



PIANO REGIONALE DELLA SICUREZZA STRADALE

Le rotatorie

Linea guida NISS 2.14

07/09/06

a cura di



Osservatorio Città Sostenibili
Dipartimento Interateneo Territorio
Politecnico e Università di Torino

Viale Mattioli, 39 - 10125 - TORINO (Italia) - tel (+39) 011 5647489 - ocs@polito.it - w www.ocs.polito.it

INDICE

1.	INTRODUZIONE	3
2.	DESCRIZIONE DELLA MISURA.....	3
3.	FINALITÀ DELLA MISURA.....	4
4.	RIFERIMENTI NORMATIVI	5
5.	SPECIFICHE TECNICHE	6
6.	EFFICACIA ED EFFICIENZA DELLA MISURA.....	18
7.	FACILITÀ D'USO PER GLI UTENTI DEBOLI	20
	BIBLIOGRAFIA.....	25

1. INTRODUZIONE

Questa linea guida è dedicata alla presentazione di una delle misure di moderazione del traffico veicolare motorizzato. Per ciascuna misura, contenuta in queste linee guida, vengono fornite: la descrizione, la finalità, i riferimenti normativi, le specifiche tecniche, l'efficacia, la facilità d'uso per gli utenti deboli.

Si ricorda che all'introduzione negli ambiti residenziali delle misure di moderazione, che sono interventi puntuali, è opportuno affiancare alcuni interventi di tipo lineare particolarmente importanti, quali i percorsi pedonali, le piste ciclabili e le corsie riservate per il trasporto pubblico, che costituiscono le vere e proprie infrastrutture lineari dell'ambito residenziale delle "zone 30".

L'insieme delle misure di moderazione è il kit degli attrezzi che il progettista della "zona 30" deve saper usare correttamente, sia come singolo intervento, sia, soprattutto, come sequenza dei diversi interventi nella rete della viabilità: è infatti l'effetto di sistema cui occorre puntare e questo richiede appunto una visione a livello del complesso della "zona 30".

2. DESCRIZIONE DELLA MISURA

La rotatoria è un tipo di sistemazione delle intersezioni a raso, costituita da un anello nel quale confluiscono i bracci dell'intersezione; l'anello viene percorso dal flusso proveniente da ciascun braccio nel tratto compreso fra la sezione di immissione di quest'ultimo e quella del braccio di uscita (figura 1).



Figura 1 - Una rotatoria di medie dimensioni (fonte: sito Internet <http://www.fiab-onlus.it>)

I veicoli circolanti nell'anello (che può avere una o più corsie di marcia) hanno la precedenza rispetto a quelli che devono ancora impegnare l'intersezione: in questo modo, nessuna strada ha la priorità sulle altre e tutti i veicoli sono costretti a rallentare in prossimità dell'intersezione. La rotatoria è pertanto particolarmente idonea in quelle situazioni in cui le strade sono dello stesso livello gerarchico.

Le rotatorie possono essere adottate nei casi in cui vi siano spazi sufficienti per il loro inserimento e i flussi di traffico non risultino così elevati da produrre inaccettabili code di ingresso.

Va precisato che le rotatorie sono misure che interessano la viabilità principale e, al più, quella di quartiere; dunque esse riguardano soprattutto la viabilità esterna agli ambiti residenziali delle "zone 30". Tuttavia esse, ormai, sono entrate a far parte della manualistica che si occupa di moderazione del traffico in ragione della loro efficacia in termini sia di sicurezza, sia di fluidificazione del traffico.

3. FINALITÀ DELLA MISURA

Le rotatorie hanno molteplici finalità:

- aumentare la sicurezza alle intersezioni, costringendo tutti i veicoli a rallentare e, all'occorrenza, a fermarsi in prossimità della rotatoria, e forzandoli a percorrere una traiettoria non rettilinea;
- rendere la circolazione veicolare più fluida, in particolare fra strade dello stesso livello gerarchico, permettendo di eliminare i semafori alle intersezioni;
- evidenziare la presenza di un'intersezione, interrompendo la linearità visiva delle strade rettilinee (figura 2).

In particolare l'obiettivo della fluidificazione del traffico ha finito per risultare prevalente, specie là dove la rotatoria consente di eliminare la regolazione semaforica. Va tuttavia subito osservato che spesso questo obiettivo, specie in Italia, ha messo in ombra la finalità di agevolare la mobilità debole costituita da pedoni e da ciclisti. Infatti, se la rotatoria non viene progettata con grande attenzione agli attraversamenti pedonali e ciclabili, rischia di dimostrarsi più rischiosa dell'attraversamento semaforico proprio per l'utenza debole: questo errore va assolutamente evitato in generale e, a maggior ragione, negli ambiti residenziali interessati dalla strategia delle "zone 30".



Figura 2 - Le rotatorie hanno anche la funzione di interrompere la linearità visiva di una strada, evidenziando la presenza di un'intersezione

4. RIFERIMENTI NORMATIVI

Il *Regolamento di esecuzione e di attuazione del nuovo codice della strada* (d.p.r. 495/1992) fornisce alcune indicazioni relative ai segnali da utilizzare in caso di intersezioni con rotatoria.

All'art. 96 si afferma che «il segnale CIRCOLAZIONE ROTATORIA deve essere installato sulle strade extraurbane per presegnalare una intersezione tra due o più strade regolamentate con circolazione rotatoria. Nei centri abitati può essere usato solo quando le condizioni del traffico ne consigliano l'impiego per motivi di sicurezza». L'art. 122 specifica che «il segnale di ROTATORIA deve essere usato per indicare ai conducenti l'obbligo di circolare secondo il verso indicato dalle frecce. Deve essere collocato sulla soglia dell'area ove si svolge la circolazione rotatoria. Sulle strade extraurbane è sempre preceduto dal segnale di PREAVVISO DI CIRCOLAZIONE ROTATORIA» (maiuscolo nel testo).

Le *Linee guida per la redazione dei piani della sicurezza stradale urbana* definiscono così le rotatorie, focalizzando l'attenzione sugli effetti (positivi e negativi) del dispositivo: sono «isole di traffico rotazionali centrali, posizionate al centro degli incroci, con rimozione, sulle strade che vi si affacciano, dei segnali che regolano le precedenza, essendo queste stabilite dalle regole di circolazione. Le isole hanno varie dimensioni in pianta e possono essere più o meno rialzate dal livello strada. In alcuni casi possono essere anche parzialmente o totalmente sormontabili. Hanno la finalità di ridurre la velocità dei veicoli in corrispondenza delle intersezioni, mediante la deviazione del percorso da rettilineo a curvo, e ridurre i punti di conflitto tra i flussi di

attraversamento delle intersezioni. La loro efficacia sulle velocità è molto significativa e tale riduzione dipende dalla variazione di traiettoria imposta ai veicoli dalla geometria del dispositivo e dai livelli di velocità precedenti l'installazione. Nella fase di progettazione va posta particolare attenzione alle necessità delle utenze deboli, infatti i percorsi pedonali risultano relativamente più lunghi e le distanze non sono sempre accettate dal pedone, che tende ad effettuare attraversamenti illegali. Inoltre nelle rotatorie a traffico misto il velocipede o il ciclomotore che transita nell'anello è scarsamente percepibile dagli altri conducenti» (p. 39).

Sempre secondo le linee guida, le rotatorie possono essere impiegate su tutte le strade la cui velocità sia uguale o inferiore ai 70 km/h.

Le *Norme sulle caratteristiche funzionali e geometriche delle intersezioni stradali* presentano le peculiarità delle rotatorie, evidenziando la differenza tra le rotatorie convenzionali e le rotatorie compatte: «Caratteristica distintiva delle rotatorie rispetto ad altri tipi di intersezioni a raso è quella di non attribuire priorità ad alcuna delle strade che si intersecano: essa è pertanto particolarmente idonea in quelle situazioni in cui tali strade sono dello stesso livello gerarchico. Si distinguono quelle oggi denominate rotatorie convenzionali nelle quali l'anello ha un grande diametro ed i bracci mantengono costante la sezione trasversale fino al punto di immissione nella rotatoria, da quelle nelle quali il diametro è molto più ridotto, e pertanto vengono denominate rotatorie compatte ed i bracci presentano un allargamento, anche notevole, in corrispondenza delle immissioni. In questo modo si fornisce ai veicoli in attesa di immettersi nell'anello la possibilità di disporsi in più file, e quindi di sfruttare in modo più efficace i gap che si presentano nella corrente che percorre l'anello» (pp. 47-8; corsivo nel testo; figura 3).

5. SPECIFICHE TECNICHE

Le caratteristiche di una rotatoria dipendono in larga misura dagli effetti che si desiderano ottenere con l'utilizzo di questo dispositivo. Qui si presenta una rassegna dei criteri generali con cui vengono realizzate le rotatorie in Italia e nei principali Paesi europei e nordamericani, rimandando a testi specializzati per gli aspetti di calcolo legati alle capacità e al dimensionamento dei diversi elementi¹.

I Paesi nei quali la realizzazione di rotatorie è una prassi diffusa da molti decenni, quali gli Stati Uniti e la Gran Bretagna, hanno da alcuni anni modificato le caratteristiche di questa misura, passando gradualmente da rotatorie di grandi dimensioni, con isole centrali ampie e numerose corsie all'interno dell'anello e in avvicinamento all'intersezione, a rotatorie di dimensioni più contenute, spesso definite "rotatorie compatte". Come osservato anche nelle *Norme sulle caratteristiche funzionali e geometriche delle intersezioni stradali*, le rotatorie compatte prevedono una deflessione, più o meno rilevante, all'ingresso dei bracci stradali nella rotatoria (poiché le

1. Tra i testi di riferimento, si segnalano lo studio a carattere prenormativo del CNR, *Norme sulle caratteristiche funzionali e geometriche delle intersezioni stradali* (2001) e il documento del SETRA francese *Aménagement des carrefours interurbains sur les routes principales*. (1998).

corsie devono convergere verso il centro dell'anello e non essere tangenti ad esso), la riduzione del numero di corsie nell'anello, una minore dimensione complessiva della rotatoria e, occasionalmente, l'allargamento delle corsie nei punti di immissione alla rotatoria (per facilitare lo smaltimento delle code).

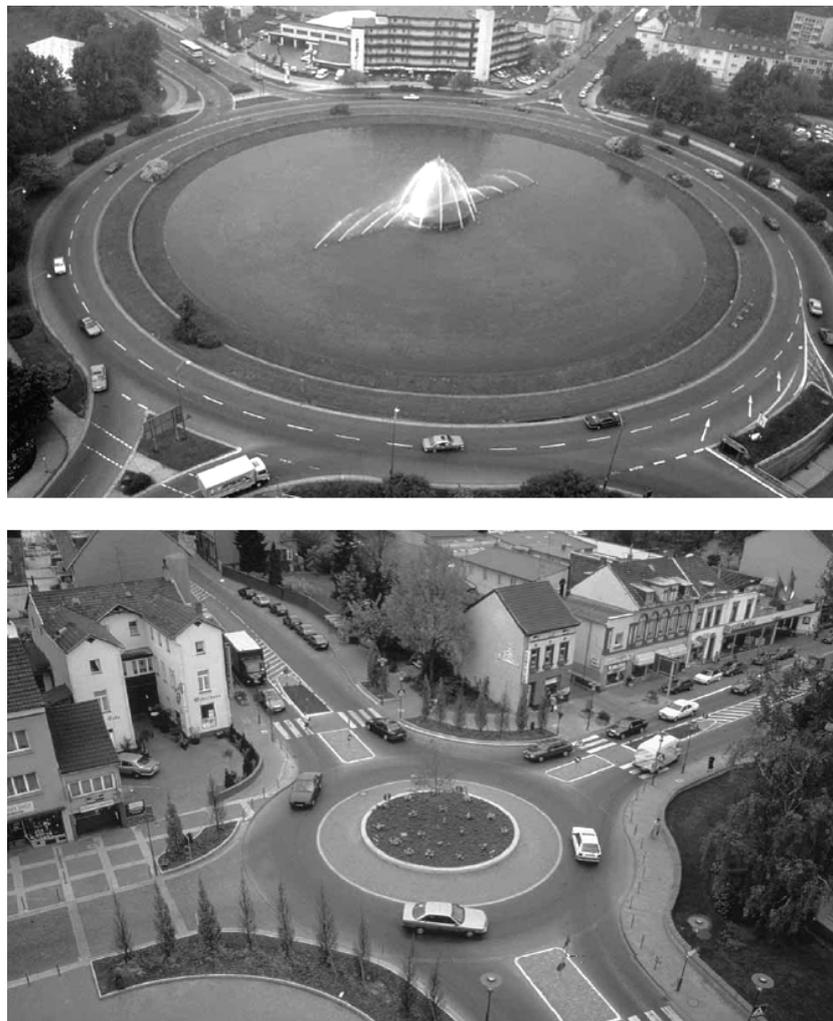


Figura 3 - Confronto fra una rotatoria convenzionale (in alto) e una rotatoria compatta (fonte: sito Internet <http://www.ite.org>)

La riduzione delle dimensioni della rotatoria, oltre ad incrementare la sicurezza, impedendo ai veicoli di collidere negli spostamenti trasversali all'interno dell'anello, ha reso la rotatoria più adatta all'ambiente urbano, differenziandola dal modello del grande svincolo a raso extraurbano.

Secondo l'ITE statunitense e le linee guida della Florida, le rotatorie dovrebbero essere costruite rispettando questi criteri di base:

- i veicoli che devono entrare nella rotatoria devono dare la precedenza a quelli che circolano nell'anello²;
- i veicoli devono circolare in senso antiorario, passando a destra dell'isola centrale;
- per controllare la velocità di circolazione nell'anello occorre agire sulle dimensioni dell'isola centrale e sulla deflessione imposta alle corsie³;
- le rotatorie devono essere realizzate solo nelle intersezioni fra strade con volumi di traffico non troppo diversi e non troppo elevati, in modo da poter garantire il deflusso agevole dei veicoli;
- le rotatorie non devono essere collocate dove la quantità di pedoni o ciclisti in transito potrebbe creare situazioni di conflitto;
- qualora siano previsti attraversamenti pedonali o ciclabili, essi devono essere arretrati all'incirca della lunghezza di un'auto rispetto all'ingresso della rotatoria⁴;
- l'isola centrale non deve essere in genere accessibile ai pedoni, che non devono attraversare l'intersezione passando per la rotatoria;
- i materiali impiegati devono essere ad alta visibilità sia diurna, sia notturna;
- l'ampiezza della rotatoria deve essere ben calibrata, per influire sulla velocità dei veicoli ma consentire il passaggio dei mezzi di servizio e di emergenza;
- in corrispondenza della rotatoria deve essere vietato il parcheggio;
- le corsie di senso opposto, in prossimità della rotatoria, devono avere uno spartitraffico rialzato, per motivi di sicurezza e per aumentare la deflessione.

Il SETRA francese (Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes) nel documento *Aménagement des carrefours interurbains sur les routes principales* (1998), propone queste regole progettuali per le rotatorie sulle strade extraurbane, ricordando però che non si tratta di indicazioni da seguire tassativamente, ma di principi generali:

- è opportuno che la rotatoria sia percepibile in lontananza; occorre garantire una visibilità di 250 m sull'asse principale, evitando in genere l'installazione di una rotatoria all'uscita da una curva o sui dossi. Nell'impossibilità di mantenere questa distanza, le isole spartitraffico delle strade che si immettono nell'incrocio devono essere allungate per presegnalare la presenza della rotatoria. È necessario posizionare prima delle rotatorie la segnaletica regolamentare, per migliorare la comprensione del tipo di intersezione a cui si va incontro. L'approccio "curva e controcurva" prima delle rotatorie, che si supponeva mettesse in guardia il guidatore, inducendo una diminuzione della velocità, è stato abbandonato in Francia da tempo, in quanto contribuiva a peggiorare la percezione e la sicurezza;

2. Questa regola, introdotta in Gran Bretagna nel 1966, ha sostituito la regola della precedenza al traffico in ingresso nella rotatoria e ha permesso di ridurre notevolmente l'incidentalità e i livelli di congestione, nonché le dimensioni delle rotatorie.

3. Si definisce deflessione il raggio dell'arco del cerchio che passa a 1,50 m dal bordo dell'isola rotazionale ed a 2 m dai bordi delle strade in entrata ed uscita: in pratica, si tratta dell'inclinazione che il veicolo deve assumere per immettersi nella rotatoria, allontanandosi dalla traiettoria rettilinea.

4. Il tipo di trattamento da riservare a pedoni e ciclisti in corrispondenza delle rotatorie è una questione ancora dibattuta: esso viene esaminato in dettaglio successivamente.

- dopo aver identificato la presenza di una rotatoria, l'utente deve riconoscere rapidamente i vari elementi che la compongono: l'isola rotazionale, l'isola spartitraffico d'immissione, i bordi esterni, la carreggiata circolare, le altre strade in entrata e le diramazioni in uscita. Perché ciò sia possibile, occorre rispettare le regole generali riguardanti la forma della rotatoria, che escludono isole rotazionali di forma non circolare o carreggiate circolari ma di larghezza irregolare. Si deve garantire la visibilità dei veicoli con diritto di precedenza a 15 m dall'anello e l'isola di rotazione deve essere libera per 2 m dal suo bordo esterno;
- bisogna garantire una deflessione sufficiente. Il raggio dell'arco del cerchio che passa a 1,50 m dal bordo dell'isola rotazionale ed a 2 m dai bordi delle strade in entrata ed uscita deve essere rigorosamente inferiore a 100 m per non consentire velocità superiori ai 50 km/h, anche sulle traiettorie più tese;
- l'isola rotazionale, se posta all'ingresso di un centro abitato, non deve presentare nessun ostacolo rigido (albero, scultura massiccia, blocco di pietra, palo, ecc.) in grado di bloccare brutalmente un conducente che abbia perso il controllo del mezzo; sono invece consigliati altri elementi di arredo, quali arbusti, sculture poco voluminose e simili. Questa regola è la conseguenza diretta dell'analisi effettuata dal CERTU sugli incidenti mortali occorsi in rotatorie situate all'ingresso dei centri abitati, tutti dovuti in pratica alla perdita del controllo del veicolo con urto contro l'ostacolo presente sull'isola rotazionale. Si consigliano invece disposizioni più flessibili in caso di rotatorie poste su strade interne ai centri urbani. L'isola di rotazione, specialmente se è di piccole dimensioni, può essere completata con una corona valicabile, che consenta le manovre necessarie ai mezzi pesanti ma sia sufficientemente scomoda da scoraggiare traiettorie troppo dirette da parte dei veicoli leggeri;
- le strade riservate alla svolta a destra, che evitano a una parte dei flussi di traffico di immettersi sulla carreggiata circolare, sono in genere sconsigliate, ma possono essere realizzate se evitano la saturazione della rotatoria stessa (constatata, o prevista per il volume di traffico valutato alla data dell'entrata in funzione). Esse peggiorano comunque la leggibilità dell'incrocio e rendono la segnaletica più complessa.

Il primo elemento da prendere in considerazione nella progettazione di una rotatoria è l'analisi dell'intersezione, volta a stabilire se le caratteristiche dei flussi di traffico e gli spazi disponibili siano adatti all'inserimento di una rotatoria. Come osservano le *Norme sulle caratteristiche funzionali e geometriche delle intersezioni stradali*, «i modelli utilizzati per il progetto delle rotatorie regolate con la disciplina della priorità all'anello, siano esse convenzionali (cioè con grandi diametri) ovvero compatte o minirotatorie, sono di origine sperimentale. Il metodo generalmente utilizzato consiste nell'assegnare alla rotatoria le caratteristiche geometriche che si ritengono idonee a soddisfare la domanda di traffico, e calcolarne quindi le caratteristiche di livello di servizio. Il punto di partenza di tale procedura è il calcolo della capacità. Si definisce capacità del braccio di una rotatoria il più piccolo valore del flusso sul braccio che determina la presenza permanente di veicoli in attesa di immettersi. Questo valore del flusso dipende evidentemente dal flusso che percorre l'anello, e quindi dall'insieme dei flussi in ingresso e in uscita da tutti i bracci della rotatoria» (p. 48).

Secondo il SETRA, l'osservazione dei volumi di traffico che percorrono l'intersezione durante le ore di punta consente di stabilire quale livello di approfondimento dell'analisi della capacità della rotatoria è necessario:

- per volumi inferiori a 1.500 veicoli/ora non è richiesto il calcolo delle capacità;
- per volumi compresi tra 1.500 e 2.000 veicoli/ora è necessaria un'analisi della distribuzione dei flussi;
- per volumi superiori a 2.000 veicoli/ora occorre svolgere il calcolo delle capacità.

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

I metodi di calcolo della capacità messi a punto nei diversi Paesi, pur essendo riconducibili tutti ad uno stesso schema fondamentale, differiscono in qualche misura fra loro, in parte perché diverse sono le tipologie di rotatoria su cui sono stati misurati i dati sperimentali, ma soprattutto per la diversità dei comportamenti degli automobilisti, i quali giocano un ruolo fondamentale nel determinare le modalità di funzionamento di una rotatoria⁵.

Il SETRA, nel documento *Aménagement des carrefours interurbains sur les routes principales*, presenta alcuni metodi per il calcolo della capacità, distinguendo fra metodi "manuali" (in particolare, quello messo a punto dal SETRA viene presentato anche dalle norme del CNR) e metodi computerizzati (software Octave, Girabase). In generale, la capacità K può essere così definita:

$$K = f(Q_C, Q_U, SEP, ANN, ENT)$$

dove (figura 4):

- Q_C : flusso che percorre l'anello all'altezza dell'immissione;
 Q_U : flusso uscente;
 SEP : larghezza dell'isola spartitraffico all'estremità del braccio;
 ANN : larghezza dell'anello;
 ENT : larghezza della semicarreggiata del braccio misurata dietro il primo veicolo fermo all'altezza della linea del "dare precedenza".

5. Ministero delle infrastrutture e dei trasporti, 2001, *Norme sulle caratteristiche funzionali e geometriche delle intersezioni stradali*.

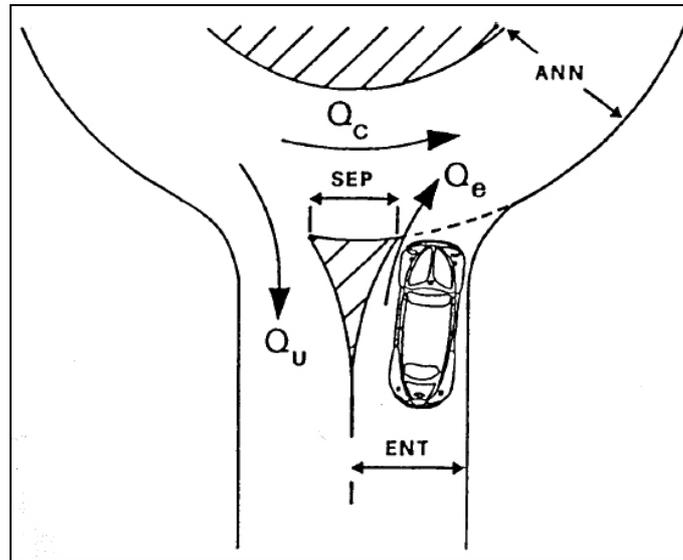


Figura 4 - Le caratteristiche geometriche e di traffico di una rotatoria, necessarie per il calcolo della capacità (fonte: Ministero delle infrastrutture e dei trasporti, 2001, Norme sulle caratteristiche funzionali e geometriche delle intersezioni stradali)

In aggiunta alla capacità, occorre definire le caratteristiche del livello di servizio di una rotatoria, che sono analoghe a quelle che vengono considerate nello studio di tutte le intersezioni a raso: il tempo medio di attesa dei veicoli alle immissioni e un adeguato percentile della lunghezza della coda.

In prima approssimazione, le rotatorie possono essere impiegate per le intersezioni caratterizzate dai flussi di traffico mostrati nella figura 5. In ascissa, sono riportati i flussi di traffico giornalieri medi (AADT - *annual average daily traffic*) della strada principale; in ordinata, i valori corrispondenti della strada secondaria. Il triangolo grigio mostra le combinazioni dei flussi che sono adatte per l'inserimento delle rotatorie: il colore grigio chiaro evidenzia che la rotatoria può sopportare senza difficoltà un incremento di traffico del 30%, mentre il colore grigio scuro rappresenta una riserva di capacità inferiore, compresa tra il 10 e il 30%: in questi casi, possono crearsi situazioni di congestione.

Quando la riserva di capacità è ridotta, occorre prestare particolare attenzione ai tempi di attesa, alla lunghezza delle code e all'evoluzione del traffico sulle strade in questione negli anni successivi al momento del progetto. Alcuni accorgimenti per incrementare la capacità di una rotatoria consistono nell'allargare la sezione di ingresso dei bracci, ingrandire l'isola spartitraffico, aumentare le dimensioni dell'anello e creare una corsia esterna alla rotatoria per la svolta a destra (qualora vi sia un volume veicolare di svolta a destra di almeno 300 veicoli/h nei periodi di punta; figura 6). Tuttavia, con flussi di traffico molto elevati, cioè con valori situati nell'area bianca a destra del triangolo nella figura 5, la rotatoria ha buona probabilità di venire saturata e perciò la sua realizzazione è sconsigliata.

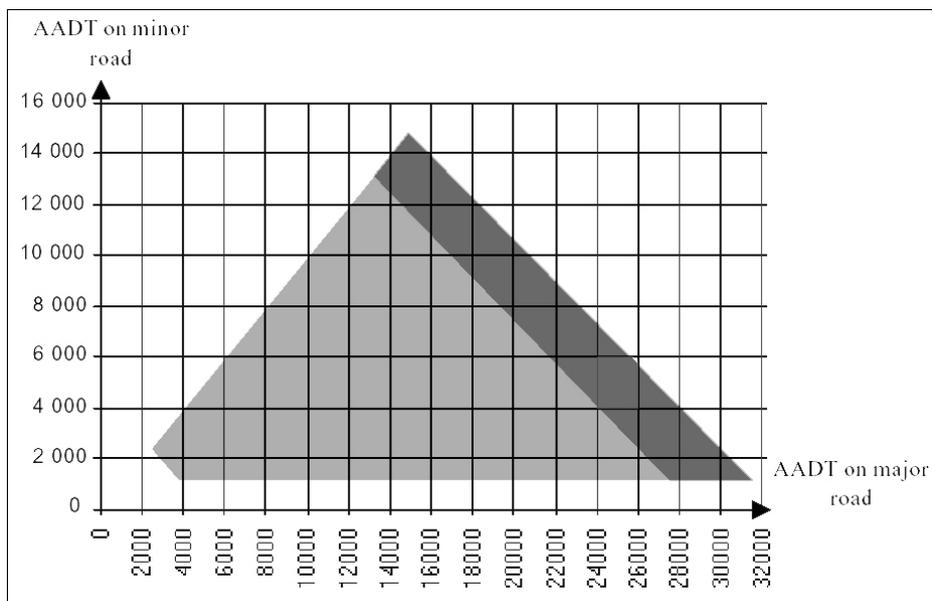


Figura 5 - Ambito di utilizzo delle rotatorie con riferimento ai flussi di traffico convergenti nell'intersezione (fonte: SETRA, 1998, *Aménagement des carrefours interurbains sur les routes principales*)

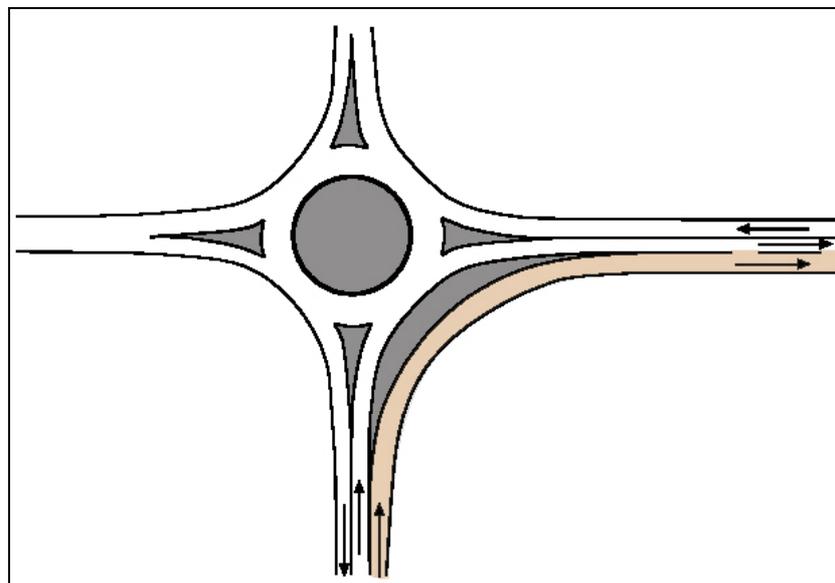


Figura 6 - La capacità di una rotatoria può essere ampliata con l'inserimento di una corsia diretta per la svolta a destra (fonte: Ministero delle infrastrutture e dei trasporti, 2001, *Norme sulle caratteristiche funzionali e geometriche delle intersezioni stradali*)

Per quanto riguarda le dimensioni delle rotatorie, le linee guida osservano che non sempre progettare rotatorie di grandi dimensioni è consigliabile in ambito urbano, in quanto la capacità

non viene incrementata in misura proporzionale alle dimensioni, mentre aumentano i costi di realizzazione e si riduce notevolmente la sicurezza degli utenti deboli (figura 7).

Secondo le linee guida francesi, un raggio esterno inferiore a 12 m è comunque sconsigliabile, a causa delle difficoltà che i mezzi pesanti avrebbero nel superarlo. In questo caso si renderebbe necessaria la realizzazione di isole centrali parzialmente sormontabili, passando, in tal modo, all'adozione delle miniroatorie. Su strade secondarie, in cui il traffico pesante è trascurabile, è accettabile un raggio esterno compreso tra 12 e 15 m. Per le strade a traffico intenso, un raggio di 15 m offre condizioni di rotazione sufficienti anche per i mezzi più ingombranti (autoarticolati o motrici con semirimorchio). Alle strade a carreggiate separate devono invece essere riservati raggi esterni dell'ordine di 25 m.



Figura 7 - Nelle rotatorie di grandi dimensioni, è più difficile garantire la sicurezza degli utenti deboli (fonte: sito Internet <http://www.ite.org>)

Dimensioni analoghe sono prescritte dalle *Norme sulle caratteristiche funzionali e geometriche delle intersezioni stradali*, che indicano, per le rotatorie compatte, raggi esterni compresi tra 13 e 20 m. In ogni rotatoria, la larghezza dell'anello percorribile dai veicoli non deve essere inferiore ai 6 m. La figura 8 mostra un esempio di ripartizione degli spazi nelle rotatorie compatte.

La manualistica più recente è concorde nell'affermare che la regola principale da seguire nel disegno progettuale delle rotatorie riguarda la deflessione delle traiettorie che attraversano il nodo. Poiché lo scopo primario delle rotatorie consiste nella ricerca del controllo delle velocità all'interno dell'incrocio, risulta essenziale che la geometria complessiva impedisca velocità superiori ai limiti usualmente assunti come base di progetto, e cioè velocità massime di 40-50 km/h per le manovre nei pressi dell'intersezione. Dalle analisi si ricava che la deflessione non deve superare i valori di 80-100 m (figura 9); una deflessione di circa 30 m può essere consigliata nella maggior parte delle rotatorie.

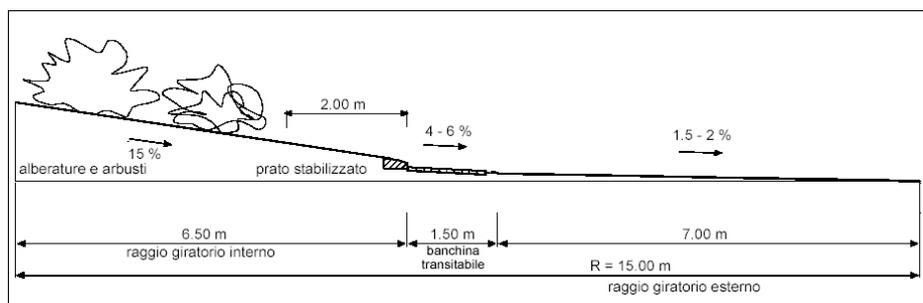


Figura 8 - Un esempio di ripartizione degli spazi in una rotatoria compatta con raggio esterno di 15 m (fonte: Ministero delle infrastrutture e dei trasporti, 2001, Norme sulle caratteristiche funzionali e geometriche delle intersezioni stradali)

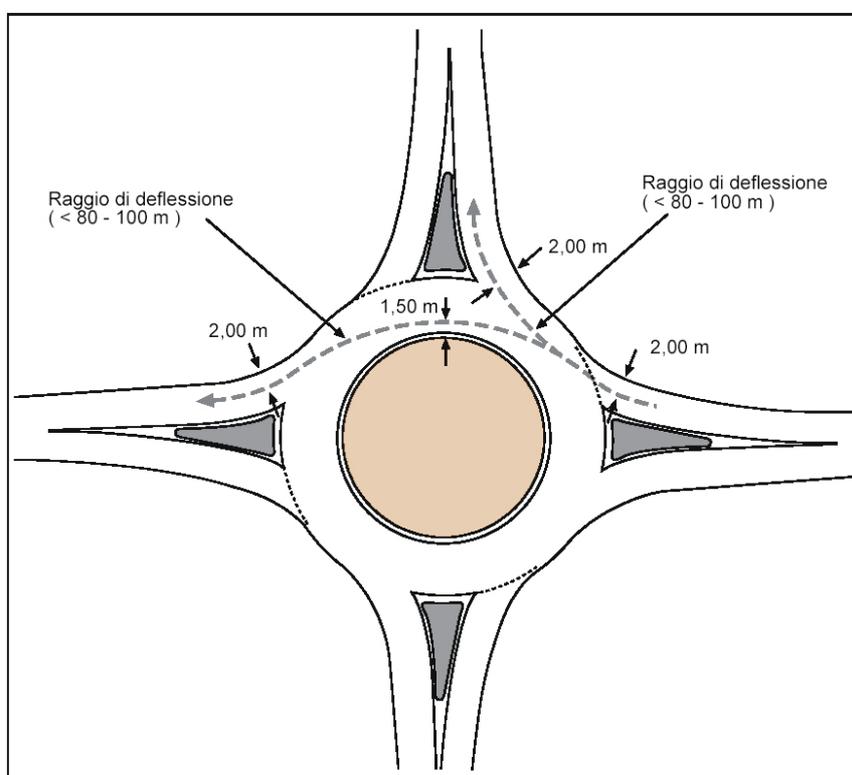


Figura 9 - Schema di una rotatoria con l'indicazione del raggio di deflessione raccomandato (fonte: Ministero delle infrastrutture e dei trasporti, 2001, Norme sulle caratteristiche funzionali e geometriche delle intersezioni stradali)

Per quanto concerne il posizionamento dell'isola centrale, le linee guida francesi affermano che la posizione è corretta quando tutti gli assi dei bracci di strada che convergono nell'intersezione puntano verso il centro dell'isola. Dal momento che questa configurazione non è sempre possibile, è opportuno che l'isola venga centrata in primo luogo rispetto agli assi delle direttrici principali; in seguito si deve provvedere alla sistemazione delle strade secondarie, tenendo conto del fatto che un lieve disassamento verso sinistra è accettabile, mentre verso destra deve essere sempre evitato, perché favorisce l'ingresso nella rotatoria a velocità troppo elevate (figura 10).

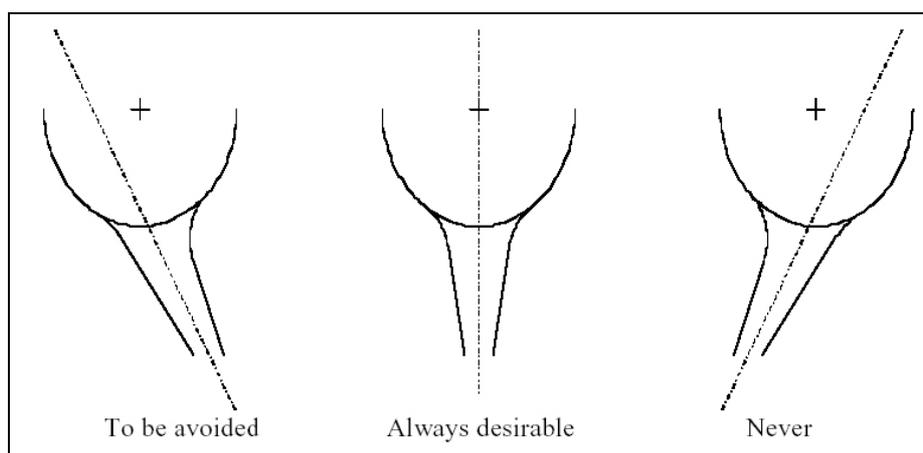


Figura 10 - Direzione degli assi dei bracci stradali rispetto all'isola centrale (fonte: Setra, 1998, *Aménagement des carrefours interurbains sur les routes principales*)

Nel caso di un'intersezione a T, occorre che anche i bracci della strada che prosegue diritta siano rivolti verso il centro dell'isola: in pratica, l'intersezione deve assumere la forma di una Y, evitando che la strada che prosegue diritta si immetta nella rotatoria lambendola tangenzialmente (figura 11).

L'isola centrale deve essere preferibilmente di forma circolare, poiché le forme ovali o irregolari comportano una diminuzione dei livelli di sicurezza. Non vi è una dimensione massima prescritta per il raggio dell'isola, anche se, come già osservato, dimensioni molto elevate non sono in genere consigliate. In una rotatoria con raggio esterno compreso fra 12 e 15 m, le linee guida francesi suggeriscono che l'isola centrale abbia un raggio minimo di 3,5 m adibito a zone non valicabili e una fascia sormontabile larga 1,5 o 2 m, per il passaggio dei mezzi pesanti. Questa fascia deve avere una pendenza compresa fra il 3 e il 6% ed essere separata dall'anello da un piccolo gradino o da qualche altro elemento che dissuada le automobili dal percorrerla per evitare la deflessione della rotatoria.

L'isola centrale può essere abbellita dall'inserimento di elementi verdi o altre forme di arredo (fontane, sculture, ecc.), prestando però attenzione alla necessità di non ostruire completamente la visuale e di non posizionare strutture troppo pericolose in caso di incidente (figura 12).

L'anello di scorrimento, in rotatorie di dimensioni medie, deve essere configurato non come una strada a senso unico, divisa in 2 o 3 corsie parallele dalla segnaletica orizzontale, ma come una strada ad un'unica corsia, sufficientemente larga per consentire il passaggio dei mezzi pesanti (figura 13). La larghezza dell'anello dipende dal raggio complessivo della rotatoria, e dalla larghezza e numero di corsie che confluiscono nell'intersezione: la dimensione minima è di circa 6 m, mentre 7 m si può considerare una larghezza standard. Nel caso di strade con più di una corsia per senso di marcia, l'anello non dovrebbe comunque essere più ampio di 9 m. Generalmente non è opportuno delineare le corsie all'interno dell'anello, mentre i margini esterni e interni possono essere evidenziati con la segnaletica orizzontale.



Figura 11 - Anche nelle intersezioni a T occorre far convergere tutti i bracci verso il centro (fonte: sito Internet <http://www.walkinginfo.org>)



Figura 12 - Nell'isola centrale possono essere inseriti elementi verdi o di arredo urbano

In corrispondenza di ogni braccio stradale, le corsie di ingresso e di uscita devono essere separate da isole spartitraffico in rilievo, in genere di forma triangolare; il semplice disegno dell'isola sulla pavimentazione non è sufficiente a garantire la sicurezza. I principali manuali affermano che l'ingresso nella rotatoria avviene di solito mediante una corsia singola, tranne nei casi in cui il calcolo della capacità ha messo in evidenza la necessità di una corsia di ingresso aggiuntiva; le *Norme sulle caratteristiche funzionali e geometriche delle intersezioni stradali*, tuttavia, consigliano di allargare la corsia all'ingresso della rotatoria, per migliorare lo smaltimento delle code. Le dimensioni consigliate sono comprese tra 4 m (per una sola corsia) e 7 m (per due corsie). Indicazioni analoghe possono essere formulate per le corsie di uscita dalla rotatoria, che possono avere dimensioni lievemente superiori rispetto a quelle di ingresso, per favorire il deflusso dei veicoli.



Figura 13 - L'anello di scorrimento deve essere ad un'unica corsia, con i margini evidenziati, sufficientemente largo per consentire il passaggio dei mezzi pesanti

Le isole spartitraffico all'ingresso delle rotatorie sono elementi molto importanti; esse svolgono, infatti, alcune funzioni di rilievo:

- migliorano la percezione dell'intersezione da parte del traffico che si avvicina ad essa;
- fungono da rifugio intermedio per i pedoni durante gli attraversamenti;
- evitano che i veicoli in ingresso e in uscita dalla rotatoria possano collidere, soprattutto nei casi in cui gli spazi sono ridotti;
- creano uno spazio adatto per il posizionamento della segnaletica verticale;
- facilitano la corretta interpretazione del senso di marcia nella rotatoria, impedendo di svoltare a sinistra, con una manovra errata.

Le isole spartitraffico in corrispondenza delle rotatorie hanno in genere una forma triangolare; ove possibile, la lunghezza dell'isola dovrebbe superare i 15 m, o almeno essere pari alla dimensione del raggio esterno della rotatoria. Una larghezza di 4 m può essere adeguata per rotatorie di piccole e medie dimensioni; la larghezza minima, in ogni caso, non deve essere inferiore ai 2 m. Queste raccomandazioni, tuttavia, possono essere trascurate nel caso di strade secondarie poco frequentate, nelle quali talvolta l'isola spartitraffico può addirittura essere eliminata.

Le isole dovrebbero essere ben visibili di giorno e di notte, evidenziate mediante materiali di colore chiaro, in contrasto con la pavimentazione, o riflettenti la luce (figura 14).



Figura 14 - Le isole spartitraffico sono elementi molto importanti per la sicurezza delle rotatorie (fonte: sito Internet <http://www.walkinginfo.org>)

6. EFFICACIA ED EFFICIENZA DELLA MISURA

L'ITE statunitense ha messo a confronto le rotatorie con le intersezioni semaforizzate o regolate dalle precedenze, individuando per le rotatorie i seguenti vantaggi:

- il rallentamento da parte di tutti i veicoli che si avvicinano all'intersezione o la percorrono;
- una riduzione nel numero di incidenti e nella gravità degli stessi;
- una maggior capacità di smaltire i veicoli provenienti dalle strade laterali;
- una sostanziale riduzione dei ritardi per i veicoli, rispetto alle intersezioni semaforizzate;

- una diminuzione dei consumi di carburante e un generale miglioramento della qualità dell'aria, dovuta all'eliminazione delle rapide accelerazioni e decelerazioni caratteristiche delle intersezioni regolate da semafori;
- la possibilità di incrementare la qualità urbana dello spazio dell'intersezione.

Per quanto riguarda la riduzione della velocità dei veicoli, alcuni studi svolti negli Stati Uniti hanno dimostrato che la velocità è direttamente correlata con la dimensione della rotatoria: essa è funzione della larghezza dell'anello e della deflessione imposta ai veicoli.

Al fine di far rallentare i veicoli, è necessario che la corsia veicolare non sia troppo ampia e la deflessione sia pronunciata: se una corsia lambisce solo tangenzialmente la rotonda, l'effetto di riduzione della velocità viene vanificato e si possono generare situazioni molto pericolose. Per lo stesso motivo, non è in genere consigliato realizzare rotatorie con più di una corsia veicolare nell'anello, le quali inducono al "taglio di corsia" per ridurre la deflessione e aumentare la velocità.

Tutti gli studi condotti nei Paesi europei e americani concordano nell'affermare che le intersezioni a rotatoria sono più sicure rispetto a quelle con lo stop e con diritto di precedenza, e talvolta anche di quelle semaforizzate. La figura 15 mette a confronto i possibili punti di incidentalità in un'intersezione tradizionale e in una a rotatoria, evidenziando la maggior sicurezza intrinseca della rotatoria.

Le linee guida francesi, applicando un modello di calcolo relativo alla stima dell'incidentalità elaborato dall'INRETS (Institut national de recherche sur les transports et leur sécurité), hanno valutato il rischio medio di incidenti per un'intersezione composta da una strada principale, avente 15.000 veicoli/giorno, e una strada secondaria, avente 5.000 veicoli/giorno. Prendendo in considerazione un periodo di cinque anni, con l'intersezione tradizionale si verificano 7,9 incidenti, con la rotatoria 1,5 incidenti. Anche la gravità degli incidenti risulta essere differente: in una rotatoria la proporzione degli incidenti mortali sul totale degli incidenti con feriti è circa due volte inferiore rispetto a quella registrata in un'intersezione tradizionale.

Per contro, si segnala un tipo di incidente più frequente in presenza delle rotatorie: la perdita di controllo del veicolo, specialmente se sopraggiungente a velocità elevata, con conseguente invasione dell'isola centrale della rotatoria.

Si ritiene generalmente che le rotatorie siano misure molto costose. In realtà, il loro costo è estremamente variabile, poiché dipende dalle dimensioni dell'intersezione e dell'isola centrale, dai materiali impiegati, dalla quantità di verde che viene posizionato, dall'usura della segnaletica orizzontale. È possibile realizzare rotatorie con budget abbastanza contenuti, anche se la qualità estetica della misura non sempre sarà elevata. Per quanto riguarda i costi di manutenzione, si sottolinea che una voce di spesa consistente è costituita dalle aree verdi (figura 16).

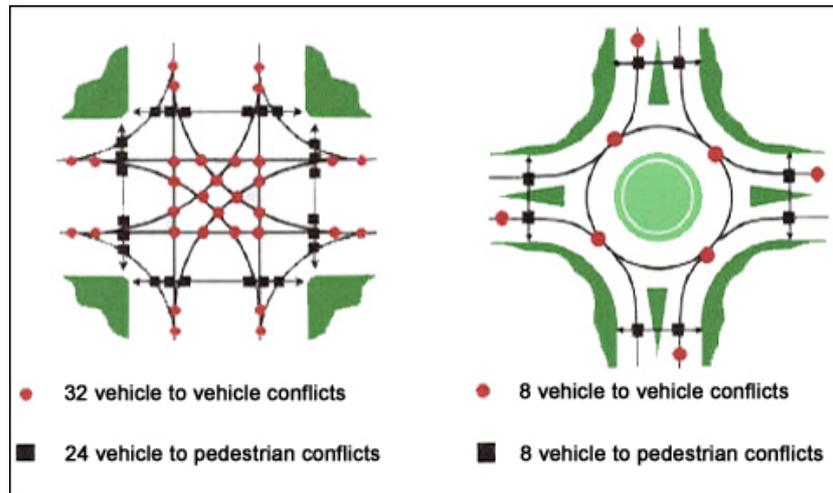


Figura 15 - Confronto fra i punti di incidentalità in un'intersezione a precedenza o semaforizzata (a sinistra) e in una con rotatoria (a destra): in rosso gli incidenti tra i veicoli, in nero l'investimento di pedoni (fonte: sito Internet <http://www.mini-roundabout.com>)



Figura 16 - Una voce di spesa ingente dei costi di gestione delle rotatorie è costituita dalla manutenzione delle aree verdi (fonte: sito Internet <http://www.ite.org>)

7. FACILITÀ D'USO PER GLI UTENTI DEBOLI

Per quanto riguarda la facilità d'uso delle rotatorie per i pedoni e i ciclisti, la manualistica fornisce interpretazioni non sempre concordi.

Le linee guida francesi affermano che la realizzazione di rotatorie migliora la sicurezza dei pedoni rispetto alle intersezioni a raso con diritto di precedenza, a causa della moderazione della velocità che esse determinano, ma non rispetto alle intersezioni semaforizzate, che vengono apprezzate dagli utenti più deboli e con difficoltà di movimento. Il SETRA aggiunge che il problema del posizionamento delle strisce pedonali non è ancora risolto con chiarezza.

Le *Norme sulle caratteristiche funzionali e geometriche delle intersezioni stradali* asseriscono che «va realizzato un arretramento di 4-5 m del passaggio pedonale rispetto al bordo esterno dell'anello rotatorio, in modo che i pedoni possano passare dietro la prima vettura ferma in attesa di inserirsi nella corona giratoria. In tale posizione risulta inoltre più semplice migliorare la visibilità reciproca pedone - automobilista evidenziando il movimento pedonale rispetto a quello veicolare. In caso di elevato traffico pedonale si può prevedere anche per le rotatorie la adozione di una regolazione semaforica specifica per i soli pedoni, ma a condizione che l'attraversamento venga arretrato di qualche decina di metri rispetto all'anello e che i tempi di attraversamento siano contenuti ad evitare un riflusso sulla corona giratoria che deve rimanere assolutamente libera» (p. 101; figura 17).

Poiché inoltre la rotatoria è caratterizzata dall'inserimento di isole spartitraffico tra i due sensi opposti di marcia, risulta in genere agevole la separazione dell'attraversamento in due fasi, utilizzando l'isola come spazio di rifugio e di frazionamento dell'itinerario.



Figura 17 - Secondo le *Norme sulle caratteristiche funzionali e geometriche delle intersezioni stradali*, nelle rotatorie poste in ambito urbano gli attraversamenti pedonali devono essere arretrati rispetto all'anello e ben segnalati

Tra i provvedimenti necessari a regolare l'attraversamento pedonale, vi è la necessità di dissuadere i pedoni dall'attraversare l'anello veicolare. Occorre combinare due diverse linee di intervento:

- realizzare percorsi pedonali lungo la corona esterna dotati di un'elevata qualità, in modo da indurre i pedoni a preferire i percorsi loro dedicati;
- inserire ostacoli appropriati lungo i bordi dei percorsi (elementi verdi, vasi da fiori, transenne, catene, ecc.), in modo da dissuadere da deviazioni scomode e avventurose.

Il ricorso a sottopassi pedonali è considerato dalle linee guida un intervento di natura eccezionale, riservato a casi particolari in cui le misure viabilistiche ordinarie non risultino sufficienti.

Per quanto riguarda i ciclisti, la questione è ancora più complessa.

La manualistica francese afferma che indagini compiute sul territorio urbano hanno evidenziato che l'incidentalità dei ciclisti resta uguale nel caso di intersezioni tradizionali o con rotatoria: in quest'ultimo caso, le biciclette sono coinvolte soprattutto in incidenti di immissione (un veicolo in ingresso urta un ciclista che sta circolando sull'anello). Occorre dunque evitare le corsie di immissione troppo larghe e le traiettorie in entrata troppo dirette, che favoriscono le velocità elevate e portano a non considerare adeguatamente i ciclisti circolanti sull'anello.

Dal punto di vista operativo, le linee guida del SETRA osservano che, sebbene non sia possibile al momento attuale giustificare chiaramente questa posizione in base a studi sulla sicurezza, si considera come soluzione preferibile l'interruzione della pista e l'immissione delle biciclette nella circolazione generale delle rotatorie, evitando la realizzazione sia di una corsia ciclabile affiancata a quella veicolare, sia di una pista ciclabile separata, che provocherebbe un allungamento del percorso e un aumento dei punti di conflitto.

Quando la pista ciclabile si interrompe in corrispondenza di una rotatoria, una soluzione efficace è quella di offrire ai ciclisti la possibilità di scegliere fra due diverse opzioni, in relazione ai propri livelli di abilità (figura 18). Il ciclista può dunque:

- immettersi nell'anello della rotatoria proseguendo sulla stessa traiettoria, ma senza corsia ciclabile;
- salire sul marciapiede tramite un apposito raccordo e superare la rotatoria accanto al percorso pedonale, per poi rientrare successivamente nella corsia o pista dedicata (la segnaletica orizzontale può evidenziare la presenza dei ciclisti agli attraversamenti).

Contrariamente alle indicazioni francesi, numerosi altri Stati, fra cui l'Italia, ritengono che la prosecuzione della pista ciclabile in corrispondenza di una rotatoria sia una misura spesso necessaria, soprattutto in caso di flussi elevati di veicoli e ciclisti e di rotatorie di grandi dimensioni. Quando la velocità di percorrenza dei veicoli è superiore a 50 km/h, le *Norme sulle caratteristiche funzionali e geometriche delle intersezioni stradali* prescrivono la realizzazione di un anello dedicato alle biciclette, anche complanare ma fisicamente separato rispetto a quello veicolare (figura 19).



Figura 18 - Una rotonda a Chambéry in cui la pista ciclabile termina prima della rotonda e il ciclista può scegliere se proseguire sull'anello veicolare o immettersi nel percorso pedonale, che in quel punto si trova allo stesso livello

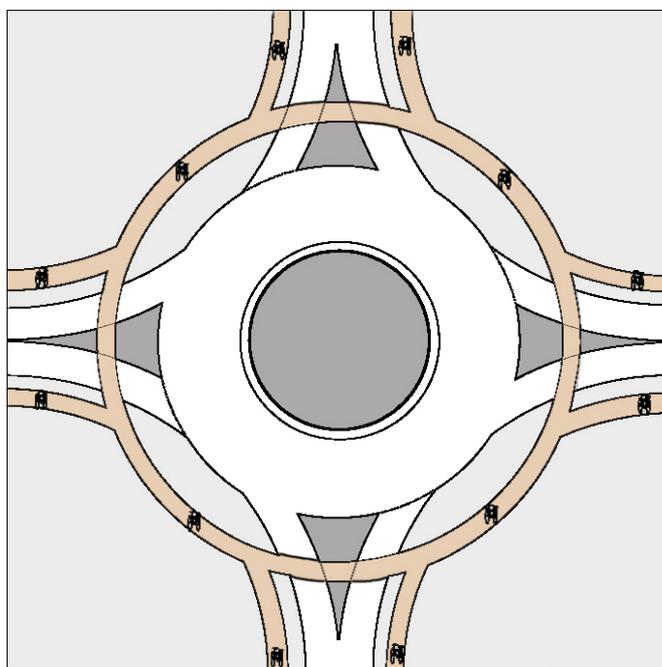


Figura 19 - Schema di rotonda con pista ciclabile esterna e separata dall'anello veicolare, proposta dalle Norme sulle caratteristiche funzionali e geometriche delle intersezioni stradali

Il percorso ciclabile, adeguatamente evidenziato tramite colorazione e segnaletica orizzontale, non deve essere realizzato all'interno dell'anello della rotatoria: gli automobilisti, infatti, concentrati nella manovra di immissione o di uscita dalla rotatoria, spesso non prestano attenzione alle biciclette circolanti sull'anello loro riservato (figura 20).



Figura 20 - Un esempio di rotatoria potenzialmente pericolosa per i ciclisti, in quanto la corsia ad essi destinata è ricavata all'interno della corona giratoria e costituisce di fatto un ampliamento dell'anello veicolare (fonte: sito Internet www.ite.org)

Occorre invece far passare la pista ciclabile in un anello concentrico rispetto alla rotatoria ma esterno ad essa, così da lasciare, tra la rotatoria e il detto anello, uno spazio di ampiezza pari almeno ad un'automobile: in tal modo, gli automobilisti hanno la possibilità di completare la manovra di uscita dalla rotatoria, e di prestare solo a quel punto attenzione agli attraversamenti delle biciclette (figura 21).

L'anello ciclabile può essere utilmente affiancato al percorso pedonale, in modo che gli attraversamenti risultino adiacenti.

Le *Norme sulle caratteristiche funzionali e geometriche delle intersezioni stradali* affermano che sugli attraversamenti ciclabili, da disporre perpendicolarmente alle corsie veicolari, i veicoli motorizzati devono comunque mantenere la precedenza, «sacrificando la continuità di deflusso delle due ruote» (p. 107), ma questo principio non è ribadito da nessun altro manuale, in quanto sarebbe fonte di grande confusione, dal momento che l'utenza debole, costituita da ciclisti e pedoni, è in genere accomunata dal fatto di godere del diritto di precedenza sugli attraversamenti ad essa appositamente dedicati.



Figura 21 - Un esempio di rotatoria sicura per i ciclisti, in quanto la corsia ad essi destinata è ricavata all'esterno della corona giratoria, con uno spazio intermedio di fermata per le automobili in entrata e in uscita dalla rotatoria (fonte: European Commission, 1998, Adonis - Analysis and Development of New Insight into Substitution of Short Car Trips by Cycling and Walking)

BIBLIOGRAFIA

Biddulph M. (2001) *Home Zones. A Planning and Design Handbook*, The Policy Press, Bristol.

CETUR - Centre d'étude des transports urbains (1992) *Guide Zone 30. Méthodologie et recommandations*, CETUR, Bagneux.

Commissione europea (2003) Programma di azione europeo per la sicurezza stradale - *Dimezzare il numero di vittime della strada nell'Unione europea entro il 2010: una responsabilità condivisa*.

CSS - County Surveyors' Society (1994) *Traffic Calming in Practice*, CSS, London.

Danish Road Directorate (1998) *Pedestrian Safety - Analyses and Safety Measures*.

Danish Road Directorate (2000) *Collection of Cycle Concepts*.

Danish Road Directorate (2002) *Beautiful Roads - A Handbook of Road Architecture*.

Département Fédéral de l'Environnement, des Transports, de l'Energie et de la Communication (2002) *Plan Directeur de la Locomotion Douce*.

DfT - Department for Transport (1996) *Developing a Strategy for Walking*.

European Commission - Transport RTD Programme - Fourth Framework Programme (2001) *EXTRA - Urban Transport*.

Hamilton-Baillie B. (2002) *Home Zones - Reconciling People, Places and Transport*, Winston Churchill Memorial Trust, London.

IHT - The Institution of Highways and Transportation (2005) *Traffic Calming Techniques*, IHT, London.

ITE - Institute of Transportation Engineers (1993) *Disegno di strade urbane e controllo del traffico*, Hoepli, Milano.

ITE - Institute of Transportation Engineers (1999) *Traffic Calming: State of the Practice*, ITE, Washington, D.C.

USTRA - Ufficio federale delle strade (s.d.) *Moderazione del traffico all'interno delle località*, USTRA, Berna.

Ventura V. (a cura di) (1999) *Guida alla "zona 30". Metodologia e raccomandazioni*, Collana Cescam, quaderno n. 1, Editoriale Bios, Cosenza.