



**INDAGINE SPERIMENTALE SULLE CORSIE
DI IMMISSIONE IN AMBITO EXTRAURBANO:
PROPOSTE DI ADEGUAMENTO GEOMETRICO-
FUNZIONALE NEL CASO DI STRADE A VOLUMI
DI TRAFFICO MEDIO-BASSI**

Salvatore Leonardi

Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale

Sezione: Ingegneria delle Infrastrutture Viarie e dei Trasporti

Università di Catania – Viale Andrea Doria 6 – 95125 – Catania – Italy

Tel: +39.095.7382202

Fax: +39.095.7382247

E-mail: sleona@dica.unict.it

INDAGINE SPERIMENTALE SULLE CORSIE DI IMMISSIONE IN AMBITO EXTRAURBANO: PROPOSTE DI ADEGUAMENTO GEOMETRICO- FUNZIONALE NEL CASO DI STRADE A VOLUMI DI TRAFFICO MEDIO-BASSI

SALVATORE LEONARDI – D.I.C.A. – Università degli Studi di Catania

SOMMARIO

Le manovre di immissione sulle strade extraurbane caratterizzate da volumi di traffico medio-bassi, avvengono, nella quasi totalità dei casi, su tronchi paralleli alla corsia di marcia normale. Nella presente memoria si vuole evidenziare come tale configurazione geometrica (proposta anche dalla Normativa CNR) non soddisfi le reali aspettative degli utenti, i quali preferiscono, invece, l'immissione tramite un lungo ago di manovra. I risultati di una serie di rilievi sperimentali, condotti presso tre zone di svincolo siciliane, costituiranno un utile supporto per trarre considerazioni teoriche valide per la proposta di nuovi criteri progettuali.

ABSTRACT

The manoeuvres of access on rural roads characterized from lower-middle volumes of traffic, often happen on parallel lane. In this paper, we wish underline that such geometric configuration (proposed also from CNR rules) does not satisfy the real users expectations, which prefer, instead, to enter through a long taper. The results of experimental survey, lead in three sicilian road intersections, will represent a useful support for the proposal of new planning criteria.

1. INTRODUZIONE

Tra le questioni inerenti alla sicurezza stradale, un tema che da qualche tempo sta trovando ampi riscontri tra i ricercatori del settore è quello attinente alla sicurezza delle intersezioni stradali. Nell'ambito di alcuni studi condotti precedentemente, aventi per oggetto le intersezioni a livelli sfalsati in ambito extraurbano, si è evidenziata la criticità delle manovre di uscita e si è giunti alla proposta di una diversa organizzazione geometrica delle corsie di immissione (si è visto che la corsia "ad ago" è quella che risulta maggiormente aderente alle aspettative degli utenti) [1].

Nel contesto dello stesso filone di studio, una problematica che si ritiene altrettanto importante affrontare è quella relativa ai criteri progettuali delle corsie di immissione. A tal proposito esistono, in letteratura, proposte di dimensionamento alquanto differenti; sostanzialmente, però, si possono isolare due "correnti di pensiero" [2], [3], [4], [5]:

- la prima intende la corsia di immissione come una vera e propria corsia di accelerazione sulla quale i veicoli, disponendosi parallelamente alla corsia di marcia normale, passano dalla velocità consentita sulle rampe a quella ammessa sulla strada principale;
- la seconda considera la corsia di immissione come un "tronco di attesa" in cui i veicoli non accelerano, ma aspettano di trovare un varco libero entro la corrente di traffico transitante sulla corsia di marcia principale (la procedura di

dimensionamento, in questo caso, richiede l'applicazione della teoria delle code e lo studio dei fenomeni d'attesa).

A tal proposito si sottolinea come la Normativa italiana (CNR "Norme sulle caratteristiche geometriche delle strade extraurbane", Bollettino Ufficiale n° 78/1980) proponga una metodologia di dimensionamento delle corsie di immissione basata semplicemente sul calcolo della lunghezza di accelerazione. In particolare, tale Normativa prevede che le corsie di immissione siano composte da due tronchi (Fig. 1) [6]:

- *tronco d'accelerazione*: ha inizio dove termina la curva circolare della rampa d'ingresso, o dal punto in cui si esce da una determinata area. Se si prevede un raccordo progressivo, esso costituisce parte integrante del tronco di accelerazione. La lunghezza di tale tronco è computata sulla base della variazione di velocità, tenendo conto di una accelerazione massima di 1 m/sec^2 , mentre la velocità raggiunta alla fine del tronco di accelerazione dovrà essere pari alla velocità operativa della corsia esterna. Almeno un terzo di tale tronco di accelerazione deve svilupparsi con asse rettilineo parallelamente alla carreggiata stradale.
- *tronco di manovra*: si compone di un tratto rettilineo in prosecuzione del tronco di accelerazione parallelo alla carreggiata stradale, di lunghezza non inferiore a 20 m e di un raccordo che si sviluppa su una lunghezza non inferiore a 30 m.

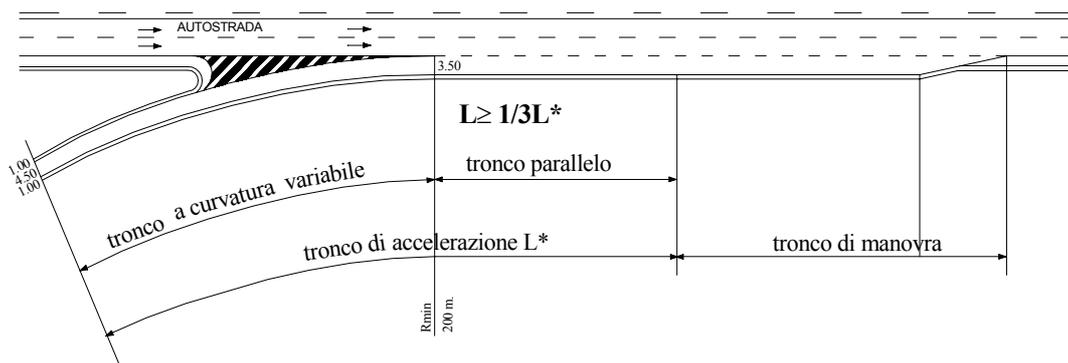


Figura 1 – Schema degli elementi geometrici di una corsia di accelerazione in base alla Normativa CNR [6].

Per contro, i criteri progettuali basati sull'assimilazione della corsia di immissione ad un tronco di attesa, forniscono espressioni analitiche nelle quali entrano in gioco parametri deducibili da elementi di teoria delle probabilità. Si riporta, ad esempio, l'espressione per il calcolo della lunghezza del tronco di immissione ricavata dal Prof. Giannini [2] e ripresa da altri autori [4]:

$$L_m = 2 * v_2 * E(w)$$

in cui:

- v_2 = velocità della corrente veicolare in immissione (m/s);
- $E(w)$ = media dei tempi di attesa in coda: $E(w) = E(s) + \frac{Q_2 * [(E(s))^2 + V(s)]}{2 * [1 - Q_2 * E(s)]}$

dove $E(s)$ e $V(s)$ sono rispettivamente la media e la varianza del "tempo di servizio" (ovvero l'intervallo di tempo che trascorre mentre l'utente che è alla testa della coda viene "servito"), ed hanno le seguenti espressioni:

$$E(s) = T + \frac{e^{K \cdot Q_1 \cdot \frac{V_1 - V_2}{V_1} \cdot T} - \sum_{i=0}^K \frac{\left(K \cdot Q_1 \cdot \frac{V_1 - V_2}{V_1} \cdot T \right)^i}{i!}}{Q_1 \cdot \frac{V_1 - V_2}{V_1} \cdot \sum_{i=0}^{K-1} \frac{\left(K \cdot Q_1 \cdot \frac{V_1 - V_2}{V_1} \cdot T \right)^i}{i!}}$$

$$V(s) = \frac{(K+1) \cdot \left[e^{K \cdot Q_1 \cdot \frac{V_1 - V_2}{V_1} \cdot T} - \sum_{i=0}^{K+1} \frac{\left(K \cdot Q_1 \cdot \frac{V_1 - V_2}{V_1} \cdot T \right)^i}{i!} \right]}{K \cdot Q_1^2 \cdot \sum_{i=0}^{K-1} \frac{\left(K \cdot Q_1 \cdot \frac{V_1 - V_2}{V_1} \cdot T \right)^i}{i!}} + [E(s) - T]^2$$

I parametri che entrano in gioco nelle precedenti relazioni sono di seguito elencati:

- Q_1 = portata relativa alla corrente principale (veic/s/corsia);
- V_1 = velocità della corrente principale (km/h);
- Q_2 = portata della corrente secondaria in immissione (veic/s);
- V_2 = velocità della corrente secondaria (km/h);
- K = parametro della distribuzione probabilistica di Erlang;
- T = intervallo critico valutato tramite l'equazione: $T = \frac{V_1 - V_2}{2a} + 2\delta$ (dove: v_1 e v_2

sono le velocità espresse in m/s, a è l'accelerazione in m/s^2 , δ è la distanza di sicurezza tra due veicoli della corrente principale).

Si riporta, a titolo d'esempio, un abaco per il calcolo del tronco di attesa (Fig. 2), dedotto dall'applicazione della metodologia di cui si è appena dato qualche cenno.

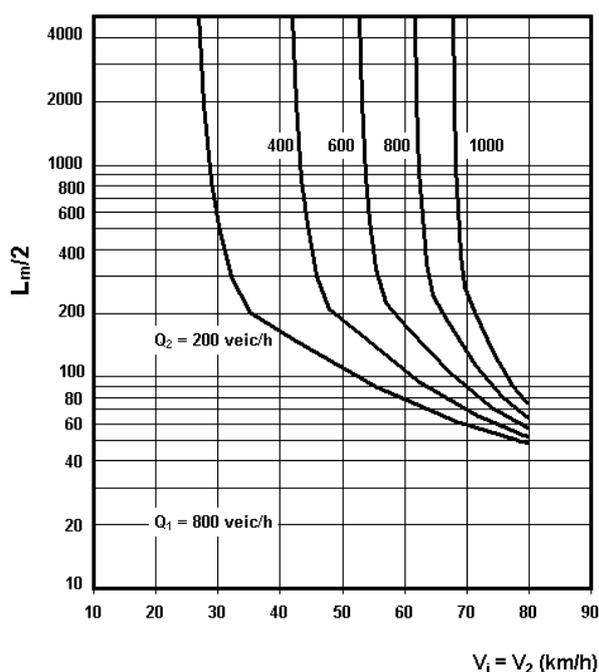


Figura 2 – Lunghezza media $L_m/2$ in metri della corsia di attesa in funzione della velocità con cui viene percorsa e della portata (Q_2) entrante quando la velocità della corrente principale è $V_1=80$ km/h e la portata sulla corsia n°1 è $Q_1=800$ veic/h [2].

I risultati di alcune ricerche condotte sia a livello nazionale che internazionale hanno messo in evidenza come il modello comportamentale degli utenti che si immettono in una carreggiata con caratteristiche autostradali, risulta, generalmente, più simile allo

schema della “manovra di attesa” piuttosto che a quello associato al “criterio dell’accelerazione”. In particolare si è visto che i veicoli manifestano una scarsa tendenza ad accelerare, preferendo piuttosto manovre d’ingresso maggiormente legate ad aspetti di sicurezza e comfort [5], [2].

Nel presente studio si vuole, in primo luogo, evidenziare l’esistenza di modalità di immissione che si discostano sensibilmente dai due filoni teorici più volte ricordati. In tale contesto, la caratterizzazione delle traiettorie di ingresso statisticamente più frequenti, effettuata tramite l’acquisizione di informazioni dedotte da una serie di rilievi sperimentali eseguiti presso tre aree di svincolo siciliane, fornirà lo spunto per articolare una rielaborazione dei criteri progettuali delle corsie di immissione.

Si sottolinea, poi, come tra gli obiettivi principali di questo studio ci sia quello di arrivare a creare i presupposti per la definizione di nuovi criteri progettuali sempre meno legati dagli aspetti comportamentali degli utenti, a loro volta intimamente connessi alle reali condizioni di deflusso veicolare.

Nell’ambito delle attività di ricerca finalizzate alla realizzazione del presente contributo, infatti, si è impostata una campagna d’indagine mirata alla caratterizzazione di zone di svincolo inserite in contesti extraurbani interessati da volumi di traffico medio-bassi. Il confronto con le modalità comportamentali associate a flussi di traffico elevati (anche prossimi alla congestione) servirà, infine, ad avallare le considerazioni, sia critiche che propositive, che verranno portate avanti nel corso della disquisizione.

2. L’INDAGINE SPERIMENTALE: MODALITÀ D’ESECUZIONE E DEDUZIONE DEI RISULTATI

Tramite le operazioni di rilievo che verranno dettagliatamente descritte in questo paragrafo, si vuole in primo luogo analizzare il comportamento dei veicoli che si immettono sulle carreggiate autostradali, nella situazione, molto frequente, in cui i flussi si possono considerare medio-bassi (con questa definizione si intende far riferimento a portate veicolari che, al massimo, raggiungono valori pari al 50-60% della capacità trasportistica); in secondo luogo, si vuole effettuare un confronto con le condizioni operative derivanti da situazioni di traffico prossime alla congestione. Si ribadisce come l’obiettivo conclusivo sia quello di proporre l’adozione di criteri di progetto dei tronchi di immissione, differenziati in base alle diverse modalità operative da cui scaturiscono le effettive condizioni di deflusso.

Per l’impostazione del rilievo sperimentale si sono preliminarmente scelti i criteri selettivi delle zone di svincolo; in particolare:

- l’ubicazione delle zone di svincolo doveva garantire modalità di rilievo ottimali delle corsie di immissione, sia in termini di inquadratura dell’area di manovra, che in termini della sicurezza degli operatori;
- le corsie di immissione dovevano avere una geometria classica, ossia conformata in base alla Normativa CNR.

Tra gli svincoli che soddisfacevano i suddetti requisiti funzionali, la scelta è ricaduta sui seguenti (Fig. 3):

- lo svincolo di Bagheria, ubicato sulla autostrada A19 Catania-Palermo;
- lo svincolo di Fiumefreddo, situato sulla autostrada A18 Messina-Catania;
- lo svincolo di San Giovanni Galermo, localizzato sulla Tangenziale Nord di Catania in direzione Misterbianco.

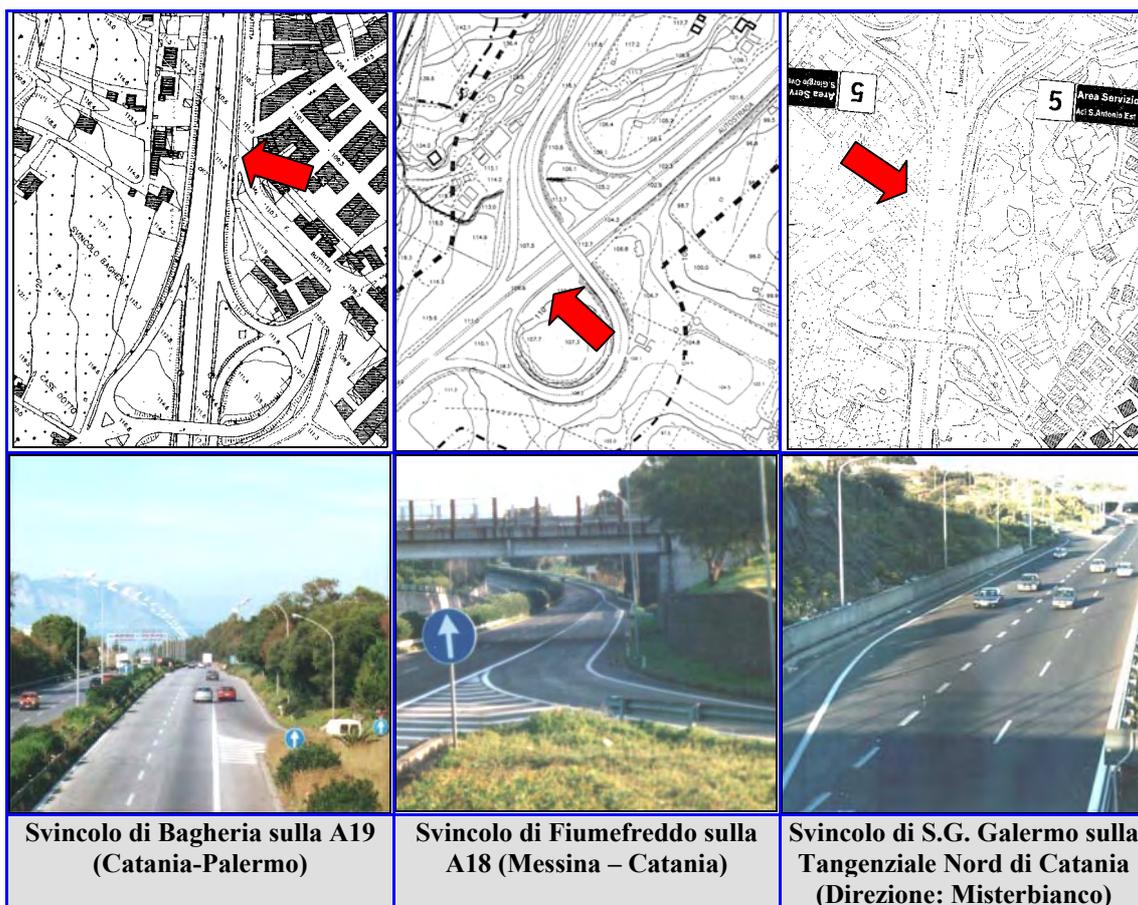


Figura 3 – Aree di svincolo oggetto delle indagini sperimentali.

Si tratta di tre intersezioni a livelli sfalsati inserite in contesti prettamente autostradali (tutte e tre le infrastrutture possono essere assimilate a strade del II tipo in base alla classificazione del CNR). Per quel che concerne poi le caratteristiche dei tronchi di immissione (tratti paralleli), si hanno i valori riportati nella tabella 1.

	Larghezza del tronco parallelo	Lunghezza del tronco parallelo
Svincolo di Bagheria	3.50 m	254 m
Svincolo di Fiumefreddo	3.50 m	215 m
Svincolo di San Giovanni Galermo	4.00 m	197 m

Tabella 1 – Caratteristiche geometriche dei tronchi di immissione oggetto dell'indagine.

Per quanto riguarda la prima fase del rilievo, al fine di acquisire informazioni relative a flussi di traffico medio-bassi, si sono adottati criteri differenziati nella scelta delle ore per l'esecuzione dei rilievi; in particolare:

- per gli svincoli di Bagheria e di Fiumefreddo, l'ora di riferimento prescelta è l'ora di punta (si tratta, in entrambi i casi, dell'intervallo orario compreso tra le 8.00 e le 9.00);

- per lo svincolo di San Giovanni Galermo, si è potuto invece constatare come l'ora di punta (tra le 8.00 e le 9.00) fornisca portate veicolari molto prossime alla capacità; pertanto si è fatto riferimento ai flussi veicolari relativi alla fascia oraria compresa tra le 9.00 e le 10.00.

Per la seconda fase della campagna d'indagine ci si è riferiti al solo svincolo per S.G. Galermo, e si sono analizzati gli intervalli orari in cui le portate veicolari potevano considerarsi "elevate", ovvero superiori alla soglia adottata (60% del valore della capacità). Le fasce orarie scelte per i rilievi sono state pertanto le seguenti: tra le 8.00 e le 9.00 (ora di punta), tra le 12.00 e le 13.00, tra le 18.00 e le 19.00, e tra le 19.00 e le 20.00.

Le fasi del rilievo sono state temporalmente svolte secondo il piano di lavoro riportato nella tabella 2.

Data del rilievo	Fascia oraria	Area di svincolo
Martedì 13 Febbraio 2001	8.00 : 9.00	Bagheria (A19: Catania – Palermo)
Martedì 20 Febbraio 2001	8.00 : 9.00	Fiumefreddo (A18: Messina – Catania)
Mercoledì 21 Febbraio 2001	8.00 : 9.00	S.G. Galermo (Tangenziale Nord di Catania)
	9.00 : 10.00	
Martedì 27 Febbraio 2001	12.00 : 13.00	
Mercoledì 28 Febbraio 2001	18.00 : 19.00	
	19.00 : 20.00	

Tabella 2 – Programma delle operazioni di rilievo.

Complessivamente sono state effettuate sette riprese filmate, ciascuna della durata di 60 minuti primi, relative ai veicoli in transito sulle corsie di immissione e a quelli in marcia sulle corsie della carreggiata principale. Per le operazioni di ripresa si sono impiegate due telecamere S-VHS (una per filmare le manovre di immissione, l'altra per riprendere la dinamica del moto sulla carreggiata autostradale), di volta in volta posizionate in punti diversi della zona di svincolo: sul cavalcavia posto prima della corsia di immissione nel caso di Bagheria, su un cavalcavia situato immediatamente dopo il tronco parallelo nel caso di San Giovanni Galermo e su un'altura prima della corsia di ingresso per lo svincolo di Fiumefreddo.

I filmati così ottenuti sono stati successivamente elaborati ed analizzati al fine di dedurre le informazioni necessarie alla caratterizzazione delle condizioni di deflusso nelle varie situazioni operative. Dall'analisi delle traiettorie dei veicoli che si immettono sulla carreggiata autostradale è stato possibile individuare, in linea generale, due tipologie di traiettorie di immissione:

- *traiettorie di immissione ad ago*: l'utente percorre la corsia d'ingresso descrivendo un ago fino ad inserirsi quasi naturalmente nella corrente principale;
- *traiettorie di immissione parallele*: l'utente che si immette lungo la corsia d'entrata la percorre, fino all'immissione, parallelamente alla linea di demarcazione con la corsia destra della strada principale.

L'analisi di dettaglio consente di procedere ad una classificazione delle traiettorie basata sulla definizione di 7 traiettorie-tipo (tre del tipo "ad ago", tre del tipo "parallelo" ed una traiettoria particolare la cui esecuzione è legata essenzialmente ad un comportamento non idoneo da parte degli utenti) rappresentate nella figura 4.

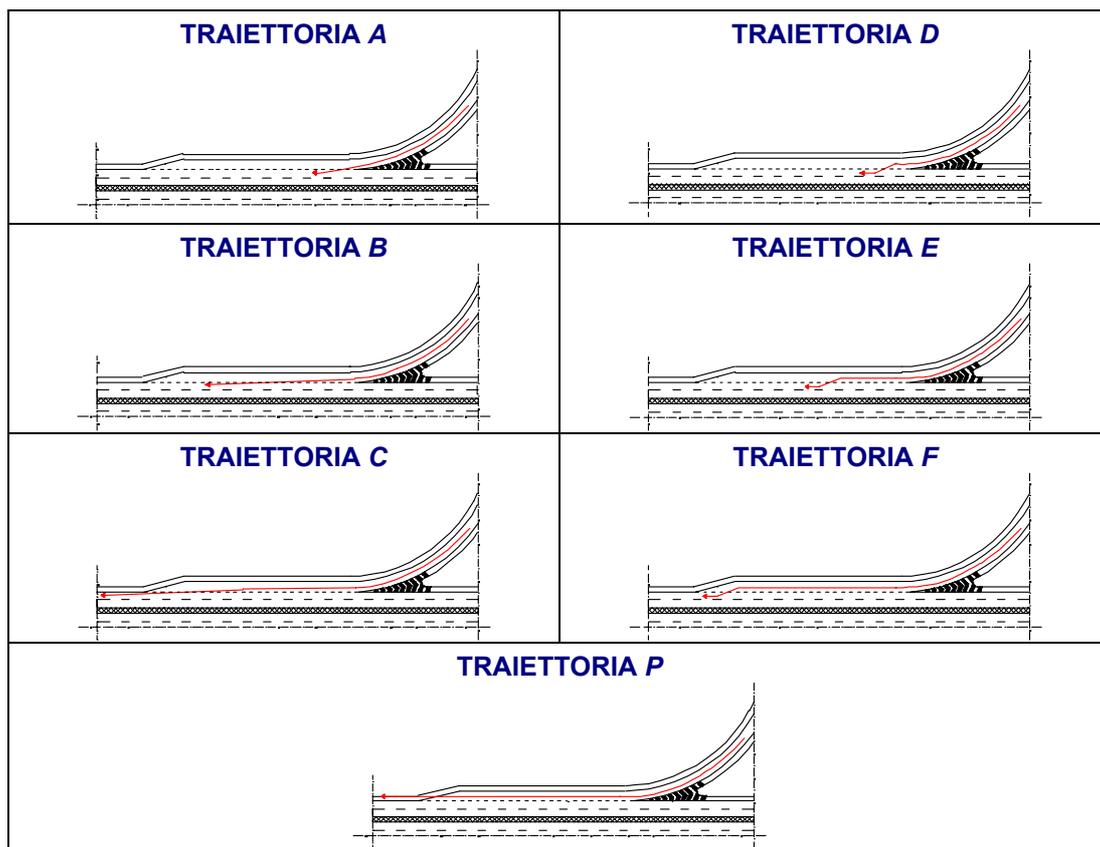


Figura 4 – Schemi delle traiettorie-tipo di immissione.

In particolare:

- **traiettoria A:** l'utente percorre una traiettoria ad ago e attraversa la linea di demarcazione nella parte iniziale, in prossimità del tratto continuo;
- **traiettoria B:** l'utente esegue una traiettoria ad ago e attraversa la linea di demarcazione nella parte centrale della linea tratteggiata;
- **traiettoria C:** l'utente effettua una traiettoria ad ago e attraversa la linea tratteggiata di demarcazione nella parte finale;
- **traiettoria D:** l'utente esegue una traiettoria parallela e attraversa la linea di demarcazione nella parte iniziale;
- **traiettoria E:** l'utente effettua una traiettoria parallela e attraversa la linea di demarcazione nella parte centrale;
- **traiettoria F:** l'utente percorre una traiettoria parallela e attraversa la linea tratteggiata di demarcazione nella parte finale;
- **traiettoria P:** l'utente percorre parallelamente il tronco di immissione e prosegue marciando lungo la banchina laterale per poi rientrare successivamente nella corsia di marcia normale (questa modalità di immissione è in realtà dettata da un'interpretazione errata delle informazioni provenienti dal tracciato da parte di quegli utenti che sfruttano impropriamente la continuità fisica tra la linee di margine della corsia parallela di ingresso e della banchina laterale).

Nelle figure 5, 6 e 7 sono riportati, per ciascuno svincolo, i grafici che forniscono la distribuzione percentuale dei vari tipi di immissione per ciascuna manovra tipo.

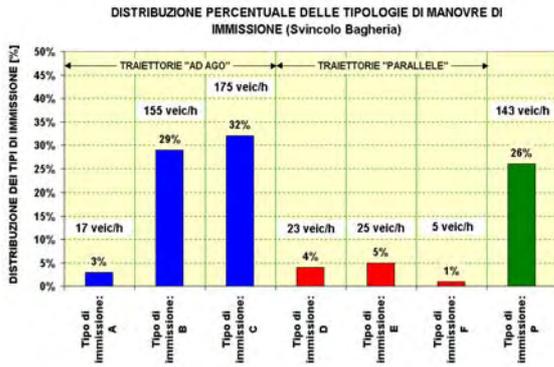


Figura 5 – Distribuzione percentuale delle tipologie di manovre di immissione (Svincolo di Bagheria).

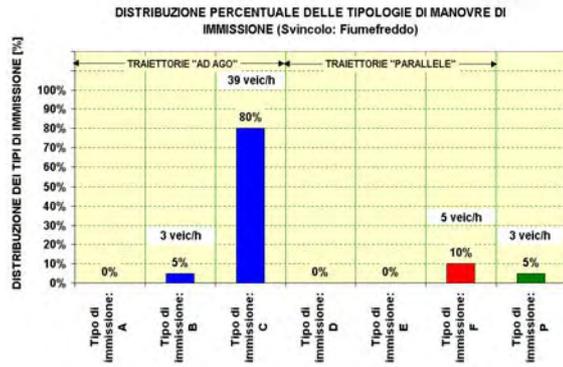


Figura 6 – Distribuzione percentuale delle tipologie di manovre di immissione (Svincolo di Fiumefreddo).

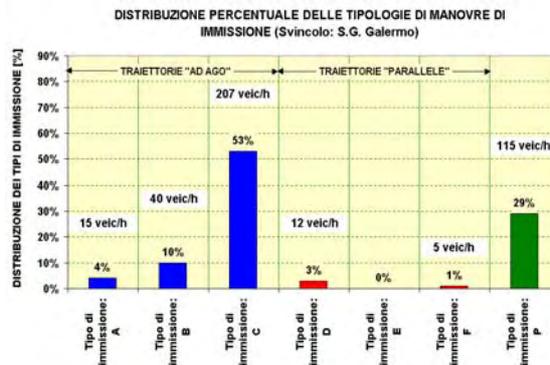


Figura 7 – Distribuzione percentuale dei tipi di manovre di immissione (Svincolo di S.G. Galermo).

Dall’analisi di tali grafici è possibile trarre le seguenti osservazioni:

- l’immissione ad ago di tipo C è quella statisticamente più frequente (per lo svincolo di Fiumefreddo è, addirittura, quella che si verifica nell’80% dei casi);
- la manovra particolare (tipo P) non può ritenersi trascurabile (raggiunge percentuali superiori al 25% sia nell’intersezione per Bagheria che in quella per S.G. Galermo);
- le manovre di tipo “parallelo” sono poco frequenti (le traiettorie D, E ed F, arrivano complessivamente ad una percentuale massima del 10%).

Riguardo all’ultima osservazione svolta, il diagramma di figura 8 serve a chiarire ulteriormente il rapporto reciproco tra le due tipologie di traiettorie di immissione.

Un altro aspetto che è possibile mettere in evidenza è quello relativo ai condizionamenti che inducono alla realizzazione di certe modalità di immissione piuttosto che ad altre. Tutte le manovre di ingresso, pertanto, sono state “rivisitate” al fine di poter giudicare il ruolo degli altri utenti nel determinarle. Il risultato di questa indagine è riportato negli istogrammi rappresentati nelle figure 9 e 10, indicativi dei condizionamenti veicolari sulle manovre di ingresso per gli svincoli di Bagheria e di S.G. Galermo (a causa del numero esiguo dei dati, non si è riportato l’analogo grafico per lo svincolo di Fiumefreddo).

DISTRIBUZIONE PERCENTUALE DELLE TIPOLOGIE DI MANOVRE DI IMMISSIONE ("AD AGO" E "PARALLELE")

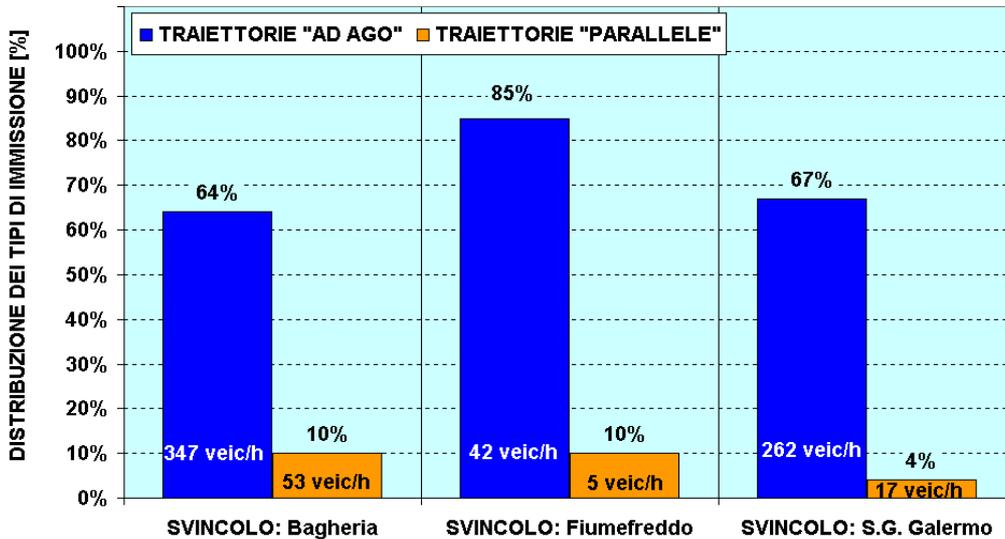


Figura 8 – Distribuzione percentuale delle tipologie di manovre di immissione (“ad ago” e “parallele”).

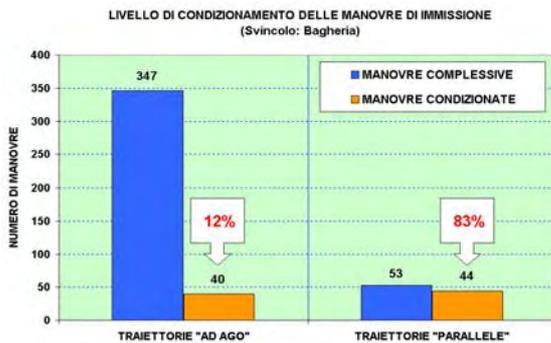


Figura 9 – Condizionamenti sulle manovre di immissione (Svincolo: Bagheria).

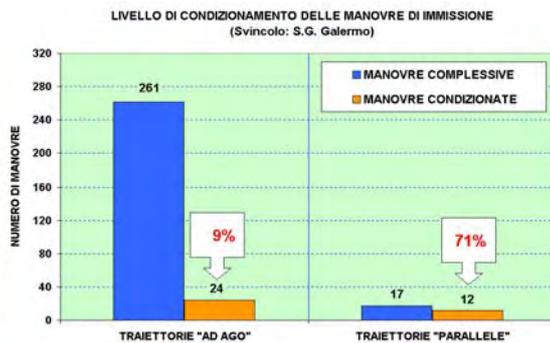


Figura 10 – Condizionamenti sulle manovre di immissione (Svincolo: S.G. Galermo).

Dall’analisi di tali istogrammi si evincono due importanti aspetti:

- l’esecuzione delle traiettorie parallele avviene quasi sempre perché gli utenti sono “costretti” dalla presenza di veicoli sulla corsia di marcia normale della strada principale, e, pertanto, sfruttano il tronco parallelo come corsia da percorrere a velocità costante in attesa di potersi immettere nella viabilità principale;
- l’effettuazione di traiettorie ad ago è una “libera” scelta da parte degli utenti, scarsamente condizionata dalla presenza di altri veicoli.

In definitiva, in assenza di un’influenza “significativa” degli altri veicoli in marcia sulla corsia destra della carreggiata, le traiettorie ad ago si possono ritenere il frutto di un comportamento “spontaneo” da parte degli utenti autostradali. Occorre a questo punto valutare la “significatività” dei condizionamenti veicolari. A tale scopo, le informazioni immagazzinate nei filmati sono state nuovamente elaborate e si è pervenuti alla quantificazione dei seguenti flussi veicolari:

- portate veicolari complessive (relative all'intera carreggiata ed in riferimento alla sezione stradale che precede la parte iniziale del tronco parallelo di immissione);
- portate veicolari sulla corsia di destra della carreggiata principale (relative alla sezione stradale immediatamente precedente l'inizio del tronco parallelo di immissione);
- portate veicolari che, in prossimità del tronco parallelo, si spostano dalla corsia di marcia a quella di sorpasso, al fine di evitare qualsiasi condizionamento da parte dei veicoli che si immettono dalle rampe di ingresso;
- portate veicolari sulle corsie di immissione (si tratta dei dati analizzati precedentemente).

Anche in questo caso sono stati tracciati gli istogrammi relativi a questa fase dello studio (Figure 11, 12, 13).

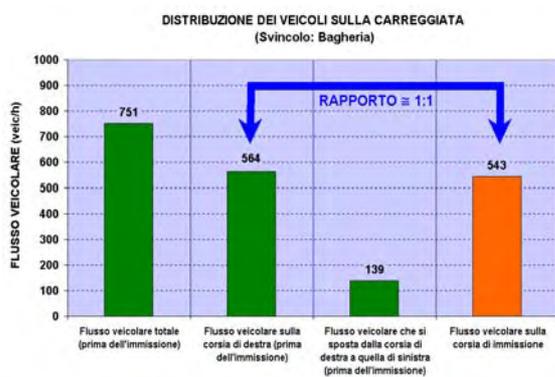


Figura 11 – Distribuzione delle portate veicolari (Svincolo di Bagheria).

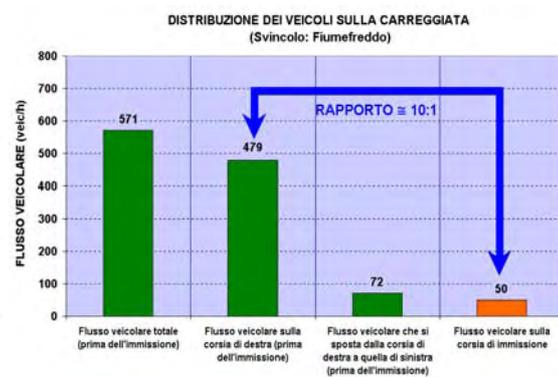


Figura 12 – Distribuzione delle portate veicolari (Svincolo di Fiumefreddo).



Figura 13 – Distribuzione delle portate veicolari (Svincolo di S.G. Galermo).

Le osservazioni che scaturiscono dall'analisi dei grafici possono essere così sintetizzate:

- i flussi veicolari sulle carreggiate principali si possono considerare medio-bassi:
 - ◆ nel caso degli svincoli per Bagheria e per Fiumefreddo, le portate veicolari complessive sono abbondantemente inferiori al valore della capacità trasportistica;

- ◆ il flusso veicolare presente sul tronco di Tangenziale in prossimità dello svincolo di S.G. Galermo è pari al 58% della capacità della strada valutata pari a 3800 veic/h in base alla procedura proposta dall’HCM-94 [7];
- l’entità del flusso di traffico che tende a spostarsi da destra a sinistra in prossimità delle zone di svincolo non raggiunge mai un valore particolarmente rilevante;
- il rapporto tra il flusso veicolare sulla corsia di destra e quello sul tronco d’ingresso, pur essendo molto variabile (da 1:1, a 10:1) non sembra essere determinante nel condizionare le manovre; da ciò si può dedurre che il persistere di condizioni “fluide” di deflusso, favorisca l’immissione ad ago, a prescindere dagli effettivi rapporti reciproci tra i flussi in immissione e quelli in marcia sulla corsia di destra della carreggiata principale.

Dalle considerazioni svolte fino a questo punto appare incontrovertibile il fatto che flussi di traffico molto bassi sulla carreggiata principale inducono i veicoli in entrata ad operare manovre di immissione che si traducono in traiettorie ad ago (prevalentemente quelle del tipo C). Si è poi individuata una soglia limite (pari al 50-60%) del rapporto tra flusso complessivo e capacità, entro la quale le modalità di immissione degli utenti risultano talmente poco influenzate dalle interazioni con gli altri veicoli in marcia, da espletarsi quasi sempre nell’esecuzione di traiettorie del tipo ad ago.

La conferma che la soglia individuata rappresenta effettivamente un limite oltre il quale i condizionamenti sono tali da provocare comportamenti radicalmente differenti, è giunta dall’analisi dei filmati relativi allo svincolo di S.G. Galermo ed eseguiti nelle fasce orarie differenti da quelle prese in considerazione fino a questo punto. Si è già detto che, oltre all’intervallo orario compreso tra le 9.00 e le 10.00, sono stati eseguiti ulteriori rilievi in altri orari: dalle 8.00 alle 9.00, dalle 12.00 alle 13.00, dalle 18.00 alle 19.00 e dalle 19.00 alle 20.00. In particolare, ai fini del presente studio, interessa mettere in evidenza i risultati associati a due fasce orarie: quella dalle 8.00 alle 9.00 (ora di punta) e quella compresa tra le 18.00 e le 19.00.

Nelle figure 14 e 15 sono riportati gli istogrammi relativi alla distribuzione dei veicoli sulla carreggiata per le due fasce orarie considerate.

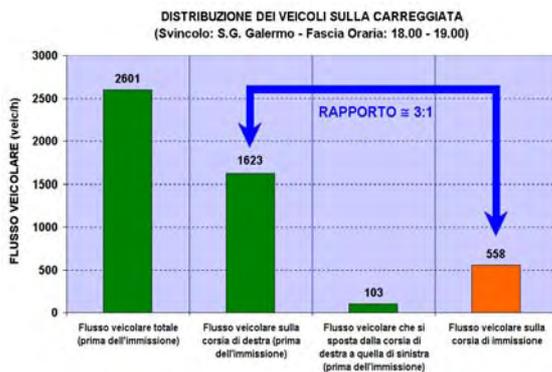


Figura 14 – Distribuzione dei flussi veicolari sulla carreggiata: fascia oraria 18.00–19.00 (Svincolo: S.G. Galermo).

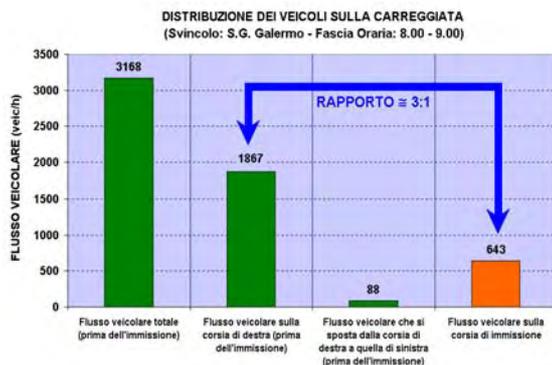


Figura 15 – Distribuzione dei flussi veicolari sulla carreggiata: fascia oraria 8.00–9.00 (Svincolo: S.G. Galermo).

Si può osservare che:

- i flussi in marcia sulla carreggiata sono “elevati”:

- ◆ nel caso della fascia oraria tra le 18.00 e le 19.00, il rapporto portata/capacità è pari al 68%;
 - ◆ nell'ora di punta (intervallo orario: 8.00-9.00), il rapporto Q/C raggiunge l'83%;
 - la portata veicolare che, avvicinandosi all'area di svincolo, si sposta verso la corsia di sorpasso, tende a ridursi con l'aumentare del flusso complessivo;
 - il rapporto tra il flusso sulla corsia di destra e quello che si immette dalla rampa è pressoché costante (pari circa 3) per tutte le fasce orarie prese in esame.
- Particolarmente indicativo è il diagramma di figura 16; in esso sono graficizzati i dati relativi alle distribuzioni percentuali delle traiettorie (ad ago, parallele e particolari) per i tre intervalli orari scelti per l'esecuzione del rilievo sullo svincolo per S.G. Galermo.

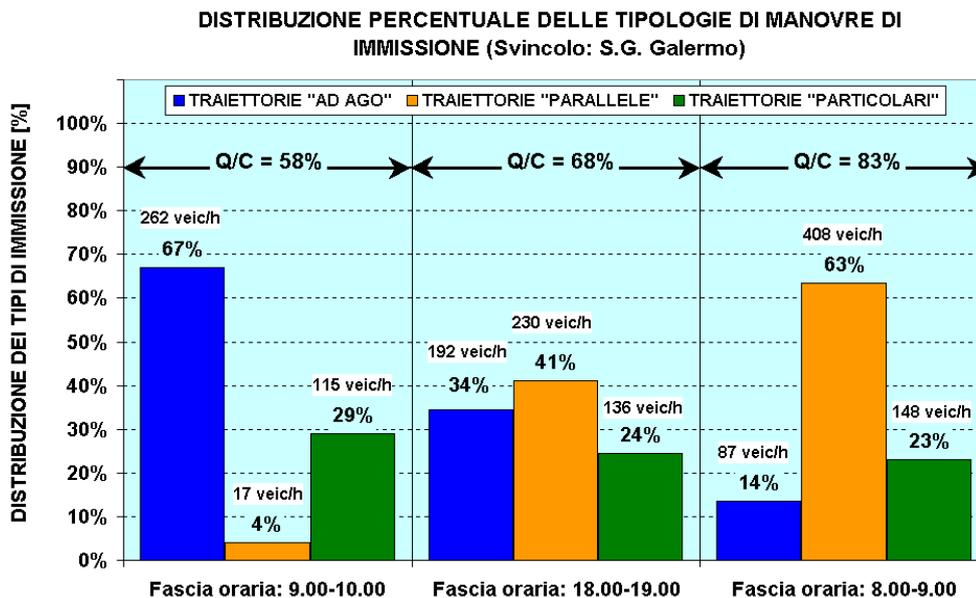


Figura 16 - Distribuzione percentuale delle tipologie di manovre di immissione in diverse fasce orarie (Svincolo di S.G. Galermo).

Le considerazioni che si possono trarre dall'analisi del suddetto grafico sono di seguito riportate:

- al crescere del rapporto Q/C si ha una sensibile riduzione delle traiettorie ad ago a favore di quelle parallele: nel caso di $Q/C = 0.68$, il numero di manovre che porta a traiettorie ad ago è ancora confrontabile con quello delle manovre associate alle traiettorie parallele; quando, invece, $Q/C = 0.83$, le manovre parallele risultano palesemente prevalenti (si manifesta una sorta di inversione tra l'entità complessiva delle due manovre, rispetto alla fascia oraria tra le 9.00 e le 10.00, in cui il rapporto portata/capacità è pari a 0.58);
- al variare del rapporto Q/C il numero totale delle traiettorie "particolari" si può ritenere pressoché costante.

Si ritiene che, per poter generalizzare le considerazioni svolte in questo studio, occorrono ulteriori rilievi sperimentali, da effettuare, in condizioni analoghe, su altre aree di svincolo; intanto però si ritiene utile tracciare un abaco schematico che, in maniera semplificata, sintetizza tutti i risultati dedotti dai rilievi complessivamente eseguiti sulle tre aree di svincolo (Fig. 17).

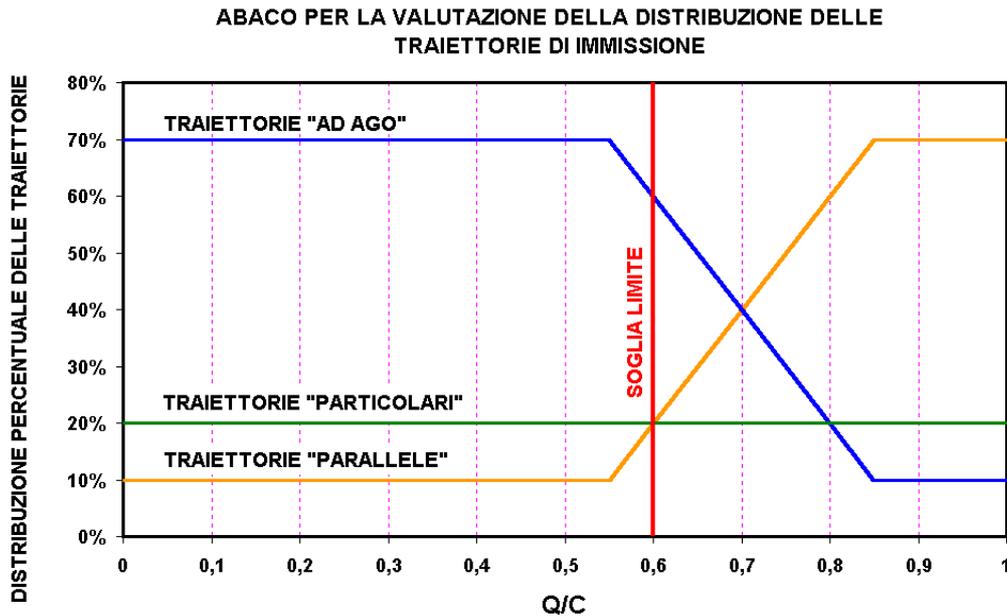


Figura 17 - Abaco per la determinazione della distribuzione delle traiettorie di immissione, in funzione del rapporto portata/capacità.

L'analisi di tale abaco permette di ribadire le seguenti osservazioni conclusive:

- ◆ nel caso di flussi medio-bassi il rapporto tra le traiettorie “ad ago”, quelle “parallele” e quelle “particolari” si mantiene praticamente costante;
- ◆ per rapporti Q/C compresi tra 0.5 e 0.6, si origina una sorta di andamento a “forbice” indicativo dei primi condizionamenti veicolari sull’effettuazione delle manovre;
- ◆ per valori di Q/C superiori a 0.6, la “forbice” si amplia rapidamente fino ad evidenziare, per valori di Q/C intorno a 0.85, l’inversione delle distribuzioni percentuali delle due traiettorie (parallele e ad ago) rispetto alle configurazioni iniziali (si è ragionevolmente supposto che, dopo il raggiungimento del punto di inversione, la distribuzione delle traiettorie si mantenga costante fino al momento in cui il flusso veicolare eguaglia la capacità (Q/C=1). Nulla si è ipotizzato invece sul comportamento dei veicoli, quando il rapporto Q/C supera il valore unitario);
- ◆ l’andamento della distribuzione percentuale delle traiettorie “particolari” è pressoché costante come confermano i risultati sperimentali.

3. IPOTESI PROGETTUALE

Dal rilievo sperimentale è scaturito che, quasi in nessun caso, l'utente che transita sulla corsia d'immissione progettata secondo la Normativa CNR, accelera per immettersi poi, sulla corsia di marcia principale, ad una velocità molto prossima a quella della corrente veicolare in transito sull'autostrada. Si è potuto anzi osservare un comportamento del tutto diverso: nella quasi totalità dei casi l'utente rallenta subito dopo aver percorso il tratto curvo ed esegue traiettorie ad ago prima di immettersi.

Le considerazioni svolte nel paragrafo precedente fanno ritenere opportuno suggerire, per la progettazione delle corsie per l'immissione e nel caso di flussi veicolari medio-bassi, una geometria che preveda un ago di manovra il quale, anche in virtù del fatto che la maggior parte delle immissioni ad ago avviene nell'ultima parte delle corsie esaminate (traiettoria di tipo C), dovrebbe avere una lunghezza notevole. Il fatto che

l'utente preferisca percorrere traiettorie abbastanza lunghe prima di immettersi è evidenziato anche dall'alta percentuale di veicoli che percorrono la manovra particolare (tipo P), e che, probabilmente, eseguono successivamente un'immissione ad ago a partire da un punto situato sulla banchina laterale.

La sistemazione piano-altimetrica dell'ago di manovra deve essere progettata tenendo conto oltre che di criteri dinamici (gli utenti devono dosare opportunamente la velocità, in maniera da sopraggiungere alla fine dell'ago nella situazione a loro favorevole, ossia quella di assenza di veicoli che sopraggiungono dalla corsia di marcia normale) anche di criteri ottici che consentono all'utente che percorre l'ago di vedere i veicoli, che intanto sopraggiungono dalla corsia principale di destra, senza ruotare eccessivamente il capo. Si sottolinea, in proposito, l'importanza di dover garantire condizioni di visibilità congruenti con la dinamica della manovra di immissione; occorre cioè che la percezione ottica determinata dai triangoli di visibilità risulti compatibile con la velocità di ingresso dei veicoli che si immettono "ad ago" a partire dalle rampe. In tale contesto, è opportuno rilevare come esistano zone di svincolo in cui le traiettorie di immissione, prevalentemente ad ago, vengono eseguite su tronchi paralleli che non garantiscono la corretta visuale della geometria dell'area e, conseguentemente, comportano interazioni pericolose con i veicoli in transito sulla corsia principale. La rischiosità di tali situazioni ha indotto le società competenti, in alcune situazioni riscontrabili a livello della rete stradale nazionale, all'installazione di cordoli separatori (spesso fuori norma) pur di "costringere" i veicoli ad intradarsi secondo traiettorie parallele.

Successivi studi saranno utili per approfondire le questioni inerenti alla conformazione geometrica dell'ago. In questo contesto è opportuno osservare come la Normativa A.A.S.H.T.O. (1994) suggerisca, in alternativa al tronco parallelo e proprio nei casi in cui i volumi di traffico siano inferiori alla capacità delle aree di immissione, la corsia di ingresso ad ago [5]. Tale corsia (Fig. 18) viene realizzata con una lunga e uniforme rastremazione. L'A.A.S.H.T.O. consiglia che una buona rastremazione può essere realizzata secondo un rapporto, compreso tra 50:1 e 70:1, tra la lunghezza dell'ago e la larghezza del tronco valutata come distanza tra il margine esterno della corsia di accelerazione e il margine destro della corsia di marcia della strada principale.

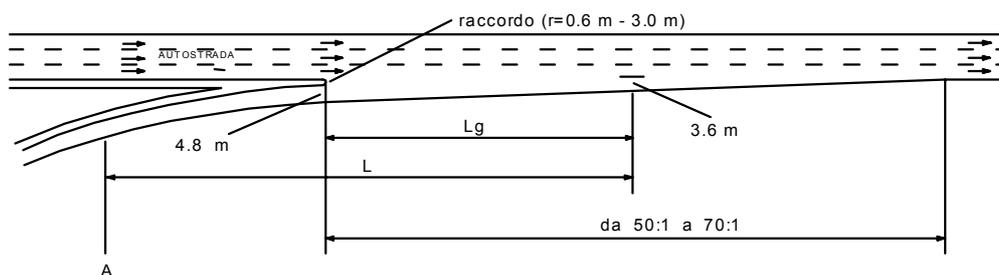


Figura 18 - Conformazione ad ago del tronco di immissione (Normativa A.A.S.H.T.O.) [5].

Gli elementi geometrici della rampa propriamente detta dovrebbero essere tali da consentire agli automobilisti di raggiungere una velocità V_i approssimativamente eguale alla velocità media di marcia V_m della strada principale ridotta di 10 km/h , prima del punto in cui il margine sinistro della rampa si congiunge con il margine destro della strada principale. Tale zona di convergenza viene generalmente individuata dal punto in

cui il margine destro della rampa dista 3.60 m dal margine destro della corsia destra dell'autostrada. Prima di questo punto di convergenza, la distanza richiesta per l'accelerazione è valutata in funzione della differenza tra la velocità media di marcia sulla curva d'ingresso e la velocità media di marcia sulla strada principale.

La tabella 3 mostra i valori delle lunghezze minime del tratto da percorrere in accelerazione. Per pendenze delle rampe superiori al 2%, le lunghezze possono essere corrette tramite una serie di fattori moltiplicativi, funzione della velocità e della pendenza, riportati nella tabella 4 [5].

Velocità di progetto della strada principale, V (km/h)	Velocità d'ingresso nella strada principale, V _i (km/h)	Lunghezza di accelerazione, L (m)							
		Velocità di progetto del tratto curvilineo di immissione, V _c (km/h)							
		0	20	30	40	50	60	70	80
		Velocità iniziale, V _f (km/h)							
		0	20	28	35	42	51	63	70
50	37	60	-	-	-	-	-	-	-
60	45	100	85	70	-	-	-	-	-
70	53	145	125	110	85	50	-	-	-
80	60	195	180	165	135	100	55	-	-
90	67	275	260	240	210	175	130	50	-
100	75	370	345	330	300	265	220	145	55
110	81	430	405	390	360	330	285	210	120
120	88	520	505	500	470	445	400	335	245

tipo Ago

tipo Parallelo

Tabella 3 - Lunghezze minime del tronco di accelerazione (pendenze minori o uguali al 2%) [5].

Velocità di progetto della strada principale, V (km/h)	Fattori correttivi per le lunghezze di accelerazione					
	Velocità di progetto del tratto curvilineo di immissione, V _c (km/h)					
	40	50	60	70	80	Tutte le velocità
	Da 3 a 4 % in salita					Da 3 a 4 % in discesa
60	1.30	1.40	1.40	-	-	0.70
70	1.30	1.40	1.40	1.50	-	0.65
80	1.40	1.50	1.50	1.50	1.60	0.65
90	1.40	1.50	1.50	1.50	1.60	0.60
100	1.50	1.60	1.70	1.70	1.80	0.60
110	1.50	1.60	1.70	1.70	1.80	0.60
120	1.50	1.60	1.70	1.70	1.80	0.60
	Da 5 a 6 % in salita					Da 5 a 6 % in discesa
60	1.50	1.50	-	-	-	0.60
70	1.50	1.60	1.70	-	-	0.60
80	1.50	1.70	1.90	1.80	-	0.55
90	1.60	1.80	2.00	2.10	2.20	0.55
100	1.70	1.90	2.20	2.40	2.50	0.50
110	2.00	2.20	2.60	2.80	3.00	0.50
120	2.30	2.50	3.00	3.20	3.50	0.50

Tabella 4 - Fattori correttivi per la lunghezza del tronco di accelerazione in funzione della pendenza [5].

In sintesi, si può osservare come la Normativa A.A.S.H.T.O. proponga una metodologia per il dimensionamento dei tronchi di immissione che tiene conto delle due diverse modalità di approccio (quella dell'accelerazione e quella dell'attesa); infatti:

- ◆ viene fissata l'entità della rastremazione (da 50:1 a 70:1); ciò comporta che l'ago di manovra può assumere uno sviluppo massimo di circa 350 metri, sufficiente a garantirne la percorribilità, a velocità costante, da parte degli utenti in attesa di trovare un varco sulla corrente di traffico principale;
- ◆ viene proposto un criterio per la determinazione del tratto da percorrere in accelerazione. La dimensione di tale tronco condiziona la scelta della lunghezza dell'ago di manovra in tutti quei casi in cui si prevedono scostamenti notevoli tra la velocità all'uscita dalla rampa e quella in ingresso sulla corsia di marcia principale. Per ΔV superiori a 40 km/h, in particolare, vengono proposte lunghezze di accelerazione superiori al limite di 350 metri relativo al "criterio dell'attesa"; per contro, nei casi in cui si prevede che i tronchi di manovra vengano percorsi alla stessa velocità di fuoriuscita dalla rampa, la lunghezza dell'ago è determinata esclusivamente dai rapporti consigliati per la rastremazione.

4. CONCLUSIONI

Le manovre di immissione sulle strade extraurbane caratterizzate da volumi di traffico medio-bassi, avvengono, nella quasi totalità dei casi, su tronchi paralleli alla corsia di marcia normale; l'indagine sperimentale di cui si è dissertato nella presente memoria, ha evidenziato come tale configurazione geometrica (proposta anche dalla Normativa CNR) mal si presti a soddisfare le reali aspettative degli utenti, i quali preferiscono, invece, l'immissione tramite un lungo ago di manovra.

Le considerazioni a cui si è pervenuti sono scaturite da un'analisi "a più fasi" di una serie di riprese filmate eseguite presso tre svincoli autostradali siciliani. In effetti, oltre alla caratterizzazione delle manovre di immissione (ne sono state catalogate 7), è stato possibile valutare l'influenza dei veicoli in marcia sulla corsia di destra della strada principale sul comportamento dei veicoli in ingresso dalle rampe.

Il confronto con situazioni di traffico differenti, quantificate in funzione del rapporto tra portata e capacità, ha poi consentito di individuare il valore di soglia ($Q/C=0.5-0.6$) corrispondente alla situazione in cui gli utenti descrivono, in sicurezza, traiettorie di ingresso del tipo "ad ago".

Si ribadisce come, per potere effettivamente prospettare una nuova conformazione geometrica delle aree di immissione, occorranza ulteriori ed approfondite indagini sperimentali mirate principalmente a convalidare l'esistenza di una soglia limite oltre la quale i condizionamenti provocati dai veicoli transitanti sulla carreggiata principale sono tali da indurre gli utenti ad utilizzare il tratto parallelo come un tronco di attesa.

In ogni caso appare evidente, anche alla luce di studi condotti da altri ricercatori ed in considerazione di riferimenti normativi internazionali, che i criteri di progettazione e di adeguamento delle corsie di immissione non possano più trascurare la presa in esame dei tre seguenti aspetti:

- l'inadeguatezza delle ipotesi fondate sull'accelerazione dei veicoli in ingresso;
- la possibilità di adottare lunghi aghi di manovra per condizioni di deflusso medio-basse;
- l'adozione, nel caso di flussi veicolari sostenuti, di metodologie probabilistiche per la caratterizzazione geometrica dei tronchi di attesa.

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] *S. Leonardi. Progettazione delle intersezioni stradali: deduzione sperimentale dell'angolo di deviazione nelle corsie di uscita* - Atti del X Convegno S.I.I.V. - Acireale (CT) - 26/28 Ottobre 2000.
- [2] *P. Ferrari, F. Giannini. Ingegneria stradale – Geometria e progetto di strade* – Ed. ISEDI – 1991.
- [3] *G. Da Rios. Progetto di intersezioni stradali* – UTET – Torino 1999.
- [4] *S. Canale, S. Leonardi, F. Nicosia. Le intersezioni stradali, in ambito extraurbano* – Quaderno n° 2 – AIIT (Associazione Italiana del Traffico e dei Trasporti) – Fratelli Palombi Editori – Febbraio 1999.
- [5] *A.A.S.H.T.O. A policy on geometric design of highways and streets* – 1994.
- [6] *CNR. Norme sulle caratteristiche geometriche delle strade extraurbane* - Bollettino Ufficiale n° 78/1980.
- [7] *A.A.V.V. Highway Capacity Manual* – Special Report 209 – Ed. Transportation Research Board – 1994.
- [8] *P. Colonna, P. Del Carmine. Indicazioni progettuali, desunte da un'indagine sperimentale, per le corsie di decelerazione in curva.* Atti della giornata di studio S.I.I.V.: La sicurezza intrinseca delle infrastrutture stradali – Roma – 20/21 Febbraio 1997.
- [9] *A. Polus, M. Livneh. Comments on flow characteristics on acceleration lanes* - Transport Research – Vol. 21 A - N° 1 – pp 39-46 – 1987.
- [10] *S. Canale, S. Torrisi, F. Nicosia, S. Leonardi. Adeguamento delle corsie di uscita autostradali mediante informazioni ricavate dai rilievi sperimentali* – Atti del Convegno S.I.I.V. (Adeguamento funzionale e manutenzione delle infrastrutture viarie) – Milano – 19/20 Ottobre 1998.