

Progettazione

U-Turn

LE CORSIE PER L'INVERSIONE AD U, CONSENTENDO AGLI UTENTI DI USUFRUIRE DI PORZIONI DELLA CARREGGIATA PREPOSTE ALL'INVERSIONE DEL SENSO DI MARCIA, RICHIEDONO UNA SIGNIFICATIVA RIORGANIZZAZIONE DELLA PARTE DI STRADA IN CUI VENGONO INSERITE. GLI U-TURN SONO ELEMENTI "TURBATIVI" DELLE CONDIZIONI DI CIRCOLAZIONE TIPICHE DELLE DIRETTRICI A CARREGGIATE SEPARATE E, COME TALI, DEVONO ESSERE PROGETTATI ATTRAVERSO CRITERI CHE GARANTISCANO IDONEI LIVELLI DI FUNZIONALITÀ E, CONTEMPORANEAMENTE, ELEVATI STANDARD DI SICUREZZA PER TUTTI GLI UTENTI DELLA STRADA. NELLE MORE DELLA LEGGE SONO PROPOSTI CRITERI DI DIMENSIONAMENTO PER UNA LORO PROGETTAZIONE SICURA E FUNZIONALE.

La presenza di spartitraffico non attraversabili sulle direttrici stradali di tipo B (extraurbane principali) e di tipo D (urbane di scorrimento) e su qualunque altra configurazione non autostradale dotata di spartitraffico centrale invalicabile, poiché impedisce la svolta a sinistra, induce spesso gli utenti a ricercare percorsi alternativi o a ricorrere a manovre di inversione ad U anche in punti dove esse non sono consentite, con conseguente incremento del rischio di incidenti (collisioni tra i veicoli che invertono il senso di marcia e quelli in movimento sull'altra carreggiata, tamponamenti causati dal rallentamento dei veicoli che intendono eseguire l'inversione ad U, fuoriuscite laterali da parte dei veicoli che effettuano brusche manovre per evitare i veicoli che impropriamente stanno effettuando l'inversione del senso di percorrenza).

Una soluzione progettuale che da qualche tempo si sta diffondendo anche in Italia è quella delle corsie per l'inversione ad U costituite da una successione di corsie spe-

cializzate delimitate da cappi di manovra ricavati proprio in corrispondenza dello spartitraffico centrale (fig. 1). Il solo fatto che, sia l'ingresso al cappio di manovra, sia l'entrata sulla carreggiata a seguito dell'inversione ad U, avvengano entrambi in sinistra, deve far riflettere sulla pericolosità intrinseca a questi elementi di progetto, per i quali ad oggi non esistono in Italia specifici riferimenti normativi.

A livello internazionale, invece, esiste un panorama di norme tecniche abbastanza completo in merito alla progettazione delle corsie per l'inversione ad U (denominate U-TURN). In particolare, un buon livello di approfondimento è riscontrabile in "A Policy on Geometric Design of Highways and Streets" ("Green Book") dell'AASHTO, e nel Report 524 dell'NCHRP dal titolo "Safety of U-Turns at Unsignalized Median Openings"; si tratta di criteri progettuali fondati sul principio secondo cui gli U-TURN possono essere realizzati sfruttando l'ampio spartitraffico riscontrabile al centro della carreggiata, prevedendo

Sascia Canale

Professore ordinario e docente di Teoria delle Infrastrutture Viarie
Università degli Studi di Catania

Natalia Distefano

Assegnista di ricerca e dottore di ricerca in Ingegneria delle Infrastrutture Viarie
Università degli Studi di Catania

Salvatore Leonardi

Ricercatore Universitario e docente di Infrastrutture Viarie Urbane e Metropolitane
Università degli Studi di Catania



1. Esempi di U-TURN lungo la Circonvallazione di Catania

2. Esempio di tronco stradale con corsie di inversione a cappi affacciati

3. Esempio di tronco stradale con corsie di inversione a cappi contrapposti

eventualmente ridotti interventi di adeguamento della sezione trasversale stradale. Appare pertanto evidente come, in Italia, essendo il patrimonio infrastrutturale prevalentemente caratterizzato da ampiezze ridotte dello spartitraffico, non sia possibile trasferire in toto i criteri di progetto stranieri relativi alle corsie per l'inversione ad U ed occorra adottare soluzioni progettuali che prevedano una riorganizzazione complessiva della sezione stradale interessata dall'inserimento degli U-TURN.

L'obiettivo che si intende perseguire con il presente contributo è pertanto quello di elaborare delle linee guida per la progettazione delle corsie per l'inversione ad U, adeguate a mettere in conto sia l'esigenza di garantire un idoneo livello di funzionalità in corrispondenza dei tratti stradali in cui si prevede l'inserimento degli U-TURN, sia la necessità, strettamente connessa ai principi di sicurezza, di ridurre al minimo le condizioni di rischio nell'esecuzione delle manovre di inversione.

CRITERI PROGETTUALI DELLE CORSIE PER L'INVERSIONE AD U (U-TURN)

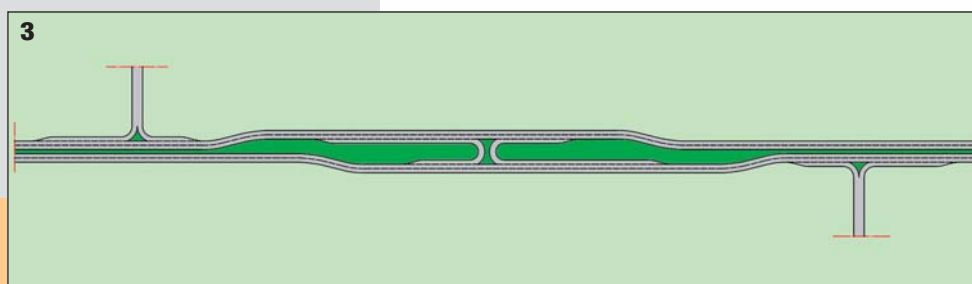
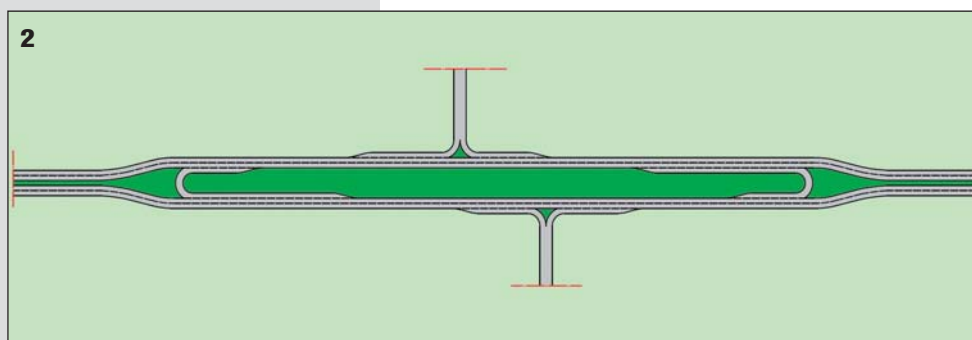
La necessità di invertire il senso di marcia lungo una strada a carreggiate separate è prevalentemente avvertita nelle situazioni in cui la barriera spartitraffico inibisce l'accesso a direttrici secondarie di una certa importanza, costringendo gli utenti a percorrere tratti di notevole lunghezza al fine di raggiungere l'intersezione successiva e potere poi effettuare l'inversione del senso di percorrenza. Nei casi suddetti, il ricorso a corsie per l'inversione ad U, adeguatamente dimensionate e conformate, rappresenta l'espedito progettuale atto a garantire agli utenti la possibilità di immettersi celermente ed in sicurezza sui rami stradali secondari.

L'esposizione dettagliata delle modalità progettuali degli U-TURN avverrà considerando i due schemi-base che si sono individuati come maggiormente indicativi delle modalità più frequenti di fruizione delle corsie per l'inversione ad U. In particolare, lo schema denominato "schema-base n. 1" è relativo al caso in cui la manovra di inversione ad U è eseguita dai veicoli che dalla strada principale intendono immettersi sul ramo secondario, mentre lo "schema-base n. 2" si riferisce all'inversione del senso di percorrenza da parte dei veicoli provenienti da uno dei rami secondari.

Per la realizzazione degli U-TURN, occorrerà poi dimensionare, oltre alle corsie di inversione, anche altri elementi di progetto necessari affinché le dinamiche di manovra, che prevedono sempre fenomeni di "attesa" per l'immissione all'interno di flussi veicolari in conflitto e manovre di cambio corsia, avvengano con adeguati livelli di sicurezza. Bisogna poi notare che, per una corretta e funzionale organizzazione complessiva delle corsie per l'inversione ad U, è indispensabile prevedere allargamenti della sezione trasversale della carreggiata, indotti dall'esigenza di posizionare i cappi di manovra e di inserire le necessarie corsie aggiuntive; lo spartitraffico centrale, pertanto, avrà la larghezza minima prevista dalle Norme (da 1,80 m a 2,50 m) nella zona non interessata dalla presenza degli U-TURN e un'ampiezza di almeno 20 metri nel tratto in cui vengono inserite le corsie di inversione.

Dalla combinazione dei due schemi-base sopra definiti si possono ottenere tutte le possibili configurazioni stradali caratterizzate dalla presenza di U-TURN. A titolo d'esempio, nelle figg. 2 e 3 sono rappresentate due possibili soluzioni progettuali.

La fig. 2, riporta lo schema con le parti concave dei cap-



pi affacciate e sufficientemente distanti l'una dall'altra; tale configurazione deriva dall'esigenza di assicurare le manovre di inversione nel caso in cui i rami secondari siano ubicati a ridotta distanza l'uno dall'altro. Lo schema di fig. 3 mostra la configurazione con i cappi disposti con le parti convesse ravvicinate, necessaria a garantire le manovre di inversione nel caso in cui le direttrici secondarie siano poste a distanza reciproca considerevole.

SCHEMA-BASE N. 1

U-TURN per i veicoli in manovra dalla strada principale

Gli elementi modulari dello schema-base n°1, illustrati nella fig. 4 ed evidenziati in giallo, sono i seguenti:

- corsia specializzata per l'inversione ad U;
- tronco per il cambio di corsia;
- corsia di uscita.

Corsia specializzata per l'inversione ad U

Si compone dei seguenti elementi:

- tratto di raccordo iniziale, di lunghezza L_R ;
- tratto di uscita per l'inversione, di lunghezza L_{Uj} ;
- cappio di manovra;
- tratto di entrata per l'inversione, di lunghezza L_{Ei} ;
- tratto di raccordo finale, di lunghezza L_R .

Tratto di raccordo iniziale

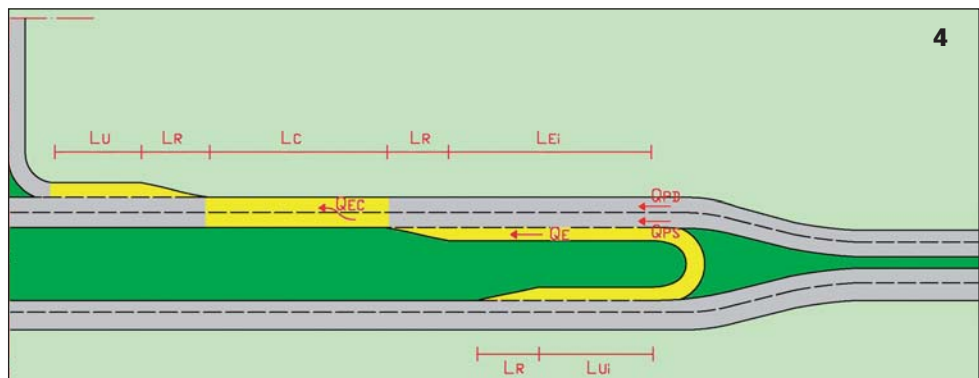
Questo tratto funge da elemento di raccordo tra la corsia specializzata, ottenuta come elargimento trasversale della sezione stradale, e la strada principale. Esso deve avere una lunghezza (L_R) pari ad almeno 20 metri. La sua costruzione geometrica avverrà attraverso la composizione dei seguenti tre tratti, aventi ciascuno lunghezza pari ad $L_R/3$:

- un primo tratto curvilineo, cui corrisponde una deviazione (misurata in senso trasversale) pari ad 1/4 dello spostamento totale (d);
- un secondo tratto rettilineo, tangente al precedente, cui corrisponde una deviazione pari a 1/2 dello spostamento trasversale complessivo (d);
- un terzo tratto curvilineo, di curvatura opposta al primo, caratterizzato da una deviazione pari a 1/4 dello spostamento totale (d).

Il valore del raggio (R) dei due tratti curvilinei simmetrici si calcola con l'espressione di seguito riportata (tutte le lunghezze sono espresse in metri):

Tratto di uscita per l'inversione

$$R = \frac{2}{9} \cdot \frac{L_R^2}{d} \quad [1]$$



Il tratto di uscita, di lunghezza L_{Uj} , serve a consentire la diversione dei veicoli dalla corrente principale verso il cappio di manovra. Per la stima della sua lunghezza si può fare riferimento alla tab. 1, tratta dal testo "Progettare le intersezioni" (EPC Libri).

I valori della lunghezza del tronco di uscita si ottengono, in funzione dei diversi contesti (urbano ed extraurbano), corrispondentemente alla velocità operativa del flusso veicolare sulla direttrice principale (V_1).

TAB. 1 LUNGHEZZA DEL TRATTO DI USCITA

Ambito di progetto	V_1	LU
Urbano	$V_1 = 40$ km/h	5 m
	$V_1 = 50$ km/h	25 m
	$V_1 = 60$ km/h	45 m
Extraurbano	$V_1 = 40$ km/h	-
	$V_1 = 50$ km/h	15 m
	$V_1 = 60$ km/h	40 m
	$V_1 = 70$ km/h	60 m
	$V_1 = 80$ km/h	90 m
	$V_1 = 90$ km/h	125 m
	$V_1 = 100$ km/h	160 m

Cappio di manovra

Per la progettazione del cappio di manovra, occorre in primo luogo tracciare la curva che descrive il ciglio interno dello stesso.

La forma di tale curva, in analogia alle curve di ciglio per la svolta a destra in corrispondenza delle intersezioni a raso di tipo lineare, può essere ricavata dall'approssimazione della traiettoria interna della sagoma dei grandi veicoli (autotreni ed autoarticolati), che transitano su curve di piccolo raggio ed ampio angolo di deviazione.

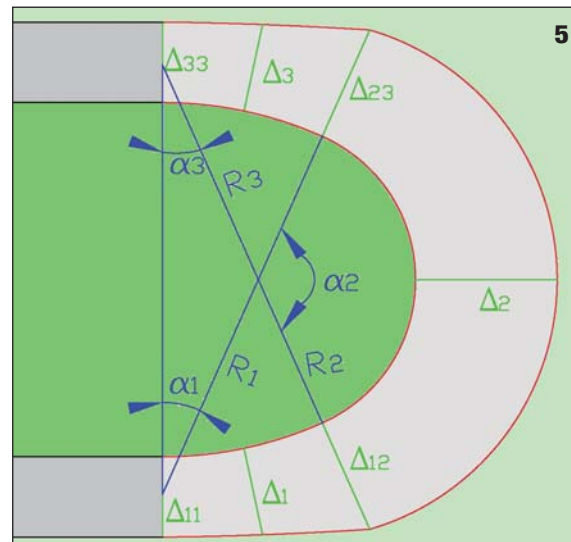
Nel caso specifico si prevede l'utilizzo di curve tricentriche, cioè composte da tre archi di circonferenza aventi la stessa tangente nei punti di unione ma raggi e angoli diversi tra di loro (fig. 5). Tali curve devono rispettare le seguenti condizioni di carattere geometrico, sia per gli angoli, che per i raggi:

4. Schema-base di U-TURN relativo ai veicoli in manovra dalla direttrice principale

5. Elementi geometrici per la progettazione del cappio di manovra

- $\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 = 180^\circ$
- $\alpha_1 = \alpha_3$
- $\alpha_2 = 5,5 \cdot \alpha_1$
- $R_1 : R_2 : R_3 = 2,5 : 1 : 2,5$

Si osservi che l'ultima condizione analitica rappresenta un sistema di equazioni indeterminato; la sua risoluzione richiede pertanto che venga imposto il valore di una delle 3 variabili. Si consiglia di fissare il raggio dell'arco centrale della tricentrica (R_2) in quanto è quello che condiziona le effettive modalità di svolta. I valori dei raggi R_1 ed R_3 verranno dedotti di conseguenza. Per la caratterizzazione progettuale complessiva del cappio di manovra occorre poi prevedere il tracciamento della cosiddetta fascia d'ingombro cioè quell'area impegnata dinamicamente dai veicoli in svolta, individuata dagli scostamenti trasversali rispetto alle curve di ciglio. In fig. 5 è evidenziata la simbologia adottata per identificare i seg-



menti rappresentanti gli scostamenti rispetto alle tricentriche, necessari per il tracciamento della fascia d'ingombro.

In tab. 2 sono riportati tutti i parametri di progetto associati a tre valori del raggio centrale del cappio (8 m, 9 m e 10 m), ritenuti indicativi delle configurazioni riscontrabili con maggiore frequenza nella pratica progettuale. I valori degli scostamenti Δ_1 , Δ_2 , Δ_3 , Δ_{11} , Δ_{12} , Δ_{23} e Δ_{33} , sono stati ricavati a seguito dello stu-

dio delle traiettorie percorse da diverse categorie di veicoli (autovetture, autocarri ed autobus), svolto col supporto del software di simulazione Autoturn® 6.0, in dotazione presso il Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università degli Studi di Catania.

Tratto di entrata per l'inversione

Questo tronco stradale è l'elemento di progetto utilizzato dai veicoli provenienti dal cappio per immettersi sulla corsia di sinistra della strada principale; l'utente che lo percorre valuta, tramite lo specchietto retrovisore laterale destro, la presenza di uno spazio sufficiente per potersi inserire tra due veicoli consecutivi della corsia interna della strada principale, senza provocare rallentamenti o cambi di corsia da parte dei veicoli sopraggiungenti. Il tronco di entrata, di fatto, è quindi un tronco di attesa, percorso dagli utenti aumentando di poco la velocità di marcia, in attesa dell'istante più opportuno per inserirsi nella corrente veicolare principale.

Il tipo di immissione che si è appena descritto si definisce "immissione ideale", mentre viene denominato "intervallo critico" (T) il più piccolo intervallo temporale fra due veicoli della corrente veicolare principale che consente un'immissione ideale.

L'espressione analitica che permette di quantificare l'intervallo critico è la seguente:

$$T = \frac{v_{ps} - v_E}{2 \cdot a_c} + 2 \cdot \delta \quad 2$$

in cui:

- v_E = velocità operativa del flusso veicolare in entrata dal cappio (Q_E), espressa in m/s;
- v_{ps} = velocità operativa del flusso veicolare in conflitto con il flusso Q_E , in moto sulla corsia sinistra della strada principale (Q_{ps});
- δ = distanza temporale di sicurezza tra 2 veicoli consecutivi sulla strada principale. Si pone generalmente pari ad 1 s;
- a_c = accelerazione longitudinale media. Si assume pari ad $1,2 \text{ m/s}^2$.

In definitiva, un veicolo in marcia sul tronco di entrata (di attesa) deciderà di inserirsi nella corsia di sinistra della direttrice principale, quando, all'interno della corrente veicolare principale, avrà a disposizione un

TAB. 2 VALORI ESEMPLIFICATIVI DEI PARAMETRI PROGETTUALI RELATIVI AI CAPPI DI MANOVRA

Grandezze angolari			Raggi e scostamenti minimi della tricentrica									
α_1	α_2	α_3	R_1 (m)	R_2 (m)	R_3 (m)	Δ_{11} (m)	Δ_1 (m)	Δ_{12} (m)	Δ_2 (m)	Δ_{23} (m)	Δ_3 (m)	Δ_{33} (m)
24°	132°	24°	20,0	8	20,0	3,50	3,85	5,10	6,95	5,10	3,85	3,50
24°	132°	24°	22,5	9	22,5	3,50	3,75	5,00	6,80	5,00	3,75	3,50
24°	132°	24°	25,0	10	25,0	3,50	3,70	4,90	6,70	4,90	3,70	3,50

varco temporale pari ad almeno il valore di T. Il presentarsi dell'intervallo critico (T) è, in ogni caso, un evento aleatorio. Si può ipotizzare, pertanto, che gli intervalli temporali τ con cui i veicoli della corsia sinistra della strada principale si succedono dinanzi a quello che vuole immettersi a partire dal cappio di manovra siano distribuiti con la legge di distribuzione della probabilità di Poisson, così espressa:

$$f(\tau) = \lambda \cdot e^{-\lambda \cdot \tau} \quad \mathbf{3}$$

dove λ è il valore medio degli arrivi nell'unità di tempo, pari a $Q_{PS}/3600$.

La probabilità che durante il primo evento possibile (ovvero dopo aver atteso il passaggio del primo veicolo), il generico intervallo di tempo τ sia maggiore dell'intervallo critico T è dunque:

$$\Pr(\tau \geq T) = e^{-\lambda \cdot T} \quad \mathbf{4}$$

Lo spazio impegnato dai veicoli provenienti dal cappio in attesa di potersi immettere nella corsia sinistra della strada principale, in tal caso, è quello minimo indispensabile, cioè:

$$L_E = V_E \cdot T \quad \mathbf{5}$$

È chiaro che, in fase di progetto, non si può ritenere sempre accettabile il valore di probabilità associato al primo evento. Occorre, pertanto, fissare una 'probabilità di progetto' e calcolare conseguentemente il numero di eventi (passaggi di veicoli consecutivi sulla corsia di marcia principale) in grado di garantire la manifestarsi della probabilità medesima. Tutto ciò è possibile mediante un processo a cascata, a termine del quale si perverrà all'individuazione dell'evento k-esimo al quale è associata la probabilità di progetto. In tal caso, la lunghezza del tronco di entrata sarà data dalla seguente espressione:

$$L_{Ei} = (k - 1) \cdot \frac{1}{\lambda} \cdot V_E \quad \mathbf{6}$$

dove:

- k = numero di eventi (passaggi veicolari sulla corsia sinistra della strada principale) corrispondente al valore della probabilità di progetto;
- $1/\lambda$ = durata temporale del singolo evento (s);
- V_E = velocità operativa del flusso veicolare in entrata dal cappio (Q_E), espressa in km/h.

Nell'ambito del presente studio, gli scriventi hanno

TAB. 3 VALORI DELLA LUNGHEZZA DEI TRONCHI DI ATTESA (Probabilità di progetto = 90%)

Flusso veicolare in conflitto (veic/h)	Velocità operative del flusso veicolare in conflitto								
	70 km/h			60 km/h			50 km/h		
	Velocità operative di riferimento per il flusso veicolare che effettua la manovra			Velocità operative di riferimento per il flusso veicolare che effettua la manovra			Velocità operative di riferimento per il flusso veicolare che effettua la manovra		
	50 km/h	60 km/h	70 km/h	40 km/h	50 km/h	60 km/h	30 km/h	40 km/h	50 km/h
	LUNGHEZZA DEI TRATTI DI ATTESA (m) - Probabilità di progetto = 90%								
2000	600	340	170	400	290	150	350	225	120
1800	500	300	165	350	250	135	290	200	115
1600	410	275	155	325	225	130	245	185	110
1400	365	250	150	300	205	125	225	165	100
1200	315	225	145	250	190	110	190	150	90
1000	275	205	135	220	175	110	165	135	90
800	240	190	130	190	155	100	140	125	80
600	225	180	115	170	145	90	130	120	70
500	190	160	115	155	130	80	120	110	70
400	185	135	105	150	125	70	115	90	60
200	185	120	70	140	120	50	95	70	40
100	175	60	35	80	50	25	30	30	20

riportato nelle tab. 3, 4 e 5, i valori delle lunghezze dei tronchi di attesa calcolati per tre differenti valori della probabilità di progetto (90%, 80% e 70%), in funzione del volume di traffico in conflitto con quello in attesa di compiere l'immissione ideale.

In particolare, sono stati scelti tre valori di riferimento delle velocità operative associate ai flussi veicolari in conflitto (70 km/h, 60 km/h, 50 km/h) e, per ciascuno di essi, sono state valutate le lunghezze dei tratti di attesa corrispondenti a tre diversi valori delle velocità operative dei veicoli in manovra; questi ultimi valori della velocità sono stati selezionati con il seguente criterio: si sono adottate velocità decrescenti a step di 10 km/h a partire da un valore di velocità pari a quello del flusso in conflitto (ad es., alla velocità di 70 km/h relativa al flusso in conflitto, sono stati correlati i valori seguenti della velocità del flusso veicolare in manovra: 50 km/h, 60 km/h, 70 km/h).

Toccherà al progettista scegliere il percentile del tempo di attesa (probabilità di progetto) e da tale scelta deriverà la definizione numerica della lunghezza del tronco di attesa.

È consigliabile l'adozione di un percentile abbastanza elevato, in genere il novantesimo. Non bisogna però escludere la possibilità, in presenza di situazioni specifiche (essenzialmente dettate da vincoli spaziali), di adottare dimensioni della lunghezza di attesa associate a percentili del tempo di attesa più

TAB. 4 VALORI DELLA LUNGHEZZA DEI TRONCHI DI ATTESA (Probabilità di progetto = 80%)

Velocità operative del flusso veicolare in conflitto									
70 km/h			60 km/h			50 km/h			
Velocità operative di riferimento per il flusso veicolare che effettua la manovra			Velocità operative di riferimento per il flusso veicolare che effettua la manovra			Velocità operative di riferimento per il flusso veicolare che effettua la manovra			
	50 km/h	60 km/h	70 km/h	40 km/h	50 km/h	60 km/h	30 km/h	40 km/h	50 km/h
Flusso veicolare in conflitto (veic/h)	LUNGHEZZA DEI TRATTI DI ATTESA (m) - Probabilità di progetto = 80%								
2000	450	225	105	325	190	90	255	150	80
1800	350	200	95	270	165	85	200	135	70
1600	285	180	90	225	150	75	170	120	65
1400	245	155	90	195	135	75	145	110	60
1200	205	135	80	165	120	70	125	95	60
1000	180	115	60	145	100	60	110	80	50
800	155	115	55	125	90	60	90	75	50
600	120	100	55	100	85	60	75	65	50
500	110	100	45	95	75	50	60	65	40
400	100	75	20	80	65	30	55	50	30
200	25	35	10	30	15	10	20	10	-
100	10	10	-	10	10	-	-	-	-

TAB. 5 VALORI DELLA LUNGHEZZA DEI TRONCHI DI ATTESA (Probabilità di progetto = 70%)

Velocità operative del flusso veicolare in conflitto									
70 km/h			60 km/h			50 km/h			
Velocità operative di riferimento per il flusso veicolare che effettua la manovra			Velocità operative di riferimento per il flusso veicolare che effettua la manovra			Velocità operative di riferimento per il flusso veicolare che effettua la manovra			
	50 km/h	60 km/h	70 km/h	40 km/h	50 km/h	60 km/h	30 km/h	40 km/h	50 km/h
Flusso veicolare in conflitto (veic/h)	LUNGHEZZA DEI TRATTI DI ATTESA (m) - Probabilità di progetto = 70%								
2000	295	160	75	230	135	60	175	110	50
1800	250	140	70	195	115	55	150	95	45
1600	210	120	60	140	105	55	130	85	45
1400	175	110	50	130	90	50	105	70	40
1200	145	95	45	115	80	50	90	60	40
1000	130	75	40	90	75	50	75	50	40
800	105	60	25	80	50	40	60	50	40
600	80	40	15	60	35	30	40	30	20
500	65	25	10	55	30	15	40	15	10
400	50	10	-	35	10	-	30	-	-
200	15	-	-	10	-	-	10	-	-
100	-	-	-	-	-	-	-	-	-

bassi. Si consiglia, in ogni caso, di non scendere mai al disotto del 70% come valore di soglia della probabilità che si verifichi un varco temporale maggiore o uguale all'intervallo critico.

Tratto di raccordo finale

Analogamente a quello iniziale, questo tratto serve a raccordare la corsia specializzata di inversione con la corsia sinistra della strada principale. La sua lunghezza (L_R) ed i criteri di tracciamento sono gli stessi di quelli relativi al tratto di raccordo iniziale.

Tronco per il cambio di corsia

Viene percorso dai veicoli provenienti dalla corsia specializzata di inversione che, intendendo immettersi sul ramo secondario, devono prima spostarsi sulla corsia di destra della strada principale; in tal caso l'utente deve valutare l'intervallo spazio-temporale disponibile nella corrente veicolare in moto sulla corsia destra della direttrice più importante. La lunghezza L_C , si valuterà pertanto con il criterio dei tronchi di attesa già illustrato precedentemente. Selezionando una delle tabelle di progetto (tab. 3, tab. 4, tab. 5), in funzione di un prescelto valore del percentile del tempo di attesa, la determinazione del valore di L_C avverrà dopo aver fornito i seguenti dati di input: velocità della porzione del flusso veicolare proveniente dall'U-TURN che intende inserirsi sul ramo secondario (Q_{Ec}) e velocità e portata veicolare associati al flusso di traffico in conflitto sulla corsia destra della direttrice principale (Q_{Pd}). Si ipotizza nulla (o quanto meno trascurabile) la quota parte del flusso veicolare in marcia sulla corsia di sinistra della strada principale che intende svoltare a destra verso il ramo secondario.

Corsia di uscita

Si compone dei seguenti tronchi:

- tratto di raccordo, di lunghezza L_R ;
- tratto di uscita, di lunghezza L_U ;

Tratto di raccordo

Tale tronco, utile a raccordare il tratto di uscita con la corsia destra della strada principale, dovrà avere una lunghezza (L_R) di almeno 20 metri; la sua costruzione geometrica sarà effettuata con le stesse modalità precedentemente descritte per i tratti di raccordo iniziale e finale relativi alla corsia specializzata per l'inversione ad U.

Tratto di uscita

È il tronco preposto a consentire la diversione dei veicoli dalla corrente principale verso il ramo secondario; per la stima della sua lunghezza (L_U), analogamente al caso del tratto di uscita per l'inversione, si può utilizzare la tab. 1, utilizzando come dato di input la velocità operativa del flusso veicolare sulla direttrice principale (V_1).

SCHEMA-BASE N. 2

U-TURN per i veicoli in manovra dal ramo secondario

La composizione modulare dello schema-base n°2 richiede la presenza dei seguenti elementi evidenziati in giallo (fig. 6):

- corsia di entrata;
- tronco per il cambio di corsia;
- corsia specializzata per l'inversione ad U.

Corsia di entrata

È composta dai tronchi seguenti:

- tratto di attesa, di lunghezza L_E ;
- tratto di raccordo, di lunghezza L_R .

Tratto di attesa

Viene impiegato per la realizzazione dell'immissione sulla strada principale a partire dal ramo secondario. I conducenti dei veicoli in entrata, osservando lo specchietto retrovisore laterale sinistro, selezionano l'intervallo spazio-temporale tra i veicoli in marcia nella corsia destra della strada principale, e, dopo averlo individuato, si immettono sulla direttrice principale. La sua lunghezza L_E , può essere determinata utilizzando una delle tabelle precedenti (tab. 3, Tab. 4 e tab. 5), in funzione del percentile del tempo di attesa prescelto (90%, 80% o 70%). I dati di input sono costituiti dalla velocità del flusso veicolare in entrata dal ramo secondario (Q_{ES}) e dai valori di velocità e di portata relativi al flusso veicolare in conflitto sulla corsia destra della strada principale (Q_{PS1}).

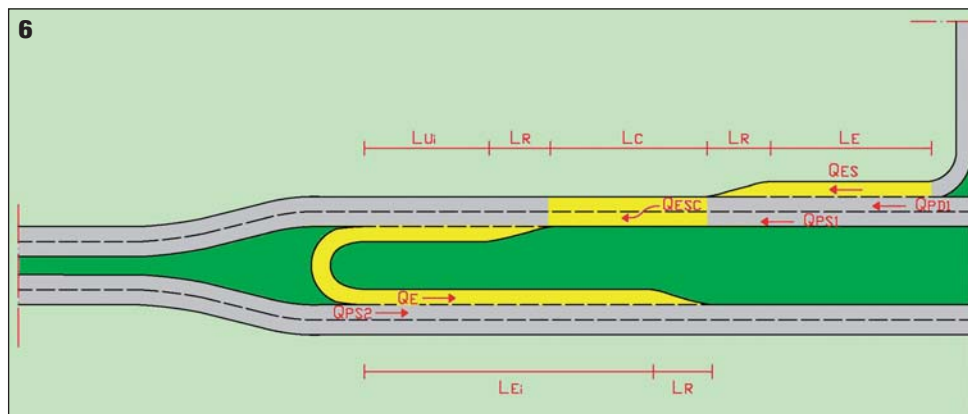
Tratto di raccordo

Questo elemento di progetto, di lunghezza L_R , funge da transizione tra il precedente tratto di attesa (ottenuto come allargamento laterale della carreggiata) ed il ciglio destro della strada principale. Per il suo dimensionamento si procede come per i tratti di funzionalità analoga, descritti nel corso della trattazione relativa allo schema-base n°1.

Tronco per il cambio di corsia

Questo elemento di progetto, di lunghezza L_C , è il tratto stradale impiegato dai veicoli che, volendo immettersi nel coppia per eseguire la manovra di inversione ad U, devono prima spostarsi lateralmente sulla corsia sinistra della direttrice principale. In tal caso gli utenti devono attendere l'intervallo spazio-temporale utile per eseguire in sicurezza il cambio di corsia.

Il calcolo della lunghezza L_C può essere svolto, ancora



una volta, basandosi sul "criterio dell'attesa", selezionando una delle tabelle precedenti (tab. 2, tab. 3 e tab. 4), in funzione di un opportuno percentile del tempo di attesa. I dati di input necessari per la stima di L_C sono: la velocità della porzione del flusso veicolare proveniente dal ramo secondario che effettua la manovra di immissione sul coppia di uscita (Q_{ESC}), e i valori di velocità e di portata associati al flusso veicolare in conflitto sulla corsia sinistra della strada principale (Q_{PS1}). Si ipotizza trascurabile la portata veicolare che, provenendo dalla corsia destra della strada principale, intende svoltare a sinistra per inserirsi all'interno del coppia di uscita.

Corsia specializzata per l'inversione ad U

Si compone dei seguenti elementi:

- tratto di raccordo iniziale, di lunghezza L_{Ri} ;
- tratto di uscita per l'inversione, di lunghezza L_{Uj} ;
- coppia di manovra;
- tratto di entrata per l'inversione, di lunghezza L_{Ej} ;
- tratto di raccordo finale, di lunghezza L_{Rf} .

Tratto di raccordo iniziale

Questo tronco, di lunghezza L_{Ri} , ha il compito di raccordare la corsia di sinistra della strada principale con il susseguente tratto di uscita per l'inversione; esso dovrà avere una lunghezza di almeno 20 metri e la sua costruzione geometrica sarà effettuata con le modalità precedentemente descritte per i tratti di raccordo di analoga funzionalità.

Tratto di uscita per l'inversione

Questo tronco viene utilizzato dai veicoli che intendono inserirsi all'interno del successivo coppia di manovra per abbandonare la corsia interna della strada principale, creando il minore intralcio possibile ai veicoli che invece proseguono dritto sulla corsia sinistra della direttrice più importante. Per quanto riguarda la valutazione della sua lunghezza (L_{Uj}) si può

6. Schema-base di U-TURN relativo ai veicoli in manovra dal ramo secondario

7a, 7b, 7c. Esempi di riorganizzazione della zona spartitraffico per effetto degli inserimenti U-TURN



7a



7b



7c

fare riferimento, anche in questo caso, ai valori numerici riportati nella tab. 1.

Cappio di manovra

Per quanto riguarda il progetto del cappio di manovra occorre riferirsi ai criteri, illustrati nel paragrafo relativo allo schema-base n°1, per il dimensionamento dell'elemento geometrico di analoghe caratteristiche e funzionalità.

Tratto di entrata per l'inversione

È l'elemento progettuale impiegato dai veicoli provenienti dal cappio per immettersi sulla corsia di sinistra della strada principale; l'utente che lo percorre deve pertanto stimare, osservando lo specchietto retrovisore laterale destro, lo spazio adeguato a potersi inserire tra due veicoli consecutivi in moto sulla strada principale. Anche in questo caso, quindi, occorre scegliere una delle tabelle precedenti (tab. 3, tab. 4 e tab. 5), in funzione di un opportuno percentile del tempo di attesa. I parametri di input necessari per la valutazione di L_{Ei} sono: la velocità operativa del flusso veicolare in entrata dal cappio (Q_E) e i valori di velocità e di portata associati al flusso veicolare in conflitto sulla corsia sinistra della strada principale (Q_{PS2}).

Tratto di raccordo finale

Questo tronco, analogamente a quello iniziale, ha il compito di raccordare la corsia specializzata di inversione ad U con la corsia sinistra della strada principale. La sua lunghezza (L_R) ed i criteri di tracciamento sono analoghi a quelli descritti precedentemente per tutti gli elementi geometrici aventi uguale funzione di raccordo.

CONCLUSIONI

Le corsie per l'inversione ad U (U-TURN) consentono agli utenti di usufruire di porzioni della carreggiata preposte all'inversione del senso di marcia, richiedendo, così come si evince anche dagli esempi riportati in figura 7, una significativa riorganizzazione della parte di strada in cui vengono inseriti (corsie di entrata e di uscita, tratti di raccordo, tronchi per il cambio di corsia, cappi di manovra ricavati tramite "aperture" nello spartitraffico centrale).

Si capisce, pertanto, come gli U-TURN rappresentino elementi "turbativi" delle condizioni di circolazione tipiche delle direttrici a carreggiate separate e, come tali, debbano essere progettati attraverso criteri che garantiscano idonei livelli di funzionalità e, contemporaneamente, elevati standard di sicurezza sia per gli utenti che intendono effettuare le manovre di inversione, sia per gli utenti della strada principale che si trovano a configgere con le correnti veicolari in entrata dai cappi di manovra o in uscita verso di essi. I criteri di dimensionamento proposti dagli scriventi, sulla scorta dell'esperienza maturata negli anni in merito alle questioni legate alla progettazione in sicurezza degli elementi componenti le infrastrutture stradali, dovrebbero assicurare configurazioni progettuali adeguate a ridurre al minimo gli effetti turbativi conseguenti all'inserimento delle corsie per l'inversione ad U; ciò appare di particolare interesse soprattutto in considerazione del fatto che sono ormai numerosi, in Italia, gli esempi di U-TURN realizzati con il "criterio dell'improvvisazione", solo parzialmente giustificato dall'assenza di un riferimento normativo in materia. ■

Riferimenti bibliografici

1) AASHTO. "A Policy on Geometric Design of Highways and Streets". 5th Edition. 2004

2) NCHRP. "Report 524: Safety of U-Turns at Unsignalized Median Openings". Transport Research Board. 2004

3) S. Canale, N. Distefano, S. Leonardi. "Progettare la sicurezza stradale. Criteri e verifiche di sicurezza per la progettazione e l'adeguamento degli elementi delle infrastrutture viarie: intersezioni, tronchi, sovrastrutture, gallerie, opere idrauliche, barriere di sicurezza, illuminazione, segnaletica ed interventi di traffic calming". EPC Libri. Maggio 2009.

4) S. Canale, N. Distefano, S. Leonardi, G. Pappalardo. "Progettare le intersezioni. Tecniche per la progettazione e la verifica delle intersezioni stradali in ambito urbano ed extraurbano secondo il D.M. 19/4/2006". EPC Libri. Ottobre 2006.

5) S. Canale, N. Distefano, S. Leonardi, G. Pappalardo. "Progettare le rotonde. Tecniche per la progettazione e la verifica delle intersezioni a circolazione rotatoria". EPC Libri. Settembre 2005.