe	
1	0	300	80	380	Via Pontecorvo N
2	342	0	71	413	Via Pontecorvo S
3	78	70	0	148	Via Traversa P.C.
Qu	420	370	151	941	Qe Tot. (veic/h)



In accordo col DM 1699/2006, si applica il Metodo del TRRL determinando il valore della massima portata, Q_{max} , che può sopportare un tratto di scambio e che dipende dalla larghezza media all'inizio del tratto stesso, $m=(m_1+m_2)/2$, dalla lunghezza L del tratto, dalla proporzione dei flussi in scambio $Q_s=(b+c)$ rispetto al flusso totale, $P=(b+c)/(a+b+c+d)=Q_s/Q_t$.

La formula per il calcolo di Q_{max} è:

$$Q_{max}=(Aw(1+m/w))(1-P/3)/(1+w/L)$$

dove $A = 302$, costante (o 354 se Q_{max} maggiore di 4000 veic/h)
 w = larghezza in m della sezione stradale nel tratto di scambio

La verifica richiede $Q_t/Q_{max}<0,90$; ovvero che la portata di servizio a LoS "D", stimata in $0,90Q_{max}$, sia superiore al flusso totale nel tratto di scambio Q_t (per LoS "C" si considera la verifica a $0,80Q_{max}$).

Input:

Tratto	m	w	L	A	$Q_s=(b+c)$	Q_t	
1-2	6,10	5,60	34,00	302	150	450	Via Pontecorvo N
2-3	6,00	7,00	40,00	302	422	493	Via Pontecorvo S
3-1	4,45	7,50	17,00	302	141	490	Via Traversa P.C.

Risultati e verifiche:

Tratto	P	Qmax	Qt	Qt/Qmax	LoS "C"	LoS "D"	Verif.	
1-2	0,333	2697	450	0,17	<0,80	<0,90	SI	Via Pontecorvo N
2-3	0,856	2388	493	0,21	<0,80	<0,90	SI	Via Pontecorvo S
3-1	0,288	2264	490	0,22	<0,80	<0,90	SI	Via Traversa P.C.

Livelli di servizio di una strada in ambito urbano in funzione del grado di saturazione

(tratto da: Kadiyali L., "Traffic Engineering and Transportation Planning". Khanna Publishers, 2010).

LoS	Travel Speed (in K.P.H)	Volume/Capacity y Relativa
A	80	0.60
B	40	0.70
C	30	0.80
D	25	0.90
E	25	.95
F	15	>1

Livello di servizio, o LoS int, complessivo dell'intersezione a rotatoria

(media pesata dei gradi di saturazione dei diversi tratti con pesi pari alle Qt dei vari tratti).

Tratto	Qt/Qmax	Qt	xi*Qt _i	Xint
1-2	0,17	450	75,09	0,20
2-3	0,21	493	101,78	
3-1	0,22	490	106,05	
tot.		1433	tot. 282,93	LoS int = A

7. VERIFICA DELLA PERCORRIBILITÀ DELLE MANOVRE

Ci sono dei software specifici per la simulazione della fascia d'ingombro di un veicolo in svolta e della traiettoria seguita dalle sue ruote, che è di particolare utilità per la progettazione di intersezioni, di aree di parcheggio, di passi carrai e di altre infrastrutture stradali contraddistinte da spazi di manovra ristretti.

Uno di questi software è inglobato nel comando Vehicle Turning Simulation (Swept path analysis) contenuto nel toolbox *CadTools*¹⁴ che è stato sviluppato per applicazioni di ingegneria civile.

Questo comando è uno strumento semplice ma efficace per mettere in evidenza eventuali situazioni critiche dei veicoli in svolta. L'utilizzo del comando di *swept path analysis* prevede che l'analista abbia prima individuato con una polilinea la traiettoria dell'asse di sterzata del veicolo. Su questa polilinea si applica il comando e nel corso del calcolo vengono monitorati due angoli: l'angolo di svolta del veicolo e l'angolo tra due segmenti consecutivi della traiettoria. Se uno di questi angoli eccede il valore di input del angolo massimo tollerabile dal veicolo, il calcolo si arresta e la sagoma del veicolo viene rappresentata fino al punto di arresto. Ci sono una decina di veicoli disponibili di default in *CadTools*, quali autovetture, autobus, autocarri, autoarticolati ed autotreni. È tuttavia possibile definire un veicolo personale semplicemente con la modifica dei parametri di lunghezza, larghezza, passo, ecc., di un analogo veicolo di default.

Dal calcolo si ottengono i seguenti risultati in base ai quali si possono condurre le relative verifiche d'interesse:

- a) Fascia d'ingombro definita dalla cassa del veicolo (inviluppo);
- b) Fascia d'ingombro definita dalle ruote del veicolo;
- c) Fascia d'ingombro definita in caso di manovra inversa del veicolo (retromarcia).

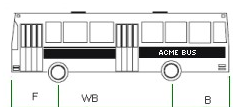
Il comando Vehicle Turning Simulation di *CadTools* è stato quindi utilizzato per effettuare le verifiche di percorribilità della soluzione a rotatoria proposta per l'incrocio tra Via Pontecorvo e la Via Traversa del nuovo Parco Commerciale, a

¹⁴ www.glamsen.se

San Giuliano T.me, per i seguenti tipi di veicoli test che possono essere considerati come critici, per tipologia e dimensioni, tra i vari veicoli che potrebbero effettivamente impegnare la rotatoria in esame:

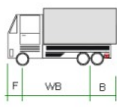
- Autobus (tipo TPL sub-urbano), di lunghezza $L = 14,00$ m;
- Autocarro 3 assi (tipo VVFF e Nettezza Urbana), di lunghezza $L = 12,00$ m;
- Autotreno ATP, di lunghezza $L = 18,75$ m.

Total Length: 14 meter



Width	#1	Lock to lock time (seconds)	7
Wheel	2,55	Max wheel turning angle (deg)	42,5
Vehicle	2,55	Max angle between Segments	70
F=	2,8		
WB=	7,5		
B=	3,7		

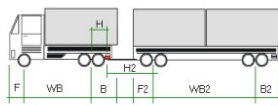
Total Length: 12 meter



Width	#1	Lock to lock time (seconds)	7
Wheel	2,5	Max wheel turning angle (deg)	42,5
Vehicle	2,5	Max angle between Segments	70
F=	2,6		
WB=	6		
B=	3,4		

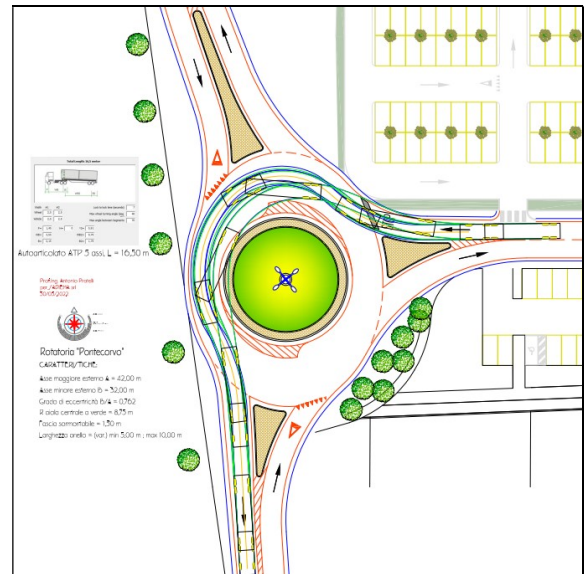
Dimensioni e sagome dei veicoli test: Autobus TPL e Autocarro a 3 assi.

Total Length: 18,75 meter

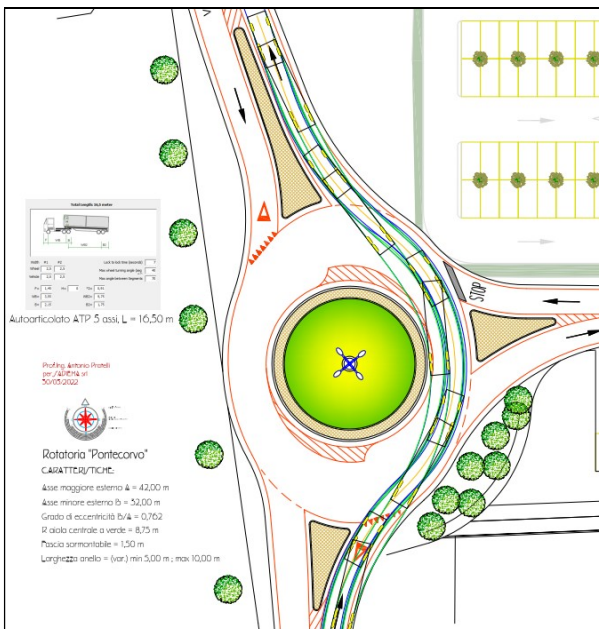


Width	#1	#2	Lock to lock time (seconds)	7	
Wheel	2,5	2,5	Max wheel turning angle (deg)	40	
Vehicle	2,5	2,5	Max angle between Segments	70	
F=	1,47	H=	2,14	F2=	1,12
WB=	5,45	H2=	2,8	WB2=	5,79
B=	2,35			B2=	1,1

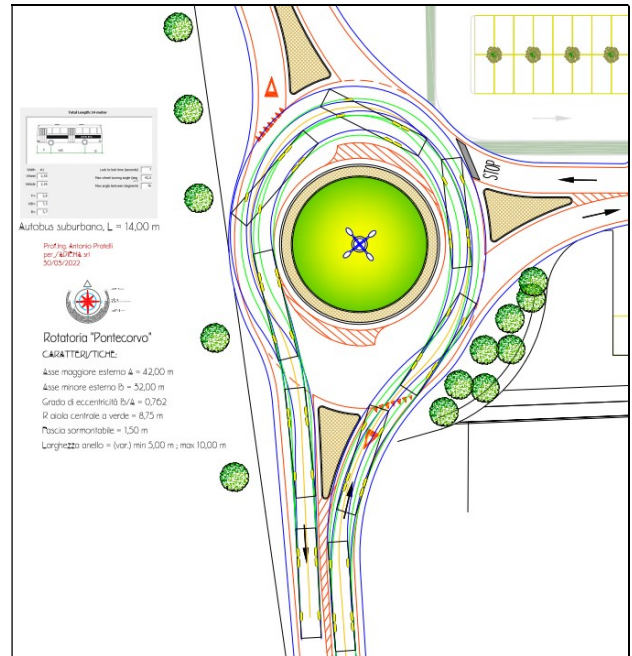
Dimensioni e sagome dei veicoli test: Autobus TPL e Autocarro a 3 assi.



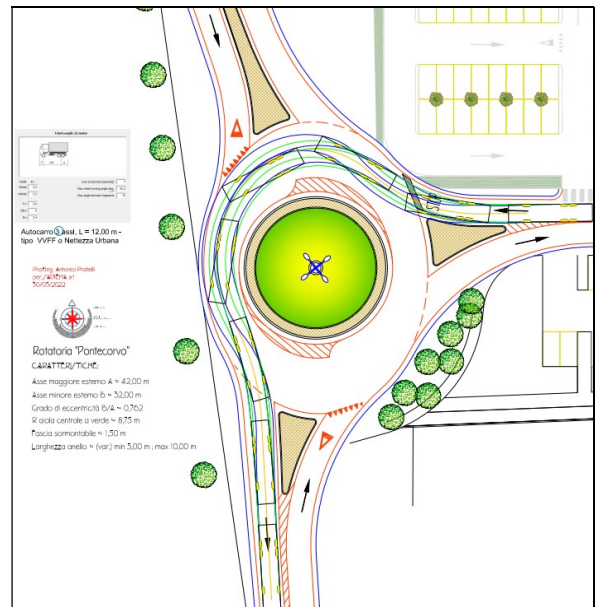
Autoarticolato ATP, L=16,50 m: Verifica delle manovre di svolta (sx) da Via Pontecorvo Nord in Via Traversa P.C. e da Via Traversa P.C. in Via Pontecorvo Sud (dir. Pisa - La Fontina).



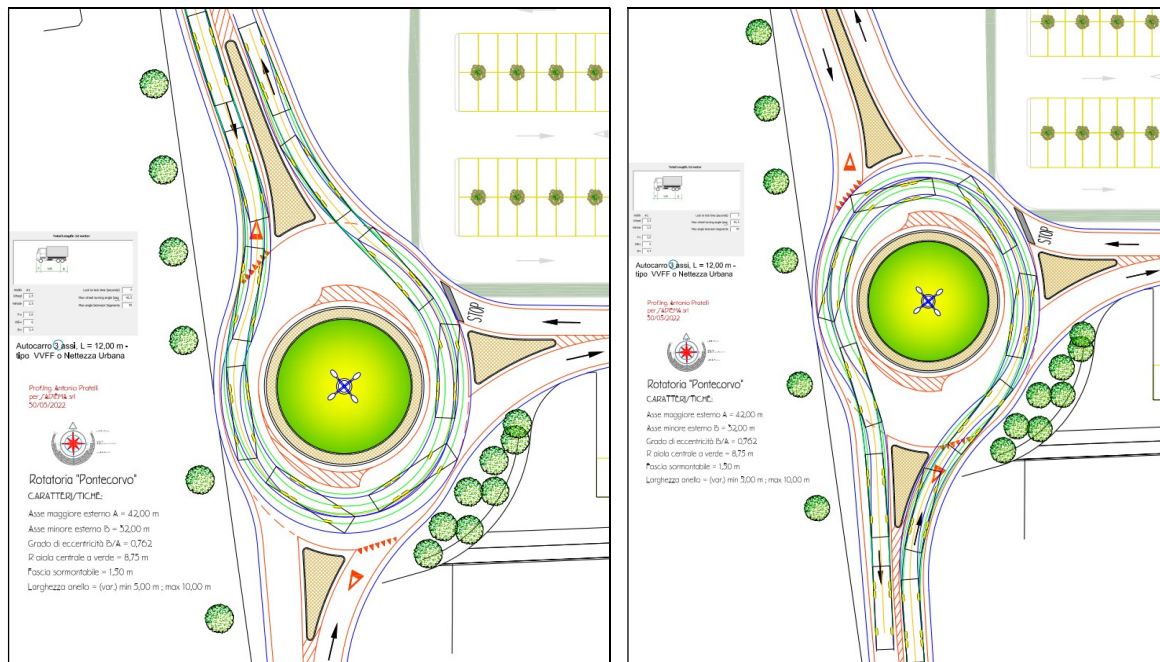
Autotreno ATP, L = 16,50 m: Verifica delle manovre di attraversamento della rotatoria lungo Via Pontecorvo: da Sud a Nord, e viceversa.



Autobus, L=14,00 m: Verifica delle manovre di inversione di marcia su Via Pontecorvo - dir. N/N (da/per San Giuliano T.me) e dir. S/S (da/per Pisa-La Fontina).



Autocarro 3 assi L=12,00 m: Verifica delle manovre di svolta da Via Pontecorvo Nord, prov. San Giuliano, nella Via Traversa P.C. e dalla Via Traversa P.C. in Via Pontecorvo Sud, dir. La Fontina.



Autocarro 3 assi L=12,00 m: Verifica manovre di inversione di marcia su Via Pontecorvo - dir. N/N (da/per San Giuliano T.me) e dir. S/S (da/per Pisa-La Fontina).

Le figure precedenti illustrano i risultati ottenuti mediante l'applicativo Vehicle Turning Simulation del software *CadTools* per la manovra di svolta all'intersezione tra la Via Pontecorvo e la Via Traversa del nuovo Parco Commerciale. Per ognuno dei tre veicoli test considerati – autoarticolato, autobus e autocarro – tutte le manovre di svolta e di attraversamento della rotatoria, oltre che quelle di inversione di marcia, in esame risultano verificate.

Ciò risulta evidente dal fatto che l'involuppo della proiezione della cassa del veicolo e l'involuppo delle tracce delle ruote restano sempre all'interno della sede stradale, senza avere mai nessuna sovrapposizione col cordonato del marciapiede o con la sagoma di un altro ostacolo fisso qualsiasi al di fuori della pavimentazione stradale.

8. RISPONDENZA A REQUISITI DI SICUREZZA E COCLUSIONI

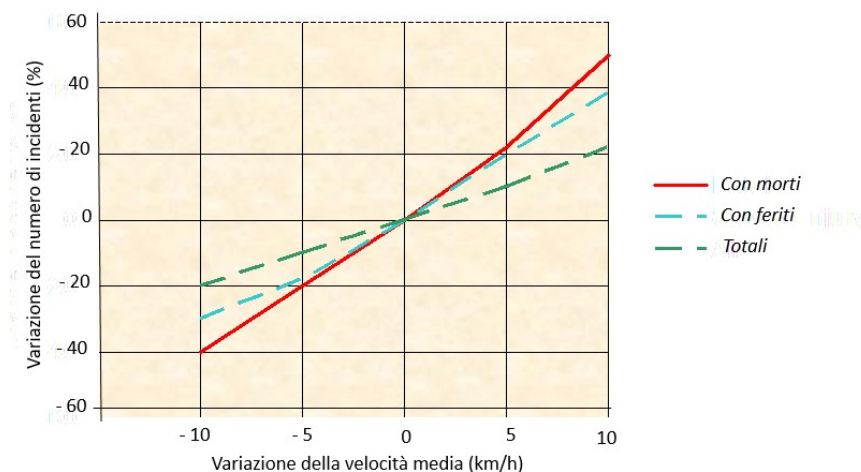
Fa ormai parte della tecnica corrente e della pratica consolidata il concetto che le rotatorie sono in grado di offrire una serie di requisiti di sicurezza della circolazione che, nella generalità dei casi e realizzazioni conformi alle Normative, risultano decisamente superiori agli analoghi requisiti che sono invece riscontrabili per le intersezioni semaforizzate ed ancora di più se comparati con casi di intersezioni libere con segnale di Stop o di precedenza.

Nel caso in esame dell'incrocio di Via Fabbricone-Pontecorvo con la Via Traversa del nuovo Parco Commerciale, si tratta di una soluzione a raso con una rotatoria "a doppia geometria" di tipo non-convenzione per la quale l'accettabilità del livello di sicurezza ottenibile si ha sia per soddisfazione delle verifiche di deflessione ottenuta per le traiettorie secanti più veloci, sia dall'evidenza statistica rintracciabile nella letteratura tecnica di settore. Si trova infatti che, da indagini sperimentali e per confronti statistici, una soluzione a rotatoria è da ritenere all'incirca dalle 2 fino anche alle 4 volte più sicura di una pari alternativa ma regolata da segnale di Stop. In particolare, stando alle osservazioni sperimentali raccolte negli Stati Uniti¹⁵ risulta che in ambito suburbano, come è appunto quello in questione, il numero annuo di incidenti di qualsiasi tipo che avvengono in una rotatoria è del 32% circa inferiore a quello di una analogo incrocio libero a raso controllato da segnale di Stop; mentre invece per lo stesso caso dei due tipi di soluzione a confronto si raggiunge addirittura una differenza del 71% circa degli incidenti mortali e con feriti gravi a favore della soluzione a rotatoria.

Questa ultima constatazione di ordine statistico può considerarsi sostanzialmente estesa anche al caso dell'intersezione a rotatoria in esame per Via Pontecorvo, stante il fatto che attraverso le valutazioni e le verifiche condotte per la soluzione a doppia geometria proposta sono state in precedenza ampiamente riscontrate la congruenza e la conformità con i vari aspetti di geometria, prestazioni, capacità.

¹⁵ NCHRP, Research Report n. 572, Washington DC, 2007.

Per quanto attiene alla sicurezza stradale dell'intero tracciato della Via Fabbricone-Pontecorvo, tracciato che è del tutto rettilineo per circa 490 metri e che sono almeno i due terzi del suo sviluppo da Nord a Sud, si può porre l'attenzione sulla verosimile riduzione della media delle velocità delle correnti di traffico che oggi percorrono questa strada. Questa riduzione attesa sarebbe determinata dalla rotatoria, qui esaminata e proposta, per l'effetto moderatore che essa indurrebbe sui veicoli in attraversamento dell'incrocio obbligandoli a seguire traiettorie secanti curvilinee e quindi percorribili soltanto a velocità minori delle traiettorie attuali, non deflesse in alcun modo. Da qualche decennio, dai risultati di ricerche in campo Europeo e Nazionale, è ben noto che ad una riduzione dell'attuale velocità media di una corrente veicolare che percorre una strada può corrispondere una diminuzione consistente, come differenza percentuale, del numero di incidenti sulla strada stessa. Ad esempio, anche in riferimento al caso del lungo rettilo di Via Pontecorvo, soltanto per una diminuzione di 5 km/h in meno di quella che può essere la velocità media associabile alle attuali condizioni della strada in interesse, ci si potrebbe attendere una riduzione del 20% nel numero degli incidenti.



Relazione sperimentale tra numero di incidenti e variazione della velocità media per le strade Nazionali (Master EU Project, 1998).

In definitiva, la soluzione con rotatoria a doppia geometria qui proposta per il nuovo incrocio di Via Fabbricone-Pontecorvo ottiene il giudizio di piena fattibilità. Questo giudizio di fattibilità è sì motivato perché la soluzione ha superato sì le verifiche di capacità e prestazione, per valori dei flussi di traffico del periodo di

progetto già incrementati della stima del traffico indotto a seguito del nuovo Parco Commerciale.

Ma soprattutto, la fattibilità di questa soluzione a rotatoria per Via Pontecorvo trova piena ragione nel fondamentale raggiungimento dei requisiti di maggiore importanza per la sicurezza della circolazione, ovvero tanto per le verifiche di deflessione delle traiettorie più veloci e per quelle di visuale libera, quanto per il fatto che la rotatoria fa parte di quelle tipologie di infrastrutture viarie che, almeno dal punto di vista statistico, sono caratterizzate dai minori valori del grado di incidentalità.

. . . - + ° * ° + - . . .



A circular professional stamp for the 'ORDINE DEGLI INGEGNERI' (Order of Engineers). The text inside the stamp reads 'Dott. Ing. ANTONIO PRATELLI' and '701'. A handwritten signature in blue ink is written over the stamp.