

OMAR BODRITO

Rotatorie

analisi e progettazione

Omar Bodrito

ROTATORIE

ISBN 978-88-579-0004-9

© 2010 by Dario Flaccovio Editore s.r.l. – tel. 0916700686 – fax 091525738

www.darioflaccovio.it info@darioflaccovio.it

Prima edizione: marzo 2010

Bodrito, Omar <1974->

Rotatorie : analisi e progettazione / Omar Bodrito. -

Palermo : D. Flaccovio, 2010.

ISBN 978-88-579-0004-9

1. Strade - Progettazione.

625.725 CDD-21

SBN Pal0223578

CIP - Biblioteca centrale della Regione siciliana "Alberto Bombace"

Stampa: Tipografia Priulla, marzo 2010

Nomi e marchi citati sono generalmente depositati o registrati dalle rispettive case produttrici.

L'editore dichiara la propria disponibilità ad adempiere agli obblighi di legge nei confronti degli aventi diritto sulle opere riprodotte.

La fotocopiatura dei libri è un reato.

Le fotocopie per uso personale del lettore possono essere effettuate nei limiti del 15% di ciascun volume/fascicolo di periodico dietro pagamento alla SIAE del compenso previsto dall'art. 68, commi 4 e 5, della legge 22 aprile 1941 n. 633. Le riproduzioni effettuate per finalità di carattere professionale, economico o commerciale o comunque per uso diverso da quello personale possono essere effettuate solo a seguito di specifica autorizzazione rilasciata dagli aventi diritto/dall'editore.



SERVIZI GRATUITI ON LINE

Questo libro dispone dei seguenti servizi gratuiti disponibili on line:

- filodiretto con gli autori
- le risposte degli autori a quesiti precedenti
- files di aggiornamento al testo
- possibilità di inserire il proprio commento al libro.

L'indirizzo per accedere ai servizi è: www.darioflaccovio.it/scheda/?codice=DF0004

INDICE

<i>Prefazione</i>	pag. IX
1. EVOLUZIONE DELLA ROTATORIA IN EUROPA	
1.1. 1900-1925: le prime rotonde della rivoluzione industriale	» 1
1.2. Prime applicazioni ed il contributo britannico	» 5
1.3. 1910-1956: gli anni della congestione del traffico	» 8
1.4. 1966-1998: precedenza all'anello e sviluppo delle rotatorie compatte	» 9
1.5. La nuova capacità d'ingresso: da Wardrop a Kimber.....	» 9
1.6. Le rotatorie di oggi	» 11
2. INTERSEZIONE A ROTATORIA	
2.1. Generalità	» 13
2.2. Principali vantaggi apportati da un incrocio a rotatoria	» 13
2.3. Limiti di applicazione	» 14
2.4. Principi generali	» 15
2.5. Elementi geometrici costituenti	» 16
2.6. Minirotatorie	» 19
2.7. Rotatorie doppie	» 20
2.8. Rotatorie a livelli altimetricamente sfalsati	» 21
2.9. Rotatorie turbo	» 21
2.10. Errate progettazioni.....	» 22
3. CALCOLO DELLA CAPACITÀ D'INGRESSO	
3.1. Introduzione	» 25
3.2. Considerazioni	» 25
3.3. Metodi statistici e metodi empirici	» 26
3.4. Metodi di calcolo empirici	» 27
3.4.1. Metodo SETRA	» 27
3.4.2. Metodo CETUR	» 29
3.4.3. Metodo di Bovy.....	» 30
3.4.4. Metodi CH1 e CH2	» 32
3.4.5. Metodo di Brilon	» 33
3.4.6. Metodo di TRL (o formula di Kimber).....	» 35
3.5. Metodi di calcolo basati sulla teoria del gap-acceptance (teorico-empirici) »	36
3.5.1. Metodo di Siegloch	» 36
3.5.2. Metodo di Harders	» 37
3.5.3. Metodo NAASRA	» 38
3.5.4. Metodo SIDRA.....	» 38
3.5.5. Metodo AUSTROADS	» 41
3.5.5.1. Raccolta dei dati sul traffico.....	» 41

3.5.5.2. Numero delle corsie d'entrata e di circolazione.....	»	41
3.5.5.3. Registrazione dei valori geometrici	»	42
3.5.5.4. Classificazione del tipo di corsie d'entrata	»	42
3.5.5.5. Stima dei parametri del modello del <i>gap-acceptance</i>	»	42
3.5.5.5.1. Stima dei parametri del modello del <i>gap-acceptance</i> per una sola corsia d'entrata	»	43
3.5.5.5.2. Stima dei parametri del modello del <i>gap-acceptance</i> per gli accessi a più corsie	»	44
3.5.5.5.3. Valutazione delle caratteristiche del flusso veicolare circolante	»	46
3.5.5.5.4. Calcolo della capacità delle corsie d'entrata.....	»	48
3.5.6. Metodo HCM 97	»	49
3.6. Procedura per la corretta utilizzazione dei metodi teorici-empirici	»	50
3.6.1. Metodo dell'effetto dell'ipersaturazione delle corsie d'entrata	»	52
3.7. Conclusioni	»	53
4. KIMBER: FORMULA PER IL CALCOLO DELLA CAPACITÀ		
4.1. Introduzione	»	55
4.2. Flusso entrante e flusso circolante: l'iterazione veicolo-veicolo	»	55
4.3. Modello empirico	»	57
4.4. Capacità degli ingressi secondo Kimber.....	»	59
4.5. Relazione tra geometria e capacità: la formula unificata	»	63
4.6. Precisione	»	64
5. FUNZIONE DELLA DOMANDA DI TRAFFICO IN INGRESSO: RICERCA DI UN MODELLO ANALITICO		
5.1. Generalità	»	67
5.2. Teoria del deflusso veicolare: principi	»	67
5.2.1. Modelli macroscopici	»	69
5.2.2. Livelli di servizio.....	»	71
5.3. Dati del problema	»	73
5.4. Modelli analitici e flussi di traffico	»	75
5.4.1. Flusso diretto	»	75
5.4.2. Curva normale	»	76
5.4.3. Curva parabolica	»	77
5.4.4. Curva sintetica tempo-flusso	»	78
5.5. Distribuzione del traffico	»	79
5.6. Conclusioni	»	82
6. CODE E RITARDI: PRINCIPI GENERALI		
6.1. Generalità	»	85
6.2. Ritardo nelle intersezioni	»	85

6.2.1. Modello di riferimento: l'approccio cinematico e il ritardo geometrico	»	87
6.3. Ritardo dei veicoli pesanti	»	90
6.4. Metodi di approssimazione per il calcolo della lunghezza delle code e dei ritardi medi	»	92
6.4.1. Kimber e Hollis	»	92
6.4.2. HCM.....	»	94
6.4.3. Brilon, Wu e Bondzio	»	96
7. INFLUENZA DEI VEICOLI PESANTI E COMPOSIZIONE DEL TRAFFICO		
7.1. Generalità	»	97
7.2. Flusso veicolare e veicolo modello.....	»	98
7.3. Influenza dei veicoli pesanti	»	101
8. INFLUENZA DEL FLUSSO DI ATTRAVERSAMENTO PEDONALE		
8.1. Generalità	»	105
8.2. Attraversamento pedonale a monte di un'entrata della rotatoria	»	106
8.3. Capacità d'attraversamento pedonale	»	107
8.4. Influenza dei pedoni sul calcolo della capacità d'ingresso della rotatoria....	»	108
8.5. Conclusioni	»	111
9. OTTIMIZZAZIONE DELLA GEOMETRIA: IL MODELLO DELLA ROTATORIA IDEALE		
9.1. Introduzione	»	113
9.2. Ipotesi di base.....	»	113
9.2.1. Aspetto normativo	»	114
9.2.2. Aspetto puramente geometrico	»	114
9.2.3. Aspetto trasportistico.....	»	115
9.2.4. Conclusioni	»	116
9.3. Influenza della geometria sulla capacità d'ingresso	»	116
9.3.1. Diametro inscritto D_i	»	117
9.3.2. Larghezza della corsia d'ingresso L_i e d'approccio L_a	»	120
9.3.3. Lunghezza della svasatura L_s	»	124
9.3.4. Raggio R_e e angolo d'ingresso ϕ	»	126
9.3.5. Raggio d'uscita R_u	»	134
9.4. Effetto della geometria sul modello empirico lineare	»	135
9.5. Modello geometrico dell'ingresso	»	138
10. PROGETTO DELLA ROTATORIA		
10.1. Introduzione	»	145
10.2. Metodo e iter procedurale.....	»	145
10.2.1. Metodo analitico-iterativo	»	147
10.2.2. Metodo costruttivo.....	»	153
10.2.2.1. Considerazioni generali	»	154

VIII

10.3. Ingresso	» 156
10.4. Attraversamenti pedonali	» 158
10.5. Corsia anulare	» 160
10.6. Elementi aggiuntivi di progetto	» 162
10.6.1. Pavimentazione stradale	» 162
10.6.2. Impianto di smaltimento delle acque	» 164
10.6.3. Impianto di illuminazione	» 167
10.6.4. Corsie preferenziali: svolte a destra	» 170
10.6.5. Opere di finitura: sistemazione dell'isola centrale	» 174
10.7. Segnaletica stradale.....	» 175
10.7.1. Principi e funzioni	» 176
10.7.2. Riferimenti normativi	» 178
10.7.3. Segnaletica orizzontale	» 178
10.7.3.1. Anello	» 178
10.7.3.2. Ingresso in rotatoria	» 180
10.7.3.3. Ramo di accesso.....	» 182
10.7.3.4. Passaggi pedonali e piste ciclabili	» 183
10.7.3.5. Casi particolari	» 185
10.7.4. Segnaletica verticale	» 187
10.7.4.1. Isola centrale.....	» 187
10.7.4.2. Anello	» 187
10.7.4.3. Ingresso in rotatoria	» 187
10.7.4.4. Ramo di accesso.....	» 193
10.7.4.5. Passaggi pedonali e piste ciclabili	» 197
10.7.4.6. Casi particolari	» 198
10.7.5. Segnaletica luminosa: applicazioni	» 201
10.8. Sicurezza nelle rotatorie: velocità e deflessione.....	» 203
10.8.1. Utenze deboli: ciclisti e pedoni.....	» 205
10.8.2. Trasporti pubblici: le fermate	» 207
10.8.3. Visibilità in rotatoria: generalità e criteri	» 208
11. CALCOLO DELLA CAPACITÀ GLOBALE	
11.1. Introduzione	» 213
11.2. Misure di prestazione	» 213
11.3. Procedura di bilanciamento dei flussi veicolari	» 214
11.3.1. Procedura di Gauss-Sfidel.....	» 215
11.4. Capacità della rotatoria: d'ingresso e globale	» 217
11.5. Risultati.....	» 219
Bibliografia	» 237
Riferimenti immagini e fotografie	» 241

Prefazione

Il criterio di regolamentazione delle intersezioni stradali a raso mediante il sistema a rotatoria ha conosciuto in questi ultimi anni un forte sviluppo anche in Italia. È stato infatti possibile assistere in poco tempo a una rapida trasformazione del tessuto urbano e suburbano. Rispetto alla tradizionale sistemazione degli incroci a raso, il sistema a rotatoria è considerato uno dei metodi in grado di apportare maggiori vantaggi in termini di sicurezza stradale e di capacità e fluidità del traffico.

Partendo da questo presupposto, questo manuale si propone come una guida semplice e operativa per affrontare il corretto dimensionamento e la verifica funzionale delle rotatorie stradali. La trattazione segue un iter progettuale che affronta ogni problematica relativa a tale tipo di intersezione stradale.

Dopo un'attenta analisi dei diversi modelli di calcolo della capacità di ingresso della rotatoria, l'attenzione si sposta sul modello TRL (Kimber, 1980), che a oggi è considerato il modello matematico che meglio correla il funzionamento rotatorio e la geometria dell'intersezione.

Partendo dalla formulazione proposta da Kimber, viene definito un metodo di progetto capace di ottimizzare i livelli prestazionali della rotatoria massimizzando la capacità di deflusso alla linea del dare precedenza.

Dopo aver teorizzato il modello ideale di rotatoria, si descrive dettagliatamente il progetto dai suoi elementi geometrici agli impianti accessori (raccolta acque di piattaforma, pubblica illuminazione, ecc.), fino alla segnaletica stradale. Inoltre viene posta un'attenzione particolare all'applicazione dei principi di sicurezza come la moderazione della velocità, i criteri di visibilità e la gestione dell'interferenza con le utenze deboli (pedoni, ciclisti, ecc.).

Infine vengono ipotizzati diversi scenari applicativi ampiamente giustificati e illustrati da schede riassuntive, che evidenziano i risultati ottenuti seguendo il criterio progettuale proposto.

La strategia progettuale suggerita non vuole e non deve essere sostitutiva degli attuali criteri di progettazione stradale, accompagnati dalle più ricche esperienze sperimentali, ma deve diventare parte integrante e spunto per nuove sperimentazioni a tal riguardo. D'altra parte l'analisi proposta potrebbe rappresentare una traccia sommaria per la stesura di una normativa tecnica di riferimento nell'ambito della progettazione italiana delle intersezioni a rotatoria.

1. EVOLUZIONE DELLA ROTATORIA IN EUROPA

1.1. 1900-1925: LE PRIME ROTONDE DELLA RIVOLUZIONE INDUSTRIALE

Il controllo e la regolamentazione del traffico non sono solo problematiche moderne, ma affondano le proprie radici nelle primarie esigenze di mobilità e di trasporto. Già agli albori del '900, quando si avvertivano ancora gli effetti della rivoluzione industriale iniziata nel secolo precedente e del vertiginoso ritmo assunto dal progresso tecnologico, le principali città europee furono soggette a un notevole sviluppo demografico e territoriale. Le nuove vie di comunicazione si adeguarono alla morfologia esistente e si svilupparono dal centro storico cittadino alla periferia in espansione. Nacque così un reticolo stradale complesso e articolato, disseminato d'innomerevoli nodi polifunzionali spesso coincidenti con piazze o aree limitate di notevole importanza per il centro urbano (mercati, ponti). Le condizioni favorevoli, la scienza e la nuova tecnologia nascente permisero un rapido sviluppo e una conseguente diffusione dei nuovi mezzi di trasporto. Nuove esigenze di tipo urbanistico evidenziarono così la necessità di risolvere i primi problemi di mobilità urbana veicolare. Alla piazza come luogo di incontro si sovrappone la logica della piazza come nodo tra le vie di comunicazione di una città, estendendo di conseguenza il primitivo concetto urbanistico di luogo aperto con funzione sociale alla moderna interpretazione di piazza come strumento di regolamentazione del traffico.

Indubbiamente le problematiche fondamentali non erano quelle indotte dalla crescita del traffico e dal risultante livello di congestione, ma la difficoltà di controllare e regolare.

Il primo semaforo a bracci dotato di lampade a gas rosse e verdi fu installato nel centro di Londra a Westminster nel 1868, ma una deplorabile esplosione mise fine a questa esperienza. L'amministrazione comunale parigina istituì un'unità di polizia, la cosiddetta *brigata dei bastoni bianchi*, incaricata di regolare la circolazione agli incroci, ad esempio fermando o lasciando transitare i veicoli tramite dei segnali convenzionali eseguiti con un bastone bianco.

Se da un lato queste misure erano sufficienti a regolare il traffico negli incroci più semplici, dall'altro diventavano in pratica inefficaci nel caso d'intersezioni a

cinque o sei rami. In effetti, l'aumento del numero di rami di un incrocio, era accompagnato da un notevole accrescimento dei punti di conflitto (punti ideali d'intersezione delle traiettorie d'attraversamento dell'incrocio) e delle probabilità di incidenti.

I primi passi verso la risoluzione di questi problemi sempre più frequenti furono mossi dall'architetto francese Eugène Hénard, il quale era giustamente convinto che l'automobile avrebbe riscosso un successo formidabile e che l'evolversi della metropolitana (in servizio dal 1900) non avrebbe diminuito la circolazione in superficie.

In un primo momento Hénard ipotizzò l'impiego di incroci a vie sovrapposte per eliminare la congestione delle intersezioni stradali. Tuttavia l'architetto francese capì che si trattava di una situazione complicata, accettabile solo in particolari condizioni topografiche e non applicabile agli incroci a cinque o più rami. Solamente qualche decennio più tardi, l'intersezione a livelli altimetricamente sfalsati veniva sviluppata e integrata nei grandi agglomerati urbani.

Hénard concepì finalmente una soluzione più semplice ed elegante per le intersezioni urbane che propose di chiamare incrocio a rotazione. Egli affermava che, per sopprimere i punti di conflitto di un incrocio fosse sufficiente impedire ai veicoli il transito in questi punti, inserendo un ostacolo sull'area centrale dello stesso, in quanto zona di maggior pericolo. Essendo obbligate ad aggirare l'ostacolo, le vetture seguivano dei percorsi che descrivono traiettorie quasi concentriche e si intersecano solo sotto angoli molto piccoli. Risultava poi sufficiente imporre ai veicoli di girare sempre nello stesso senso evitando manovre di contromano.

L'incrocio a rotatoria, concepito da Hénard, possedeva già tutte le caratteristiche geometriche delle rotatorie convenzionali installate in gran numero in Inghilterra tra gli anni Venti e Sessanta e basate sul principio di scambio dei flussi veicolari (figura 1.1). Questo incrocio era costituito da una carreggiata anulare esterna a un'isola centrale, che occupava il centro dell'incrocio e rimaneva inaccessibile ai veicoli. Ogni ramo d'accesso all'anello presentava una particolare geometria con il compito di separare i flussi veicolari entranti da quelli uscenti senza produrre

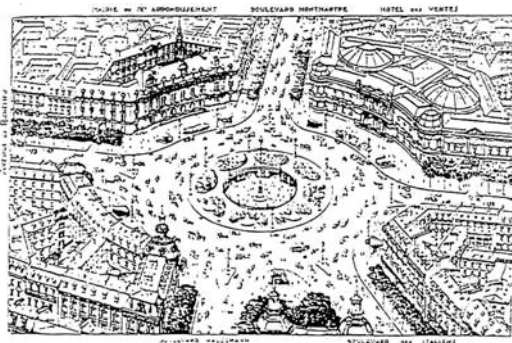


Figura 1.1
L'incrocio a rotatoria
concepito da Hénard

un restringimento della carreggiata. Queste svasature agli ingressi convogliavano i veicoli che si apprestavano ad attraversare l'incrocio e inserivano il flusso di traffico tangenzialmente all'anello con un'angolatura molto pronunciata. Nel caso di un'intersezione a quattro rami, i punti di conflitto si riducevano da trentadue a otto, quattro di tipo divergente e quattro di tipo convergente, migliorando sicuramente la funzionalità dell'incrocio. Infine, l'incrocio a rotatoria di Hénard prevedeva un solo agente di polizia posto sulla piattaforma centrale per il rispetto del meccanismo di funzionamento. L'architetto francese riteneva, inoltre, che il sistema a rotatoria poteva essere perfettamente utilizzato anche per le linee tranviarie. Egli, infatti, immaginava un binario circolare concentrico alla piattaforma centrale per mettere in comunicazione le varie linee a doppio senso che accedevano all'incrocio (figura 1.2). Questo nuovo modo di concepire l'intersezione permetteva di utilizzare l'incrocio come un elemento di qualificazione dello spazio urbano e quindi nuovo strumento di urbanizzazione.

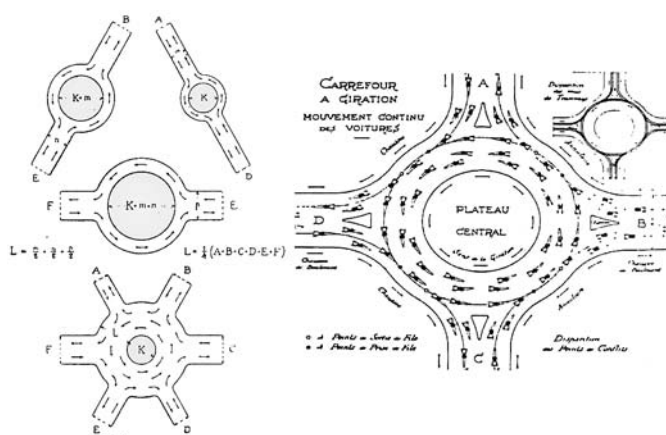


Figura 1.2
Lo schema progettuale
di Hénard

I temi fondamentali trattati da Hénard riguardarono soprattutto la classificazione del traffico, la larghezza delle strade, la strada sotterranea come tracciato dei servizi a rete, lo studio sui conflitti tra le direzioni di traffico, lo studio il dimensionamento e la forma delle piazze a rotatoria. Si possono però citare anche altri contemporanei dell'architetto francese, come Gurlitt, Baumeister, Stiibben e Giovannoni, che hanno contribuito con i loro studi sulla progettazione stradale a definire e impostare i primi concetti di geometria e di capacità della strada. Si assistette quindi a un passaggio fondamentale nello studio dei percorsi della circolazione e nello sforzo di formalizzare il calcolo delle dimensioni in funzione del traffico. Si impose, forse per la prima volta nella storia, il problema moderno del dimensionamento in funzione della previsione di traffico.

Se da un lato la rotatoria favoriva lo scorrimento dei veicoli, dall'altro creava un ostacolo alla circolazione pedonale. Per questo che Hénard propose di collegare,

nel caso di grandi incroci, i marciapiedi con il centro della rotonda tramite gallerie sotterranee (gli attuali sottopassaggi). Lungo questi attraversamenti sotterranei, proposte di installare servizi utili ai passanti come cabine telefoniche, tabaccherie, cassette postali, toilette, edicole, ecc. Questi nuovi sottoservizi dell'incrocio, secondo Hénard, potevano essere utilizzati come vie d'accesso alla metropolitana e quindi essere perfettamente integrabili nel moderno contesto urbano.

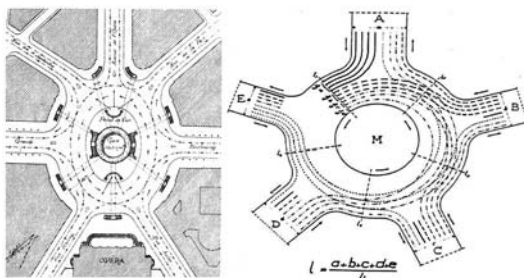
In altri casi suggerì semplicemente che i pedoni percorressero i marciapiedi periferici e attraversassero, tramite l'ausilio degli spartitraffico, le varie vie d'accesso all'incrocio a rotatoria.

Hénard non trascurò né l'illuminazione né la segnaletica della rotatoria: lampade elettriche montate su appositi pali corredati di un'adeguata segnaletica permettevano una più chiara e sicura indicazione del corretto senso di rotazione. Era prevista anche una grande lampada faro, posta al centro dell'incrocio, che permettesse, anche da lontano, una buona e anticipata segnalazione della rotonda.

Per il progettista francese, un incrocio a rotatoria non era altro che una particolare disposizione della carreggiata e dei marciapiedi su una qualsiasi piazza, qualunque fosse la sua forma. Anche nelle piazze non circolari (oblungho o ellittiche), qualora la domanda di traffico fosse stata elevata, non si sarebbe dovuto esitare a mettere un ostacolo e creare un anello di rotazione. È evidente, d'altra parte, che in piazze con eccessiva eccentricità o con scarso afflusso di traffico l'intersezione a rotatoria perde di significato e diventa un ostacolo alla circolazione. Anticipatamente ai risultati delle ricerche inglesi, Hénard, stabilì quello che si può definire il primo tentativo di formulazione di un procedimento di dimensionamento delle rotonde.

Hénard affermò che la larghezza della carreggiata non può essere arbitraria, ma deve corrispondere alla portata di veicoli che le vie d'accesso possono fornire all'incrocio in modo che il rapporto tra la superficie di rotazione e la superficie dei rami entranti non sia troppo piccolo da causare ingorghi (figura 1.3). La superficie minima che è necessario riservare per la costruzione della piattaforma centrale è rappresentata da una circonferenza di 10 metri di diametro. Più essa sarà grande, più gli imbocchi delle vie dovranno essere svasati e più efficace sarà l'azione dello spartitraffico. Gli angoli d'incidenza saranno più deboli e la circolazione si stabilirà più facilmente.

Figura 1.3
Disposizione di un incrocio a cinque
vie secondo lo schema rotatorio
basato sul principio dello scambio
del flusso circolante



1.2. PRIME APPLICAZIONI ED IL CONTRIBUTO BRITANNICO

Nel 1907 Parigi crea le prime intersezioni a rotatoria, imponendo l'obbligo di circolazione a senso unico attorno alla piattaforma centrale secondo le indicazioni suggerite da Eugène Hénard. Le dodici carreggiate, infatti, che già all'epoca confluivano in piazza de l'Etoile (oggi piazza Charles de Gaulle) e in piazza de la Nation vengono organizzate sullo schema rotatorio teorizzato pochi anni prima dall'architetto francese (figura 1.4).



Figura 1.4
Rotatoria Piazza Charles De Grulle:
12 accessi

Gli incroci a rotatoria fanno la loro prima apparizione in gran Bretagna, intorno al 1910 a Letchworth, grazie all'ingegno di Parker e Worker ispirati dalla sistemazione innovativa della piazza de l'Etoile osservata durante un viaggio a Parigi. Essi inserirono nell'intersezione delle sei carreggiate a Letchworth un'isola centrale di 16.8 m obbligando i vari flussi entranti a una concorde rotazione.

Le rotatorie cominciarono a diffondersi nel Regno Unito a partire da alcuni importanti incroci di Londra, fino a raggiungere i principali nodi di comunicazione con le campagne limitrofe in espansione del dopoguerra. Vennero così realizzate rotatorie con isole centrali di grandi dimensioni, generalmente, di forma circolare, ma talvolta anche ellittica o semirettangolare, con lunghi tronchi di scambio per assicurare così un continuo scorrimento del flusso veicolare.

Il progetto era, però, ancora basato soltanto sull'esperienza del progettista e sul senso comune. Solo nel 1926, Dodd concepì un metodo per il dimensionamento della larghezza della corsia circolante (l'anello), sottolineando una proporzionalità tra la larghezza e il flusso di traffico della corsia d'ingresso. Egli inoltre consigliava di raccordare le vie entranti all'anello tramite corsie separate così da ottenere una svasatura che riducesse fortemente la velocità d'ingresso del flusso di traffico.

L'Inghilterra fu anche la prima a utilizzare le intersezioni a rotatoria come elemento di risoluzione dei problemi riguardanti la pianificazione degli svincoli e



Figura 1.5
Applicazione di una moderna rotatoria
a livelli altimetricamente sfalsati

delle confluenze autostradali. La carreggiata anulare talvolta sovrappassava e talvolta sottopassava l'autostrada (figura 1.5).

Anche Giovannoni, come Dodd, aggiunse, rispetto a Hénard, un metodo di stima dei flussi come funzione delle dimensioni delle strade:

$$N = \alpha \cdot \beta \cdot \left(\frac{L}{2.70} \right) \cdot \frac{v}{l}$$

dove

N = numero dei veicoli per unità di tempo (veic/h)

α = coefficiente con valore compreso tra 0 e 1 relativo alla discontinuità delle distanze tra le vetture

β = coefficiente con valore compreso tra 0 e 1 relativo ai disturbi derivati dalle soste e dalle funzioni laterali

L = larghezza della carreggiata

v = velocità dei veicoli

2.70 = la larghezza della corsia

l = distanza veicolare dato da l_1 e l_2 , dove l_1 = lunghezza del veicolo e l_2 = distanziamento dal veicolo seguente.

Giovannoni diede inizialmente una spiegazione dei concetti di portata e di saturazione osservando poi la necessità di evitare strozzature, studiando le intersezioni in funzione dei conflitti e delle opportunità di gestire le confluenze. Per il dimensionamento dell'anello di una piazza a circolazione rotatoria riprese la formula di Hénard.

Fu sicuramente l'allarmante incremento degli incidenti stradali, dovuto al parallelo aumento di traffico, a promuovere le campagne di sicurezza stradale, soprattutto per i pedoni e i ciclisti, l'introduzione di un'adeguata segnaletica e l'illuminazione nelle aree circostanti gli incroci. Dalla metà degli anni Trenta le rotato-

rie andarono sempre più affermandosi, soprattutto negli agglomerati urbani, grazie ai vantaggi apportati da questa sistemazione stradale. Anche i progettisti tesero ad apprezzare questa nuova soluzione e gli anni successivi videro apparire i primi tentativi di analisi del funzionamento degli incroci a rotatoria. H. Waston, autore di un trattato sui flussi di traffico (1933), F.G. Royal-Dawson autore di un manuale sul tracciamento delle strade (1936) e l'americano O.K. Normann, autore di un articolo sulla capacità delle strade (1942), svilupparono alcune considerazioni sull'interdipendenza fra capacità delle rotatorie, flussi veicolari, dimensioni dei veicoli, loro velocità e angoli di conflitto.

Il primo tentativo di calcolare la capacità della sezione di scambio è dovuto a A.Y. Clayton, il quale nel 1945 pubblicò un articolo sulla capacità delle rotatorie, in cui espose per la prima volta una definizione del coefficiente di scambio. Clayton stabilì la prima formula di capacità della sezione di scambio sulla base di poche osservazioni e praticamente senza nessuna sperimentazione. Tuttavia, sia le ricerche condotte negli Stati Uniti sui flussi di scambio sia i successivi studi effettuati da Clayton al fine di migliorare la sua formula di capacità condussero a partire dal 1955 il Transport Research Laboratory (TRL), ente di ricerca stradale inglese, nella realizzazione di una propria sperimentazione (Wardrop). Grazie all'utilizzo di una rotonda sperimentale, dove era possibile variare sia i diversi parametri geometrici sia quelli di traffico, i ricercatori inglesi arrivarono alla conclusione che la capacità Q_w di una sezione di scambio dipende da quattro variabili fondamentali:

$$Q_w = \frac{354 \cdot \left(1 + \frac{e}{w}\right) \cdot \left(1 - \frac{p}{3}\right)}{1 + \frac{w}{l}}$$

dove

l = lunghezza della zona di scambio

w = larghezza della zona di scambio

e = larghezza media dell'ingresso (valore medio dei due accessi al tronco di scambio)

p = percentuale del traffico di scambio.

Tale formula da loro ricavata è conosciuta con il nome di *formula di Wardrop*. È necessario sottolineare che, nelle pubblicazioni inglesi in cui appare questa formula, le distanze sono espresse in unità anglosassoni (piedi), cosa che comporta l'utilizzo del valore 108 al posto del valore 354. Gli intervalli di variazione dei vari parametri (sia geometrici sia di traffico) che intervengono nella formula di Wardrop devono rispettare le seguenti limitazioni:

$$6.7 \text{ m} \leq w \leq 20 \text{ m}$$

$$0.4 \text{ m} \leq e/w \leq 1.0 \text{ m}$$

$$0.12 \text{ m} \leq w/l \leq 0.4 \text{ m}$$

$$0.4 \text{ m} \leq p \leq 1.0 \text{ m}$$

1.3. 1910-1956: GLI ANNI DELLA CONGESTIONE DEL TRAFFICO

Dopo la seconda guerra mondiale nei nuovi quartieri di periferia delle città inglesi furono inserite numerose rotatorie, quasi come rimedio agli effetti dei devastanti bombardamenti a cui erano stati sottoposti. Le rotatorie all'epoca costituivano l'unico tipo di nodo stradale per cui non era ancora stata definita alcuna regola di precedenza, in quanto lo scorrimento dei veicoli avveniva in modo continuo attraverso il tronco di scambio.

Fin quando i flussi veicolari rimanevano di modesta entità, queste manovre di scambio avvenivano senza problemi e la fluidità della circolazione era elevata, ma con l'esponenziale aumento del volume di traffico dovuto alla crescita economica del secondo dopoguerra si arrivò alla saturazione e al blocco delle rotatorie.

Durante le ore di punta i veicoli che giungevano alla rotonda con velocità più elevate rispetto a quelle dei veicoli che circolavano attorno all'isola centrale riuscivano forzatamente a immettersi in rotatoria (in assenza di regole di precedenza) obbligando all'arresto i veicoli della corrente circolante. Si venivano così a formare sui tronchi di scambio code tali da bloccare le precedenti entrate dell'incrocio paralizzando la rotonda. Spesso doveva necessariamente intervenire la polizia per liberare la carreggiata anulare e ripristinare le normali condizioni di circolazione. Tuttavia, durante tutto il periodo in cui la rotatoria era rimasta bloccata, si erano formate code molto lunghe su ciascun ramo d'accesso e i veicoli, che già lungamente avevano atteso in coda, si precipitavano verso l'anello sbloccato con l'intento di superare al più presto l'incrocio provocandone nuovamente il blocco. In sostanza gli agenti di polizia erano obbligati a rimanere in rotonda per regolare la circolazione fino all'esaurimento delle code.

La soluzione costruttiva adottata dagli ingegneri inglesi per risolvere questo problema fu quella di realizzare tronchi di scambio sufficientemente lunghi da impedire il blocco degli ingressi dovuto alle file d'attesa nelle ore di punta. Purtroppo non era possibile applicare tale stratagemma laddove lo spazio disponibile era piuttosto limitato. Alcune rotatorie furono allora equipaggiate con semafori che funzionavano solamente durante le ore di punta con lo scopo di limitare il flusso veicolare entrante nell'anello di circolazione.