

LE ROTATORIE ATTRAVERSATE DA SISTEMI TRANVIARI IN SITO PROPRIO

ROTATORIE senza conflitti a prova di tram e PEDONI

di Raphaël Golay, Stefano Manelli e Franco Tufo - CITEC Italia

In 30 anni, la rotatoria, in tutte le sue forme, ha ridefinito lo spazio pubblico stradale europeo. Dapprima silenziosa e riservata a qualche intersezione emblematica della città, è diventata “la soluzione miracolosa” dei tecnici della strada.

Se è certo che gli utenti hanno integrato bene la particolarità della precedenza all’anello (precedenza a sinistra) tra i propri comportamenti, è pur vero che numerose modifiche e adattamenti al concetto della rotatoria “tradizionale” a quattro rami sono stati nel tempo apportati.

Inizialmente prevista come soluzione nel caso di incroci complessi, con elevata incidentalità, il suo impiego si è rapidamente “democratizza-

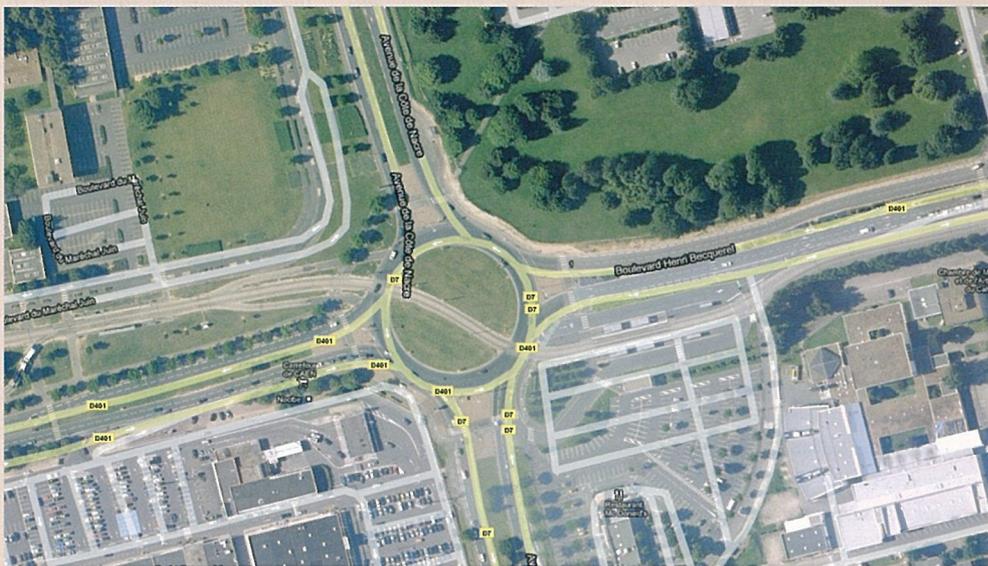
to” e applicato alle situazioni più diverse. Tanto e così bene che la rotatoria è oggi diventata un simbolo, il luogo emblematico di un intervento magistrale o di un’opera d’arte, senza necessariamente interrogarsi sulla pertinenza dell’intervento in relazione ai flussi della mobilità.

Così, malgrado gli imperativi legati alla politica della mobilità (per esempio il bisogno di gestire i flussi in ingresso alla città) o la presenza di trasporti pubblici (TPL) o delle mobilità dolci (MD), l’introduzione delle rotatorie è stata assai abbondante in questi ultimi decenni, obbligando gli specialisti ad ingegnarsi ulteriormente, per trattare ogni situazione ad hoc.

Essendo consapevoli della complessità del problema, questo articolo si limiterà a trattare le tematiche relative alle rotatorie attraversate dal TPL, e più in particolare da sistemi tranviari in sito proprio.

Le domande affrontate sono le seguenti :

- Quali interventi e per quali tipi di TPL?
- Come garantire la precedenza del TPL in una rotatoria rispetto agli altri utenti?
- Quali rischi sussistono per il pedone e le MD?
- Come dimensionare tale opera?
- Occorre inserire una regolazione semaforica?
- Quali vantaggi esistono rispetto ad un incrocio tradizionale ?



Un esempio di rotatoria attraversata della città di Caen in Francia.



Foto Agenzia Sintesi

ROTATORIE senza conflitti a prova di tram e PEDONI →

Sicurezza

RICHIAMO "STORICO"

Nel XIX secolo, le principali città europee vedono l'apparizione delle prime grandi rotonde con l'obiettivo di identificare i luoghi pubblici significativi della città.

La circolazione di queste intersezioni era completamente indifferenziata, il che provocava un numero di punti di conflitto molto elevato.

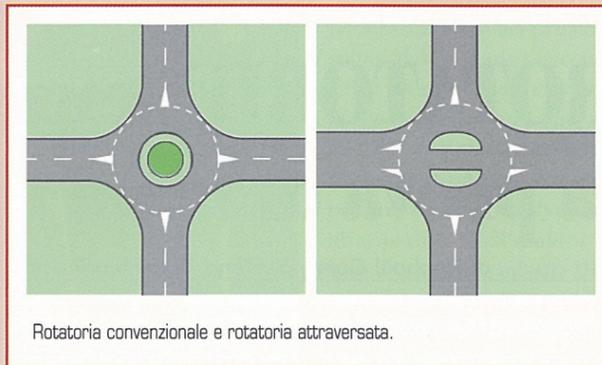
Di fronte a questo problema di sicurezza e fluidità, all'inizio del XX secolo fu introdotta la circolazione a senso unico nell'anello. Tuttavia questa miglioria non impediva l'autobloccaggio della circolazione nell'anello, dovuta alla precedenza al traffico entrante.

Nel 1966, la Gran Bretagna generalizza la "precedenza alla strada che forma un anello attorno all'isola centrale": la moderna rotatoria!

Questo cambiamento fondamentale è alla base del successo folgorante delle rotonde in Europa, di cui le ragioni sono principalmente: performance interessanti in termini di capacità, riduzione dei tempi di attesa, diminuzione delle emissioni e miglioramento delle condizioni di sicurezza (si veda "Les accidents dans les carrefours giratoires urbains. Etudes statistiques de 1993 à 2005", CERTU).

Nel 1974, nel cantone di Vaud in Svizzera, è stato deciso di testare per la prima volta in Svizzera il principio di precedenza al flusso nell'anello. Occorrerà in seguito attendere gli anni '80 perché questa regola sia adottata a livello nazionale.

In Francia, questo stesso



Rotatoria convenzionale e rotatoria attraversata.

principio è stato adottato nel 1984. L'esempio francese conta oggi circa 30.000 rotonde, ovvero circa la metà delle rotonde oggi presenti nel mondo!

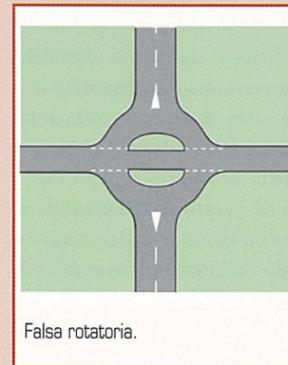
Nonostante l'assenza di statistiche, si può affermare che anche Svizzera ed Italia abbiano conosciuto lo stesso tipo di sviluppo.

EFFICACIA E LIMITI

Essenzialmente in favore del traffico individuale motorizzato (TIM), i principali punti di forza della rotatoria sono l'eliminazione dell'autobloccaggio indotto dalla semplificazione dei punti di conflitto, la dimensione ridotta che assicura generalmente un inserimento agevole nel tessuto urbano.

Le rotonde permettono inoltre di rimuovere installazioni semaforiche vetuste e/o non più adatte alle attuali condizioni di traffico.

Al contrario, l'integrazione delle MD (due ruote e pedoni), delle persone a mobilità ridotta (PMR), così come la gestione della precedenza per il TPL, sono tra i principali punti deboli delle rotonde; è infatti assai difficile trovare soluzioni che realmente soddisfino appieno i requisiti teori-



Falsa rotatoria.

ci per l'integrazione di queste categorie di utenza nel progetto.

TIPOLOGIE D'INTERVENTO

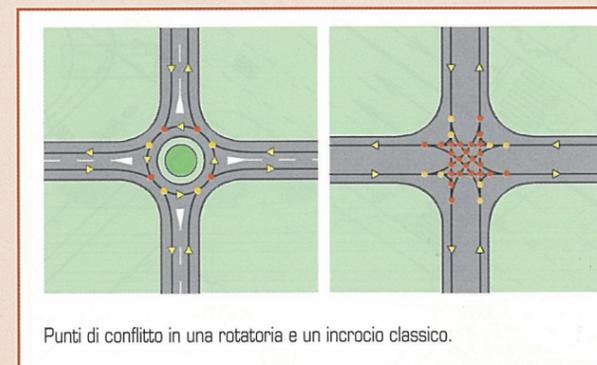
Prima del dimensionamento, due tipologie sostanziali di rotonde devono essere distinte:

- le rotonde "convenzionali" ove l'insieme dei veicoli motorizzati ruota intorno ad un'isola centrale;
- le rotonde "attraversate" ove una parte degli utenti è autorizzata ad attraversare l'isola centrale su corsia riservata (ad esempio il TPL).

Il distinguo è essenzialmente legato alla presenza o no di una linea di trasporto pubblico in sito proprio in particolare un tram, per il quale il solo vincolo geometrico giustifica la necessità di garantire una traiettoria il più possibile di-

ROTONDE senza conflitti a prova di tram e PEDONI

Sicurezza



Punti di conflitto in una rotatoria e un incrocio classico.

retta in attraversamento dell'intersezione.

Non affronteremo le particolarità delle "false rotonde spagnole" in cui solamente le svolte a sinistra sono indirette attraverso l'anello, mentre il flusso principale conserva una traiettoria rettilinea attraverso l'isola centrale.

I CRITERI DI SCELTA

I criteri di scelta per l'introduzione di una rotatoria e per il suo dimensionamento sono troppo spesso ignorati in ragione di un falso postulato: "la rotatoria funziona sempre e in tutte le circostanze".

Gli ingegneri dei trasporti, invece, generalmente incaricati di questo tipo di attività, dovrebbero rispettare innanzi tutto e per lo meno la regola del confronto tra diverse opzioni di intervento (incrocio semaforizzato, rotatoria ecc.)

Più precisamente, la decisione di realizzare una rotatoria su un incrocio (con o senza semaforo) si fonda su un insieme di criteri volutaristici (politiche di mobilità) e criteri tecnici (capacità, impatto ecc.), di intervento e di gestione (regolazione, esercizio ecc.) Sinteticamente, i principali punti sono indicati di seguito:

Identificazione del luogo - Qualità urbanistica adeguata al contesto circostante: la rotatoria è logicamente utilizzata come "porta di ingresso" per marcare l'accesso ad una località ben definita o ad un quartiere.

Moderazione del traffico - Responsabilizzazione dell'insieme dei conducenti in ragione della perdita di precedenza e delle traiettorie che inducono una riduzione delle velocità.

Incremento della sicurezza - Semplificazione e riduzione del numero di punti di conflitto rispetto ad un incrocio tradizionale. Riduzione delle velocità, tramite traiettorie indirette e una perdita di precedenza generalizzata agli ingressi. Circolazione a senso unico nell'anello, con soppressione delle svolte a sinistra pericolose.

Incremento della capacità - Incremento di capacità tanto più elevato quanto maggiore è il numero di rami della rotatoria, soprattutto in ragione delle velocità ridotte che permettono tempi di inserimento migliori tra i veicoli. Capacità più elevata rispetto ad uno stesso incrocio sema-

forizzato, nei casi in cui le svolte a sinistra non siano dominanti.

Riduzione dei tempi di attesa - Rispetto allo stesso incrocio semaforizzato, in ragione dell'utilizzo continuo dell'intersezione.

Riduzione delle emissioni sonore - Velocità più basse, meno frenate brusche e meno accelerazioni inducono comportamenti meno aggressivi e una riduzione del consumo di carburante.

Flessibilità d'inserimento - Numero importante di assi che possono essere raccordati senza moltiplicazione delle corsie di preselezione. Occupazione ragionevole di spazio, soprattutto per le rotonde compatte, perché le corsie di preselezione multiple risultano inutili.

Flessibilità d'itinerario grazie alla possibilità d'inversione - Facilita i movimenti dei veicoli di servizio (taxi, consegne ecc.) in quanto permettono le manovre di inversione. Segnaletica molto semplificata in caso di lavori su un ramo.

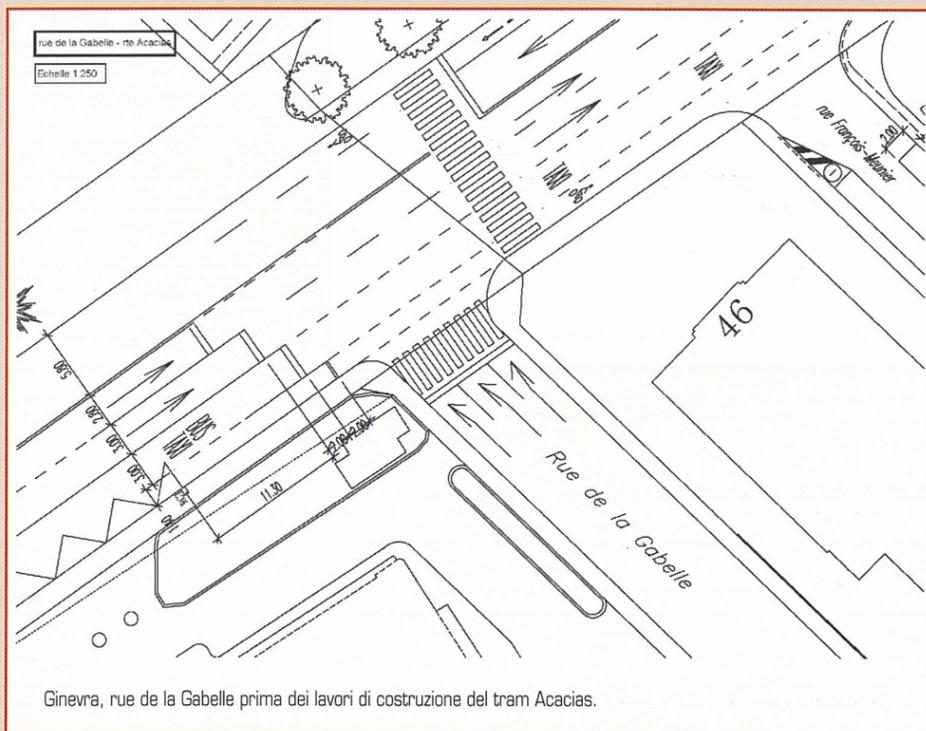
Semplificazione della segnaletica verticale - In generale assenza di segnaletica luminosa. Segnaletica direzionale sobria e più facilmente comprensibile.

CONCEZIONE

Il dimensionamento iterativo tra l'aspetto geometrico e l'aspetto capacitario della rotatoria si fa cercando un punto di ottimo, al fine di rispondere agli obiettivi prefissati del progetto. Da 15 anni or-

ROTONDE senza conflitti a prova di tram e PEDONI →

Sicurezza



Ginevra, rue de la Gabelle prima dei lavori di costruzione del tram Acacias.

mai, le preoccupazioni di fornire precedenza al TPL, la volontà di riservare spazi adeguati per la MD, così come gli aspetti di sicurezza fanno parte degli obiettivi abitualmente ricorrenti.

È utile sottolineare che è fondamentale non partire da pregiudizi. La variante progettuale semaforica, ad esempio, deve essere sistematicamente valutata, perché essa offre regolarmente vantaggi indiscutibili di gestione e controllo del traffico, quando essa è gestita intelligentemente secondo logiche evolute.

Nel caso particolare di attraversamento di una rotonda da parte di un tram, caso sul quale si concentrerà il seguito di questo articolo, l'allineamento relativo tra la rotonda e la piattaforma del tram è un elemento molto importante. Senza entrare nel dettaglio, un attraversamento in linea con l'asse della rota-

toria è la soluzione più favorevole. Altre soluzioni, quali quelle laterali, sono in generale da evitare.

Per maggiori dettagli in merito, si suggerisce di fare riferimento al documento "Rotatorie e tram, guida alla concezione" del CERTU.

Ma come assicurare la precedenza al tram in una rotonda? I numerosi esempi recenti cercano di combinare il mantenimento della "funzione di rotonda" in assenza di TPL e aggiungere la "funzione incrocio semaforizzato" per prendere in considerazione il passaggio del tram.

Le dimensioni - A livello geometrico, la dimensione dell'isola centrale è funzione dei due parametri seguenti:

- la larghezza del sito proprio tram, la cui dimensione varia tra 6,30 e 7,50 m, a seconda dello scarto tra i binari (metrico o normale), le carat-

teristiche della piattaforma e i veicoli su questa autorizzati (solo tram o promiscuità con il bus, inerbimento o no del sito ecc.);

- la dimensione delle due mezzelune, che risulta da una parte dalla dimensione dell'isola centrale e dall'altra dai vincoli del sito proprio, in quanto è necessario poter inserire le attrezzature di segnaletica (in caso di stoccaggio eventuale di flussi in svolta a sinistra nell'anello).

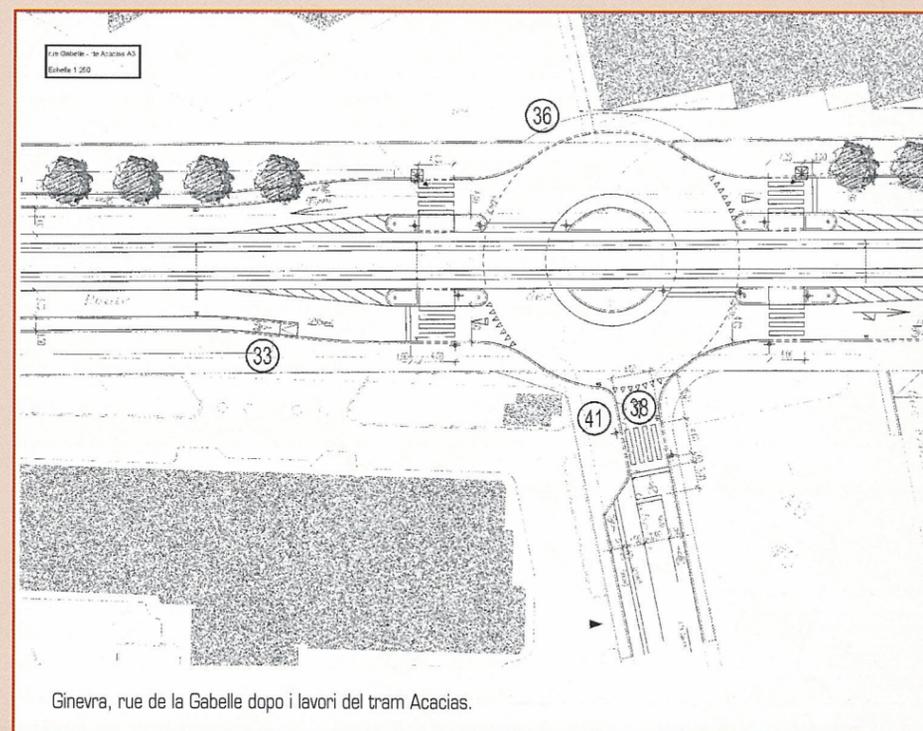
Il diametro esterno della rotonda dipende invece:

- dal caso di carico ovvero dal traffico determinante, che permette di definire il numero di corsie necessarie agli ingressi, nell'anello e alle uscite (si veda oltre);
- dallo spazio a disposizione;
- dai veicoli che possono dover effettuare inversione.

In generale, in ambito urbano, un diametro compreso tra 25 e 32 m è un buon compro-

ROTATORIE senza conflitti a prova di tram e PEDONI

Sicurezza



Ginevra, rue de la Gabelle dopo i lavori del tram Acacias.

messo, perché assicura l'essenziale delle possibilità. Ma la messa in opera di un sito proprio tram lungo un asse stradale si accompagna spesso ad aggiustamenti considerevoli nella gestione e nel numero di corsie in sezione, che si traducono in una riduzione della capacità per i TIM. Alle volte, le trasformazioni richieste sono tali per cui il mantenimento di una rotonda necessiterebbe dimensioni impressionanti (fino a 50-60 m di diametro, o anche oltre), conducendo al bisogno di gestire l'insieme dei flussi con semafori in maniera permanente. Ben inteso, in questi casi è da proibire. Con l'aumentare del diametro, infatti, il funzionamento a rotonda non è più garantito e tende a trasformarsi in una serie di intersezioni a "T". L'aumento di diametro non garantisce un aumento di capacità, che oltre tutto sopra i 40 m non potrà

più calcolarsi con le usuali formule empiriche.

La regolazione - Generalmente, la scelta della regolazione è fatta sulla base della capacità (o meno) della rotonda di permettere lo stoccaggio nell'anello dei flussi di svolta a sinistra durante il blocco occasionato dal passaggio di un tram. Ma in ogni caso, è attrezzata di una segnalazione luminosa tricolore (SLT). Tre casi sono possibili:

Postulato 1: i flussi di svolta a sinistra e quelli provenienti dall'asse trasversale sono deboli; in questo caso è quindi possibile stoccare nell'anello i rari veicoli in conflitto con il tram, senza penalizzare gli altri flussi. In questo caso, solo i flussi circolanti nell'anello sono attrezzati di SLT a livello della piattaforma del tram. La rotonda non subisce (o poco) l'in-

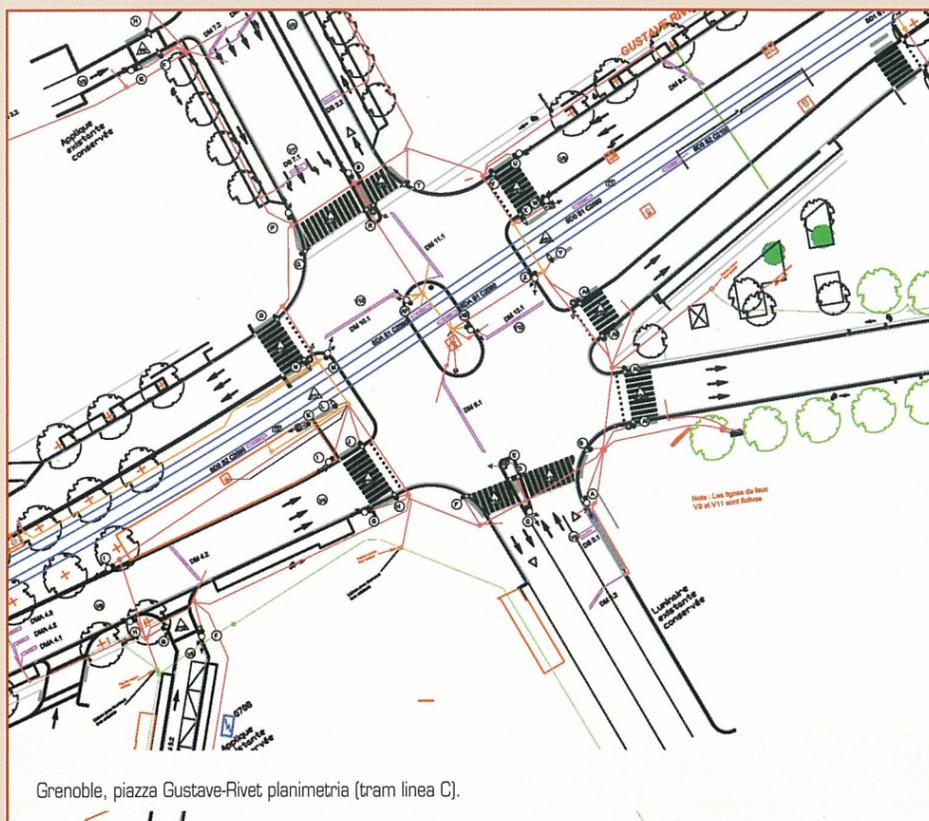
fluenza del passaggio del tram e continua dunque a funzionare a tutti gli effetti come una rotonda e come tale si calcola.

Postulato 2: i flussi dell'asse trasversale sono deboli, ma la svolta a sinistra è forte. In questo caso i veicoli in conflitto con il tram non possono più essere stoccati nell'anello in quanto creerebbero code che penalizzerebbero l'insieme dei flussi attraverso la rotonda. I flussi circolanti nell'anello sono attrezzati con SLT a livello della piattaforma del tram così come agli ingressi della rotonda sull'asse principale. Ad ogni passaggio del tram, la rotonda è quindi gestita come un incrocio semaforizzato.

Postulato 3: l'insieme dei flussi entranti nella rotonda sono forti. Ad ogni passaggio del tram, esiste un rischio di

ROTATORIE senza conflitti a prova di tram e PEDONI →

Sicurezza



Grenoble, piazza Gustave-Rivet planimetria (tram linea C).

blocco per la rotatoria, cosa che non permette più di dissociare la gestione della stessa con o senza il tram. In questo caso ogni entrata deve essere gestita da SLT. La rotatoria è di fatto un incrocio semaforizzato.

Al di là delle formule di calcolo della lunghezza delle code teoriche durante il passaggio di un tram, non esistono in realtà regole per scegliere uno o l'altro tra i modi di regolazione. Segnaliamo, tuttavia, che i due primi casi presentati hanno il vantaggio di conservare il funzionamento della rotatoria per la maggior parte del tempo (in generale preferibile). Al contrario, per l'ultimo caso, in cui la rotatoria funziona come un incrocio semaforico, l'unico vantaggio è quello di permet-

tere tutti i movimenti in uno spazio ridotto (caso non raccomandato).

La capacità - Per il calcolo della capacità, è importante valutare i carichi di traffico previsti in seguito alla messa in opera dell'incrocio semaforizzato o della rotatoria. Numerose domande si pongono a questo livello e la letteratura non è molto documentata:

- Per quale livello di saturazione della capacità occorre dimensionare una rotatoria? In altri termini, è accettabile pensare di raggiungere il 100% della CU% (capacità teorica utilizzata percentuale) su un ramo, o al contrario tale limite di dimensionamento dovrebbe essere posto ad esempio a 120% o ancora a 80%?

- Qual è l'influenza sulla capacità dell'intersezione indotta dall'attraversamento di un tram? In funzione di quale ipotesi di regolazione e per quale livello di servizio dello stesso tram (precedenza)?

Le equazioni sviluppate, tanto nella guida svizzera delle rotatorie del 1991, che in quella del CERTU o nella normativa tedesca, non documentano l'opzione tram. Nella pratica, diversi approcci empirici sono stati sviluppati e in seguito modellizzati.

Il primo approccio è rappresentato dal considerare che il tempo a disposizione nella rotatoria su un'ora non sia pari a 3.600 secondi (tempo totale), ma che tale valore sia ridotto del tempo necessario al passaggio del tram.

ROTATORIE senza conflitti a prova di tram e PEDONI

Sicurezza



Grenoble, piazza Gustave Rivet dopo i lavori (tram linea C).

Per esempio, se un tram attraversa la rotatoria 10 volte all'ora in entrambe le direzioni e blocca la rotatoria per 30 secondi ad ogni passaggio, il tram "consumerà" 600 secondi e solamente 3.000 secondi resteranno disponibili per gli altri utenti.

Al fine di fornire qualche orientamento, le formule generalmente utilizzate possono essere adattate integrando il "disturbo" indotto dal TPL.

Secondo la formula svizzera, cui facciamo riferimento, la capacità massima in ingresso C_e , espressa in veicoli equivalenti all'ora [veq/h], è definita da:

$$C_e = 1.500 - 8/9 Q_g - 1/2 t_b Q_{tc}$$

$$\text{Con } Q_g = \beta Q_c + \alpha Q_s$$

C_e : capacità in ingresso (una corsia) [veq/h]

Q_g : quantità di flusso di disturbo [veq/h]

Q_c : quantità di traffico circolante [veq/h]

Q_s : quantità di traffico in uscita [uv/h]

α : coefficiente che considera il traffico in uscita; varia principalmente in funzione della velocità del flusso e della distan-

za tra i punti di conflitto. $\alpha = 0$ a $0,6$

β : fattore di riduzione del traffico circolante Q_c a seconda del numero di corsie dell'anello. Tiene conto principalmente della ripartizione del traffico circolante sulle corsie dell'anello.

$\beta = 0,9$ a $1,0$ per 1 corsia sull'anello

$\beta = 0,6$ a $0,8$ per 2 corsie sull'anello

$\beta = 0,5$ a $0,6$ per 3 corsie sull'anello

Prendendo in considerazione il TPL:

Q_{tc} : quantità di traffico TPL [v/h]

t_b : tempo di blocco della rotatoria per passaggio di TPL [s]

Una cadenza di 10 tram all'ora e per senso equivale a un Q_{tc} di 20 [v/h]. Il

t_b può generalmente essere stimato in 30 [s], conformemente alle osservazioni.

La stima dei tassi di capacità TCU_e e TCU_c è:

$$TCU_e = (\gamma Q_e / C_e) \times 100 [\%]$$

$$TCU_c = (\gamma Q_c + 8/9 Q_g) / 1.500 \times 100 [\%]$$

Con:

γ : fattore di ripartizione del traffico entrante a seconda del numero di corsie a disposizione. Considera principalmente il grado di utilizzo di ogni corsia di ingresso in funzione delle destinazioni dei flussi.

$\gamma = 1,0$ per 1 corsia in ingresso

$\gamma = 0,6$ a $0,7$ per 2 corsie in ingresso

$\gamma = 0,5$ per 3 corsie in ingresso

Il secondo approccio è quello che consiste nel calcolare innanzitutto i flussi di veicoli che possono circolare durante i passaggi del tram, ovvero qualora la rotatoria sia gestita come un incrocio semaforizzato.

Per ogni movimento non impattato dal passaggio di un tram, una capacità "bonus" può essere presa in considerazione secondo le regole di dimensionamento degli incroci con semaforo. Ovvero, se il tram blocca il semaforo per 30 secondi per 20 volte all'ora, un movimento compatibile potrà scorrere liberamente attraverso l'intersezione fino ad un massimo di 300 [veq/h], riducendo quindi il traffico di dimensionamento della rotatoria ai fini del calcolo di capacità.

Sulla base di carichi di traffico ridotti (-300 [veq/h]) e di un'ora di dimensionamento anch'essa ridotta (3.000 [s]), le formule abituali possono in seguito essere utilizzate.

Le misure particolari - Il sistema rotatoria non sarebbe completo se non tenesse in considerazione la MD. Tutti conoscono le difficoltà legate alla presenza di attraversamenti pedonali, ulteriormente accentuate in caso di piattaforma tranviaria. In questo campo, attualmente, non esiste normativa precisa ai fini della concezione.

Tuttavia, l'esperienza acquisita nel corso degli ultimi anni principalmente sulla rete tranviaria di Ginevra ci porta a proporre due orientamenti:

- se è possibile creare isole

ROTATORIE senza conflitti a prova di tram e PEDONI →

Sicurezza

per attraversamenti pedonali sufficientemente larghe (minimo 3 m) separando il traffico TIM dalla piattaforma tranviaria, allora è possibile autorizzare attraversamenti in due o tre riprese, preferibilmente senza SLT;

- se questo è impossibile, l'attraversamento pedonale deve obbligatoriamente essere trattato in una sola ripresa, con il ricorso alla SLT.

Inoltre, per assicurare la buona progressione del tram anche in approccio all'incrocio, è importante vegliare affinché il sito proprio non sia disturbato dal TIM. Esistono diversi dispositivi che permettono di creare una separazione fisica, tra le corsie dedicate al TIM e la piattaforma, che vanno dalla semplice balisette in plastica, fino al cordolo fisso (ad esempio a punta di diamante).

COERENZA SU ASSE E RETE

È imperativo assicurare che su una serie di incroci, la rotatoria attraversata non rappresenti l'intersezione critica ("l'anello debole"). In effetti, i flussi principali del TPL e del TIM presi in considerazione lungo un asse stradale sono fondamentali per il dimensionamento degli incroci (numero di corsie), ma anche per i piani semaforici e i tempi di verde attribuiti ai diversi gruppi di semafori.

Non è possibile pensare che la rotatoria svolga la funzione spesso fondamentale lungo un asse stradale di controllo d'accesso, in quanto i valori ottenuti per i calcoli sulle rotatorie attraversate subiscono una dispersione assai forte. In altri termini, i flussi entranti

nel sistema (asse o rete) dovrebbero essere controllati da un semaforo a monte.

La rotatoria, infatti, è lungo un asse regolato da semafori (con eventuale onda verde ad esempio), un elemento limitatamente gestibile e "auto-regolato"; occorre quindi sempre valutare attentamente la coerenza dell'inserimento di tale opera all'interno della rete stradale e di TPL (esistente o prevista).

CONCLUSIONI

Non è stato necessario attendere un intero secolo per vedere le rotatorie largamente conquistare lo spazio pubblico, in Europa. Non esiste praticamente più alcuna città o paese che non abbia ancora la propria rotatoria. Il successo è in gran parte dovuto alla semplificazione dei conflitti e al sentimento di libertà percepito dagli automobilisti.

Prendere in considerazione, già dalla fase di concezione, il ruolo dei trasporti pubblici e della mobilità dolce limita solo leggermente lo sviluppo esponenziale delle rotatorie osservato in questi ultimi anni.

Le esperienze si moltiplicano e il connubio via via più frequente tra la rotatoria e la segnaletica luminosa SLT sembra dare piena soddisfazione. Nulla sembra dover ostacolare l'affermazione di queste "nuove" tipologie di incrocio.

Riassumendo il principio di funzionamento delle rotatorie "attraversate" possiamo affermare quanto segue:

- in assenza di approccio o presenza di un tram, l'incrocio funziona come una rotatoria "classica";

- all'avvicinamento di un tram, i flussi potenzialmente in conflitto con quest'ultimo (e quelli soltanto) sono bloccati, generalmente grazie a SLT, al fine di permettere il passaggio senza arresto di detto tram;

- non appena quest'ultimo ha lasciato l'incrocio, il funzionamento a rotatoria riprende.

In sintesi, ancora, è dunque primordiale assicurare che tutti gli utenti siano consci del funzionamento imposto, al fine di evitare ambiguità sempre fonte di insicurezza, e che il funzionamento della SLT sia il più preciso possibile, per assicurare la migliore credibilità del sistema, condizione di rispetto da parte degli utenti e quindi di sicurezza. ●

Bibliografia

"Les accidents dans les carrefours giratoires urbains. Etudes statistiques de 1993 à 2005", B. GUICHET - CERTU aprile 2009.

"Giratoire et tramways: franchissement d'un carrefour giratoire par une ligne de tramways. Guide de conception", V. LABONNEFON, CH. BABILOTTE - CERTU febbraio 2008.

"Les giratoires en Suisse: on ne les compte plus!", P.H. BOVY, N. HENDERSON - Vereinigung Schweizerischer Strassenfachmänner, Strasse und Verkehr A. 1995, vol. 81, n° 11, pp. 539-548 [bibl.: 24 ref.].

"La régulation des carrefours à feu", R. GOLAY, P.H. BOVY - EPFL Cahier TEA dicembre 2001

Tutte le illustrazioni sono realizzate da Citec.