



**UN CONTRIBUTO PER LO STUDIO DEGLI
ADEGUAMENTI DELLA VIABILITA' IN
ESERCIZIO IN PREVALENTI CONDIZIONI DI
MOTO TURBOLENTO**

Francesco Bella

Dip.to di Scienze dell'Ingegneria Civile - Università degli Studi di Roma TRE

Via V. Volterra, 62 - 00146 Roma

Tel: +39 06.55173416 - Fax: +39.06.55173441

e-mail: bella@dsic.uniroma3.it

UN CONTRIBUTO PER LO STUDIO DEGLI ADEGUAMENTI DELLA VIABILITA' IN ESERCIZIO IN PREVALENTI CONDIZIONI DI MOTO TURBOLENTO

FRANCESCO BELLA - Dip.to Scienze dell'Ingegneria Civile – Università di Roma Tre

SOMMARIO

Il rilievo delle modalità d'uso delle infrastrutture stradali, quando caratterizzate da una rilevante percentuale di traffico pesante, ha posto in evidenza condizioni di deflusso che differiscono da quelle classiche del moto laminare. I veicoli infatti, piuttosto che distribuirsi lungo l'infrastruttura con un distanziamento uniforme, funzione esclusivamente del flusso orario (cfr. HCM), determinano una condizione di moto turbolento, caratterizzato dalla presenza di "pacchetti", fortemente distanziati tra loro, di veicoli marcianti in colonna. Tali condizioni di deflusso non sono adeguatamente rappresentate dalle classiche curve di deflusso, in cui l'effetto del traffico pesante è tenuto in conto tramite coefficienti di equivalenza dei veicoli valutati in funzione del traffico stesso e delle caratteristiche strutturali della strada, e possono determinare importanti condizionamenti alla guida, soprattutto nelle manovre che comportano un confronto con il significativo ingombro cinematico dei pacchetti. Queste considerazioni hanno suggerito di effettuare una campagna di rilevamenti di traffico finalizzata allo studio degli elementi che possono caratterizzare la modalità di marcia a plotoni e all'analisi della loro influenza sulle condizioni di esercizio veicolare. I rilievi sono stati condotti utilizzando un rilevatore laser (Autovelox) collegato a un PC per la registrazione dei rilevamenti, integrato da un sistema di acquisizione visuale per la verifica della corretta individuazione dei plotoni. Gli esiti del lavoro pongono in evidenza l'effetto del traffico pesante nel processo di costituzione dei plotoni, forniscono indicazioni in ordine all'entità del distanziamento temporale tra due veicoli successivi significativa per l'individuazione del plotone e confermano la necessità di individuare adeguati schemi, diversi da quello tradizionale del veicolo marciante in condizioni di deflusso laminare, a cui riferire il dimensionamento degli elementi geometrici del tracciato

ABSTRACT

The observations of traffic flows on roads with elevated heavy traffic values, has shown conditions of flow, different from the classical ones (laminar flow). Vehicles travel in platoon or in group, with varying headways between successive vehicles.

These traffic flow conditions - known as turbulent- are not adequately represented by the classical speed-flow relationships and they could affect importantly the guide, particularly in the manoeuvres involving a comparison with the encumbrance kinematic of the platoons.

These considerations have suggested to carry out measurements of traffic to find out which elements could move the travelling mode towards the platoon one and to analyse their influence on the conditions of vehicular exercise.

The measurements were carried out using a laser speedometer (autovelox) connected to a PC to obtain a digital log/record of the surveys, integrated from a system of visual acquisition to have a check on the correct individuation of the platoons.

The study shows the effect of the heavy traffic on the process of constitution of the platoons, it provides indications on the headway value for the platoon formation process and confirms the need to define adequate models to design the geometric elements of the road, in conditions of turbulent flow.

1. PREMESSA

Il rilievo delle modalità d'uso delle infrastrutture stradali, quando caratterizzate da una rilevante percentuale di traffico pesante, ha posto in evidenza condizioni di deflusso che differiscono da quelle classiche di cui si giova la progettazione stradale. Queste ultime, definite di moto laminare [1 - 2 - 3] assumono, come noto, condizioni di marcia caratterizzate da veicoli distribuiti lungo l'infrastruttura con un distanziamento spaziale (d) e temporale (τ) uniforme, funzione esclusivamente del flusso orario (N). Le reali condizioni di marcia, rilevate per i notevoli volumi di traffico e per le rilevanti incidenze del traffico pesante che normalmente impegnano oggi le infrastrutture stradali, sono però ben lontane da quelle assunte nella schematizzazione del moto laminare. I veicoli infatti, piuttosto che distribuirsi lungo l'infrastruttura con un distanziamento uniforme, marciano variamente distanziati tra di loro, determinando, in funzione del valore del distanziamento, la formazione nella corrente veicolare di gruppi di veicoli marcianti in colonna. Tale condizione di deflusso - definita di moto "turbolento" [1] - è, quindi caratterizzata dalla presenza di "plotoni", intesi come un gruppo di veicoli marcianti in colonna a velocità condizionata da quella del veicolo lento in testa alla colonna (platoon leader). La loro formazione è imputabile alla mancata possibilità di effettuare il sorpasso e pertanto dipende dalle caratteristiche della strada, dall'entità del flusso e dalle tipologie di veicoli.

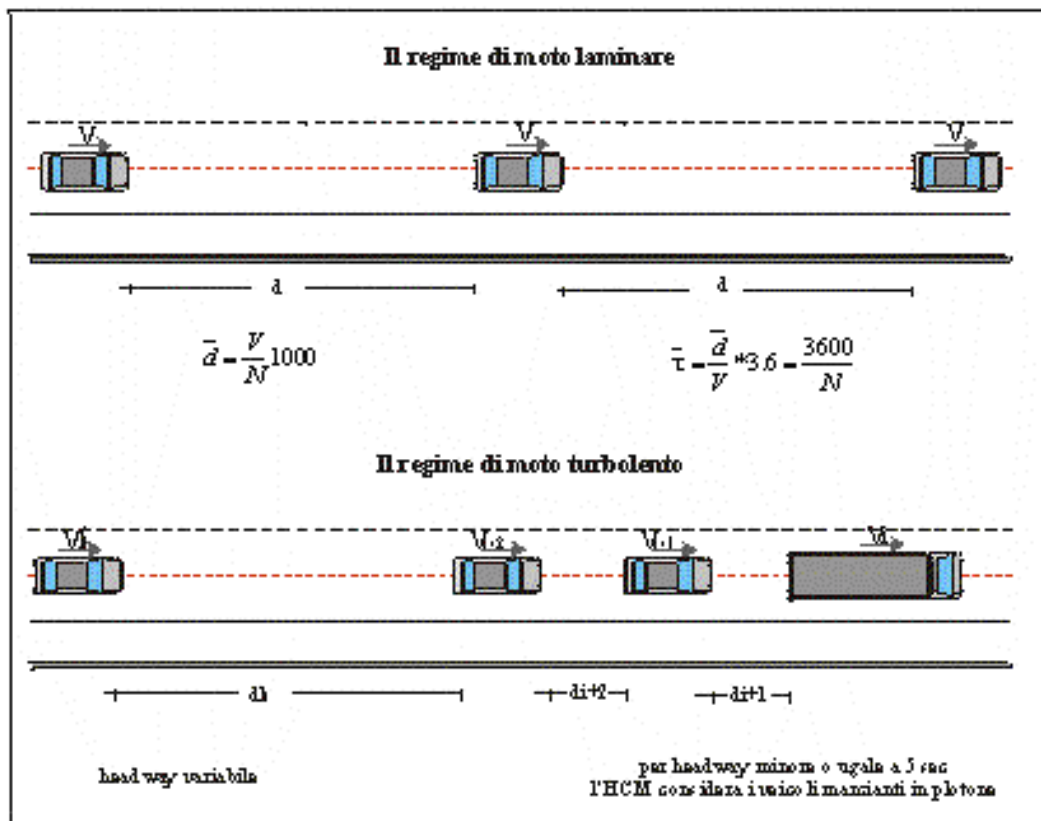


Figura 1 - i regimi di moto laminare e turbolento

Le condizioni di deflusso turbolento non sono adeguatamente rappresentate dalle classiche curve di deflusso, in cui l'effetto del traffico pesante è tenuto in conto tramite coefficienti di equivalenza dei veicoli valutati in funzione del traffico stesso e delle caratteristiche strutturali della strada, e possono determinare importanti condizionamenti alla guida, soprattutto nelle manovre che comportano un confronto con il significativo ingombro cinematico dei plotoni.

Lo studio di tali aspetti comporta la necessità di risolvere preliminarmente la questione relativa a quanto "piccola" deve essere l'entità del distanziamento tra due veicoli successivi affinché questi si configurino come un "plotone". In argomento la letteratura [4 - 5 - 6] rinvia alle indicazioni dell'Highway Capacity Manual [7] che assume due veicoli marcianti in plotone se il loro distanziamento temporale (time headway) risulta minore o uguale a 5 secondi. L'headway è da intendersi una variabile microscopica del flusso, atta a definire il mutuo condizionamento di due veicoli successivi ma non idonea a rappresentare le condizioni medie di deflusso della corrente veicolare.

L'entità del distanziamento temporale assunto dall'HCM per l'individuazione dei plotoni appare elevata e potenzialmente non idonea a rappresentare le reali interferenze tra due veicoli successivi. Un veicolo che marcia distanziato temporalmente di 5 sec da un veicolo che lo precede, infatti, potrebbe non essere condizionato da questo nella scelta della sua velocità d'esercizio. Per esempio, se si accetta l'ipotesi che un veicolo non subisce condizionamenti nella scelta della propria velocità fin tanto che non si avvicina ad un veicolo che lo precede ad una distanza pari a quella di visibilità per l'arresto, è immediato constatare (fig. 2) come l'assunzione di un distanziamento pari a 5v per l'individuazione del plotone non risulti condivisibile per velocità inferiori a 90 km/h (per pendenza longitudinale nulla).

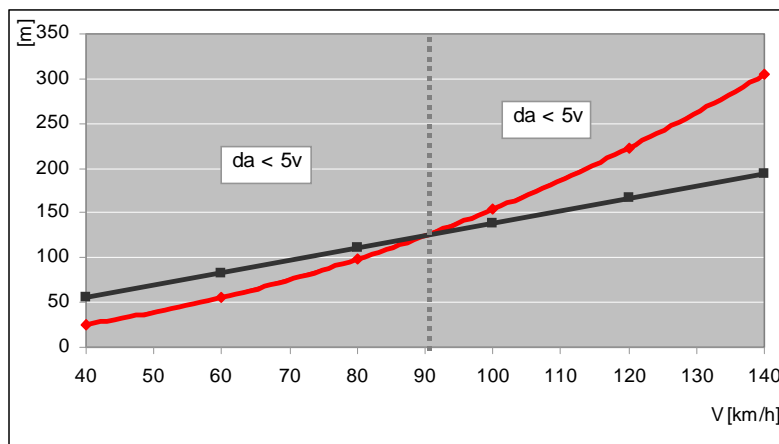


Figura 2 - le distanze di visibilità per l'arresto e il distanziamento pari a 5v

Tenuto conto di ciò si è condotto uno studio, nell'ambito di una più estesa attività di ricerca per la caratterizzazione delle condizioni del deflusso turbolento, che, per fissate caratteristiche della strada e entità di flusso, è finalizzato a:

1. valutare l'effetto del traffico pesante nel processo di costituzione dei plotoni e determinare l'entità del distanziamento temporale atto alla corretta individuazione del plotone;
2. definire le caratteristiche del plotone alle quali fare riferimento per la determinazione degli standard di progetto che tengano conto della marcia in regime di moto turbolento;
3. analizzare i condizionamenti indotti dalla marcia a plotoni sugli standard di progetto.

La presente nota riporta gli esiti dell'attività di ricerca relativa alla valutazione dell'effetto del traffico pesante, alla determinazione del valore significativo del distanziamento temporale per l'individuazione dei plotoni e alle prime analisi delle caratteristiche del plotone che possono influenzare la progettazione stradale.

2. GLI EFFETTI DEL TRAFFICO PESANTE E IL DISTANZIAMENTO TEMPORALE PER L'INDIVIDUAZIONE DEL PLOTONE

Per lo studio degli effetti del traffico pesante sul processo di costituzione di plotoni si sono effettuati rilevamenti delle condizioni di esercizio veicolare su un'infrastruttura impegnata da flussi con elevata percentuale di traffico industriale e commerciale.

L'infrastruttura oggetto di indagine è stata la S.S. n. 156 "dei Monti Lepini". Questa collega l'autostrada A1, presso la barriera di Frosinone, con la Pianura Pontina e serve un'area territoriale caratterizzata dalla presenza di rilevanti poli industriali ed agricoli. I flussi veicolari che la impegnano, quindi, sono caratterizzati da rilevanti percentuali di traffico pesante. L'infrastruttura si sviluppa per oltre 50 km in un territorio ad orografia poco ondulata e presenta un andamento prevalentemente pianeggiante, articolato in rettili raccordati da archi di cerchio la cui curvatura è tale da assicurare una visibilità per il sorpasso distribuita su una percentuale di sviluppo del tracciato dell'ordine dell'80 % del totale. La sezione è ad unica carreggiata ed è riconducibile al tipo V delle norme CNR.

I rilievi sono stati effettuati utilizzando il sistema di rilevamento delle condizioni di esercizio veicolare implementato sul laboratorio mobile del Dipartimento di Scienze dell'Ingegneria Civile dell'Università Roma TRE. È stato utilizzato in particolare un rilevatore laser (Autovelox), collegato a un PC per la registrazione del tempo cronometrico di ogni passaggio, della velocità dei veicoli e della loro lunghezza, integrato da un sistema di acquisizione visuale (telecamera digitale e software dedicato alla gestione delle immagini registrate) per la verifica del reale ingombro fisico dei veicoli e della corretta individuazione dei plotoni.

I rilievi sono stati effettuati in tratti in rettilo e in orizzontale e sono stati condotti in giorni feriali e festivi al fine di rilevare condizioni di esercizio caratterizzate dai diversi scenari di traffico. Sono stati acquisiti 42 rilevamenti per fasi temporali di circa 15'.

I flussi rilevati e riportati su base oraria hanno presentato valori variabili in un range molto contenuto (± 50 veic/h rispetto al valor medio); ciò ha consentito di ritenere tutti i rilievi caratterizzati dalla stessa entità di flusso.

Notevolmente diversa è risultata, invece, la percentuale di traffico pesante nei 42 rilievi. Questa è risultata variabile tra l'8% e il 35% in modo tale da consentire l'aggregazione della totalità dei rilievi in due distinte classi caratterizzate da elevato e da basso traffico pesante (circa 30% e 10% rispettivamente).

La tabella seguente (tab. 1) riporta i valori dei principali parametri che caratterizzano i due scenari di traffico individuati.

scenario	n. rilievi di 15'	n. veicoli rilevati	N (veic/h)	% TP	V media	Vmedia pes	V 85	V 95
Tp basso	20	1449	580	10,24	90,3	69,54	112	122
Tp alto	22	1537	589	29,2	77,6	64,5	100	116

Tabella 1 - le condizioni di deflusso dei due scenari di traffico

Lo studio degli effetti del traffico pesante sul processo di formazione dei plotoni e l'analisi della significatività del valore del distanziamento temporale al quale riferire l'individuazione dei plotoni comportano la preliminare caratterizzazione della condizione di deflusso dei veicoli liberi. A tal fine, tenuto conto delle indicazioni di letteratura che individuano in 5 sec il valore del distanziamento massimo tra veicoli successivi costituenti plotone, si è ritenuto veicolo libero quello che presenta un distanziamento temporale dal veicolo che lo precede di almeno 6 secondi. La condizione di deflusso dei veicoli liberi, così considerati, è stata assunta come riferimento per l'analisi del deflusso dei veicoli in plotoni. Questi sono stati successivamente individuati per distanziamenti temporali tra veicoli consecutivi di 5, 4, 3 e 2 secondi al fine di determinare, a seguito del confronto tra le loro condizioni di deflusso e quelle dei veicoli liberi, l'entità del distanziamento temporale atto alla corretta individuazione del plotone.

Per l'individuazione dei veicoli liberi e dei plotoni nella corrente veicolare rilevata si è effettuata l'analisi dei dati registrati dall'autovolex e, in funzione dei tempi cronometrici di passaggio dei veicoli, si sono determinati i distanziamenti temporali tra i veicoli successivi. La figura 4 riporta un esempio di individuazione dei veicoli liberi e dei veicoli in plotone per distanziamento temporale di 3 secondi. L'indicazione della lunghezza del veicolo transitato ha permesso l'individuazione della tipologia del veicolo (leggero e pesante) che, successivamente, è stata verificata attraverso il riscontro visuale del rilevamento (fig. 3).

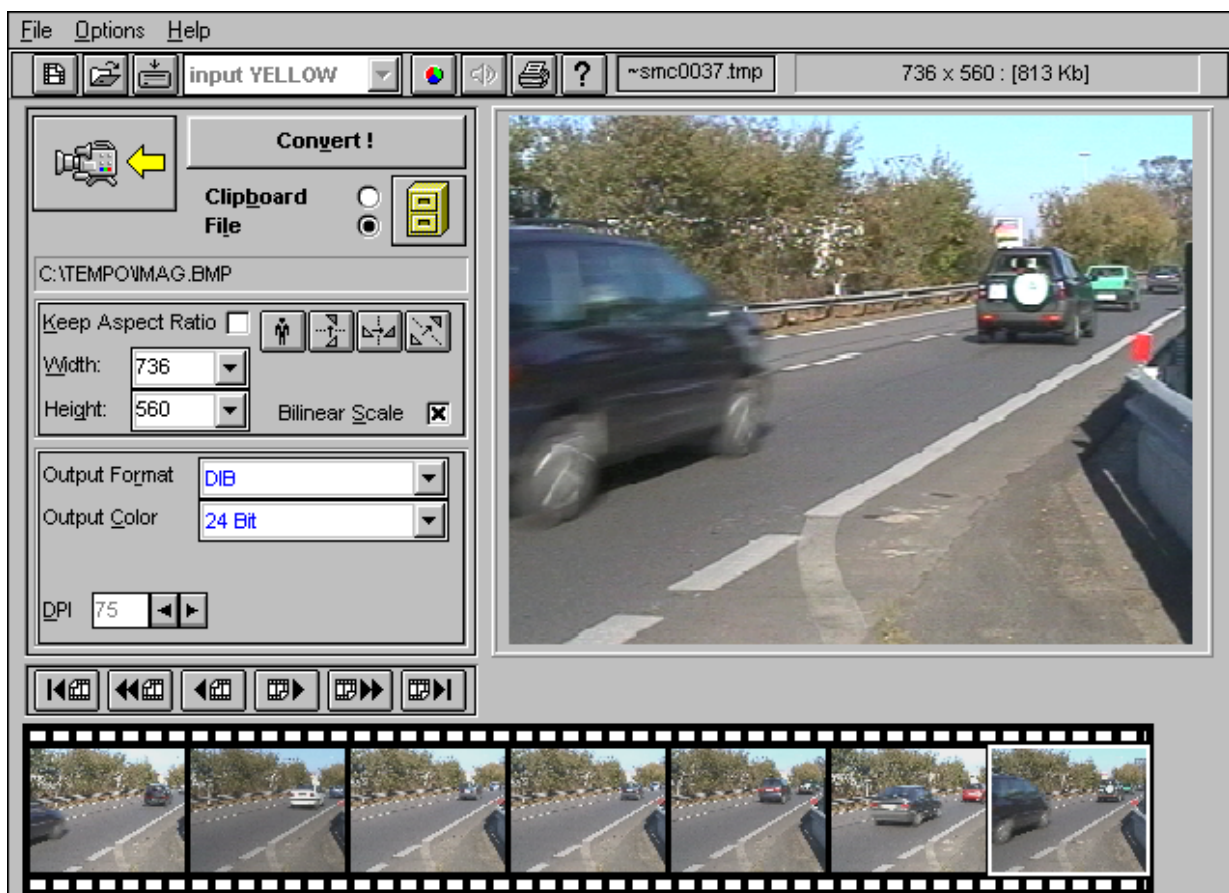


Figura 3 - la verifica visuale dell'ingombro cinematico dei veicoli e dell'individuazione dei plotoni

ss.156 - rilievo RT 2							
Individuazione dei veicoli liberi							
(distanziamento >= 6 sec)							
lungh.	vel.			h	m	s	tip. veic.
3	76	1		10	06	01	libero
8	67	1		10	06	29	libero pesante
4	65	1		10	06	31	
3	98	1		10	06	38	libero
5	56	1		10	08	07	libero pesante
3	59	1		10	08	28	libero
3	93	1		10	08	32	
4	69	1		10	08	58	libero pesante
3	118	1		10	09	18	libero
4	95	1		10	10	10	libero
5	47	1		10	10	31	libero pesante
2	47	1		10	10	33	
3	96	1		10	10	53	libero
6	61	1		10	10	55	pesante
2	93	1		10	12	03	libero
2	94	1		10	12	03	
3	94	1		10	12	04	
3	94	1		10	12	06	
3	50	1		10	12	20	libero
7	48	1		10	12	21	pesante
3	54	1		10	12	23	
3	45	1		10	13	11	libero
11	70	1		10	13	24	libero pesante
2	73	1		10	13	26	
0	68	1		10	13	26	
5	71	1		10	13	28	pesante
4	72	1		10	13	43	libero
3	90	1		10	13	47	
3	102	1		10	13	52	
2	121	1		10	13	55	
7	59	1		10	14	03	libero pesante
4	59	1		10	14	07	
3	67	1		10	14	20	
3	135	1		10	14	25	
4	79	1		10	14	29	
3	100	1		10	15	01	libero
3	95	1		10	15	11	libero
5	82	1		10	15	23	libero pesante
3	96	1		10	16	02	libero
3	65	1		10	16	07	
6	63	1		10	16	24	libero pesante
7	57	1		10	16	28	pesante
4	96	1		10	16	29	
4	59	1		10	16	31	pesante
2	63	1		10	16	32	
14	52	1		10	17	06	libero pesante
3	92	1		10	18	41	libero
4	48	1		10	18	57	libero
3	54	1		10	19	03	libero
3	99	1		10	19	22	libero
3	98	1		10	19	24	
3	95	1		10	19	35	libero
2	93	1		10	19	36	
3	93	1		10	19	37	
14	71	1		10	19	45	libero pesante
3	72	1		10	19	54	libero
3	83	1		10	20	18	libero
3	136	1		10	20	35	libero
4	86	1		10	20	39	
4	71	1		10	20	43	
3	77	1		10	20	48	

ss.156 - rilievo RT 2							
Individuazione dei plotoni							
(distanziamento <= 3 sec)							
lungh.	vel.			h	m	s	tip. veic.
3	76	1		10	06	01	
8	67	1		10	06	29	platoon leader pesante
4	65	1		10	06	31	plotone
3	98	1		10	06	38	
5	56	1		10	08	07	pesante
3	59	1		10	08	28	
3	93	1		10	08	32	
4	69	1		10	08	58	pesante
3	118	1		10	09	18	
4	95	1		10	10	10	
5	47	1		10	10	31	pesante
2	47	1		10	10	33	
3	96	1		10	10	53	
6	61	1		10	10	55	pesante
2	93	1		10	12	03	platoon leader
2	94	1		10	12	03	plotone
3	94	1		10	12	04	plotone
3	94	1		10	12	06	plotone
3	50	1		10	12	20	platoon leader
7	48	1		10	12	21	plotone pesante
3	54	1		10	12	23	plotone
3	45	1		10	13	11	
11	70	1		10	13	24	platoon leader pesante
2	73	1		10	13	26	plotone
0	68	1		10	13	26	plotone
5	71	1		10	13	28	plotone pesante
4	72	1		10	13	43	
3	90	1		10	13	47	
3	102	1		10	13	52	
2	121	1		10	13	55	
7	59	1		10	14	03	pesante
4	59	1		10	14	07	
3	67	1		10	14	20	
3	135	1		10	14	25	
4	79	1		10	14	29	
3	100	1		10	15	01	
3	95	1		10	15	11	
5	82	1		10	15	23	pesante
3	96	1		10	16	02	
3	65	1		10	16	07	
6	63	1		10	16	24	pesante
7	57	1		10	16	28	platoon leader pesante
4	96	1		10	16	29	plotone
4	59	1		10	16	31	plotone pesante
2	63	1		10	16	32	plotone
14	52	1		10	17	06	pesante
3	92	1		10	18	41	
4	48	1		10	18	57	
3	54	1		10	19	03	
3	99	1		10	19	22	platoon leader
3	98	1		10	19	24	plotone
3	95	1		10	19	35	platoon leader
2	93	1		10	19	36	plotone
3	93	1		10	19	37	plotone
14	71	1		10	19	45	pesante
3	72	1		10	19	54	
3	83	1		10	20	18	
3	136	1		10	20	35	
4	86	1		10	20	39	
4	71	1		10	20	43	
3	77	1		10	20	48	

Figura 4 – l'individuazione dei veicoli liberi e dei plotoni per time headway $t \leq 3$ sec

Le tabelle seguenti (tab. 2 e 3) riportano i dati aggregati che descrivono le principali variabili del deflusso dei veicoli leggeri e pesanti liberi e in plotoni, distinti per i due scenari ad elevato e a basso traffico pesante.

veicoli liberi	tipo veicolo	numero di osserv.	% sul tot veic osservati	% sul tot legg	% sul tot pesante	velocità media	V85	V95	
	TP= 10% (tot 1449, legg. 1299, pes. 150)								
	leggero	571	39,4	44,0		96,3	117	125	
	pesante	94	6,5		62,7	67	82	92	
	TP= 30% (tot 1537, legg. 1086, pes. 451)								
	leggero	445	29,0	41,0		89,7	112	120	
	pesante	187	12,1		41,1	66	78	84	

Tabella 2 - le condizioni di deflusso dei veicoli liberi

Plotoni	tipo veicolo	Numero di osservazioni	% sul tot veic. osservati	% sul tot legg	% sul tot pes.	V media	V 85	V 95	n.ro plotoni	Comp media	Pes. Platoon leader
plotoni $t \leq 5 \text{ sec}$	TP= 10% (tot 1449, legg. 1299, pes. 150)										
	leggero	513	35,4	39,5		83,5	100	117	177	3,03	14
	pesante	26	1,8		17,3	64,1					
	TP= 30% (tot 1537, legg. 1086, pes. 452)										
	leggero	669	43,5	61,6		76,5	100	118	266	3,20	95
pesante	182	11,8		40,7	61,5	75	82				
plotoni $t \leq 4 \text{ sec}$	TP= 10% (tot 1449, legg. 1299, pes. 150)										
	leggero	417	28,8	32,1		81,6	97	113	155	2,79	13
	pesante	18	1,2		12,0	62					
	TP= 30% (tot 1537, legg. 1086, pes. 452)										
	leggero	599	39,0	55,2		74,9	96	114	245	3,13	83
pesante	169	11,0		37,4	60,9	73	80				
plotoni $t \leq 3 \text{ sec}$	TP= 10% (tot 1449, legg. 1299, pes. 150)										
	leggero	363	25,1	28,0		79,0	93	104	129	3,00	14
	pesante	24	1,6		16,0	64,5					
	TP= 30% (tot 1537, legg. 1086, pes. 452)										
	leggero	504	32,8	46,4		69,9	90	99	189	3,50	81
pesante	159	10,4		35,2	61,1	72	80				
plotoni $t \leq 2 \text{ sec}$	TP= 10% (tot 1449, legg. 1299, pes. 150)										
	leggero	319	22,1	24,6		78,0	93	105	124	2,73	14
	pesante	18	1,2		12,0	65,9					
	TP= 30% (tot 1537, legg. 1086, pes. 452)										
	leggero	449	29,3	41,3		69,8	90	99	193	3,05	89
pesante	141	9,2		31,2	61,3	71	79				

Tabella 3 - le condizioni di deflusso dei veicoli in plotoni

L'analisi della condizioni di deflusso dei veicoli liberi e di quelli in plotone permette di trarre le considerazioni di seguito riportate.

2.1 Effetti del traffico pesante sulla percentuale di veicoli in plotone

Le percentuali di veicoli leggeri e pesanti marcianti in plotone (valutate sul totale della rispettiva tipologia veicolare) nel campione a traffico pesante elevato variano, per distanziamenti compresi tra 5 e 2 sec, tra il 61 e il 41% per i veicoli leggeri e tra il 40 e il 31% per i veicoli pesanti. Tali percentuali risultano sempre più elevate di oltre 20 punti rispetto a quelle omologhe registrate nel campione a basso traffico pesante.

Da ciò deriva che il distanziamento temporale (t) assunto per l'individuazione dei plotoni influenza la percentuale dei veicoli in plotone (ovviamente più elevata al crescere di t) ma l'incremento dei veicoli in plotone, registrato nel campione a $T_p=30\%$ rispetto a quello a $T_p=10\%$, si mantiene pressoché costante (circa 20 punti percentuali) qualunque sia t .

È interessante osservare (fig. 5) che qualunque sia il distanziamento temporale assunto per l'individuazione dei pacchetti, pur essendo la percentuale di veicoli leggeri coinvolti in plotone sempre maggiore della omologa percentuale dei veicoli pesanti, la percentuale di veicoli leggeri che si configura come platoon leader risulta minore della corrispondente percentuale di veicoli pesanti (le percentuali, valutate sulla corrispondente tipologia veicolare in pacchetto, risultano, per il campione a $T_p=30\%$, variabili tra il 22 e il 27 % per veicoli leggeri e di oltre il 50% per i veicoli pesanti).

Pur non essendo ammissibile una generalizzazione (come detto precedentemente, il deflusso turbolento dipende da molteplici variabili quali le caratteristiche della strada, l'entità del flusso veicolare e la tipologia dei veicoli), il rapporto tra i veicoli costituenti platoon leader e la corrispondente tipologia veicolare in plotone, determinato nelle specifiche condizioni di traffico e stradali oggetto di indagine, pone in evidenza il ruolo rilevante che i veicoli pesanti giocano nel processo di costituzione dei plotoni.

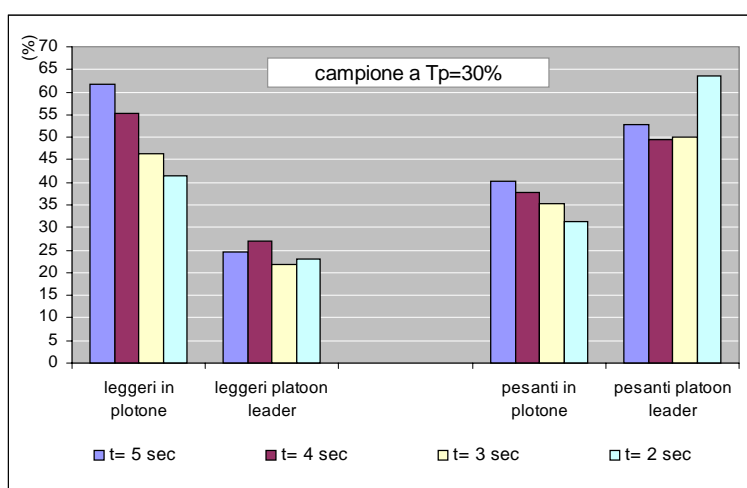


Figura 5 - veicoli leggeri e pesanti in plotone e le relative percentuali di platoon leader

2.2 Effetti del traffico pesante sulle velocità

L'incremento del traffico pesante (da $T_p=10\%$ a $T_p=30\%$) determina una riduzione delle velocità dei veicoli liberi, sia leggeri che pesanti. Per i veicoli leggeri liberi si registra una riduzione del 7% per la velocità media e del 4% per le velocità dell'85^a e della 95^a percentile (V_{85} e V_{95}). Per i veicoli pesanti liberi, invece, la riduzione risulta dell'1% per la velocità media, del 5% per la V_{85} e del 9% per la V_{95} (fig. 6).

Considerato che il veicolo è libero, ovvero non è interferito da altri veicoli, esso non dovrebbe ridurre la propria velocità con la variazione della percentuale del traffico pesante del flusso orario in quanto si trova, qualunque sia lo scenario di traffico, nella stessa condizione di deflusso (corrispondente ad

un distanziamento temporale maggiore o uguale di 6 sec).

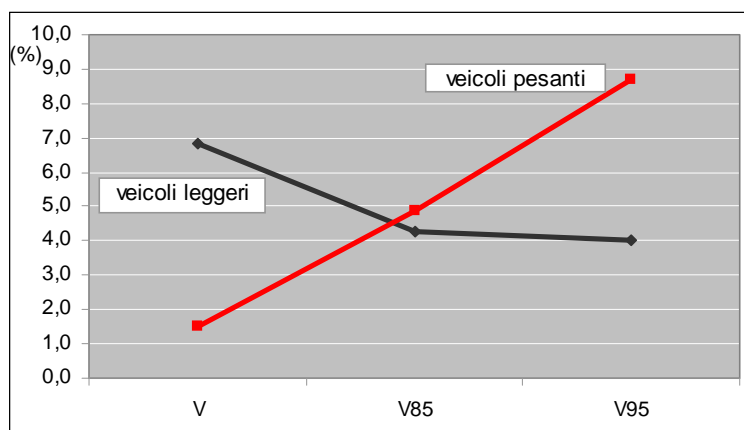


Figura 6 - - decremento percentuale delle velocità dei veicoli liberi registrato per incremento di T_p da 10 a 30%

La riduzione di velocità che invece si rileva per T_p elevato si ritiene possa essere imputata non all'interferenza diretta con altri veicoli, ma piuttosto al condizionamento "psicologico" che l'utente subisce nel percorrere la strada impegnata da una rilevante percentuale di traffico pesante di cui conserva memoria anche quando si trova in condizioni di deflusso libero. L'effetto di tale condizionamento risulta di entità differente per le due tipologie di veicoli:

- i veicoli leggeri veloci sono meno condizionati dei veicoli leggeri lenti (la V_{85} e la V_{95} diminuiscono meno della V_{media});
- i veicoli pesanti veloci sono più condizionati dei veicoli pesanti lenti (la V_{95} diminuisce più della V_{85} e ambedue più della V_{media}).

Le cause di ciò, a parere di chi scrive, possono essere riconducibili alle diverse prestazioni veicolari in relazione alla manovra di sorpasso. Gli utenti dei veicoli leggeri veloci non riducono sensibilmente la loro velocità con l'incremento di T_p poiché hanno la consapevolezza di poter effettuare, a differenza dei veicoli lenti, un agevole sorpasso qualora si presentasse l'interferenza con un veicolo pesante. I veicoli pesanti veloci, invece, sono più condizionati di quelli lenti in quanto l'incremento di T_p comporta maggiori interferenze con veicoli di elevato ingombro cinematico e, conseguentemente, manovre talmente frequenti ed impegnative da indurre nell'utente la rinuncia alle stesse ed una moderazione delle velocità.

Si osserva, infine, che l'incremento del traffico pesante dal 10% al 30% determina una riduzione della velocità media dei veicoli leggeri in plotone, qualunque sia il distanziamento temporale assunto per l'individuazione del plotone. Tale riduzione, mediamente pari al 10%, è sempre maggiore di quella registrata per i veicoli leggeri liberi (7%). La riduzione massima (11,5%) si registra per i plotoni individuati per distanziamento di 3 secondi.

2.3 Le velocità dei veicoli liberi e dei veicoli in plotone

La velocità media dei veicoli leggeri in plotone è sempre più bassa della velocità media dei veicoli leggeri liberi.

Le velocità medie dei veicoli leggeri (sia nel campione a $T_p=30\%$ che in quello a $T_p=10\%$) si riducono con il diminuire del distanziamento temporale assunto per la determinazione del plotone fino a $t=3$ sec, oltre il quale non diminuiscono ulteriormente (fig. 7).

Simile andamento si registra per la velocità dell'85^a percentile, che risulta - per lo scenario a TP=30% - addirittura crescente dopo il minimo raggiunto per t=3sec (fig.8), e per la velocità della 95^a percentile.

Con riferimento ai veicoli pesanti, la velocità media di quelli in plotone, è sempre lievemente più bassa (di qualche km/h) della velocità media dei veicoli pesanti liberi.

L'andamento delle velocità medie dei veicoli pesanti (fig. 9), sia nel campione a Tp=30% che in quello a Tp=10%, presenta un minimo per distanziamento temporale di 3sec per il campione a Tp=30% e di 4sec per il campione a Tp=10% (quest'ultimo è però caratterizzato da un coefficiente R² più basso).

Pertanto, poiché al valore di 3 sec corrispondono le peggiori condizioni di deflusso dei veicoli in plotone, si ritiene di indicare in tale valore il distanziamento temporale da assumere per l'individuazione del plotone.

Esso non dipende dalla percentuale di traffico pesante del flusso veicolare.

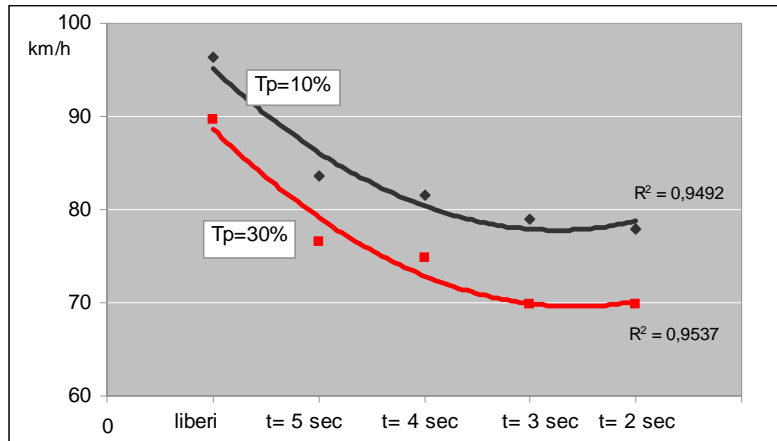


Figura 7 - la velocità media dei veicoli leggeri

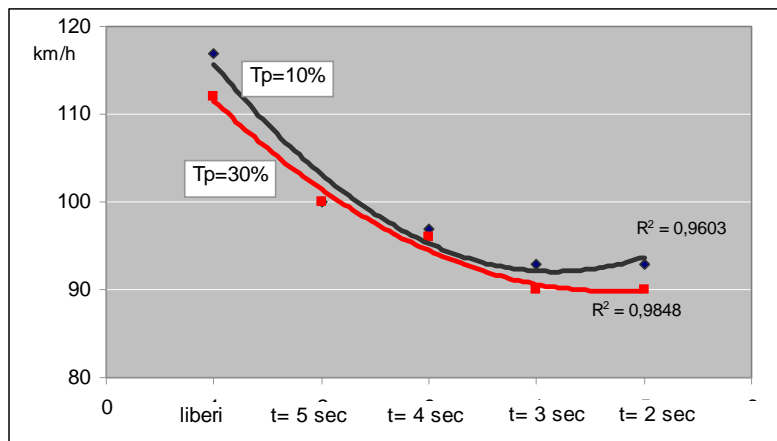


Figura 8 - la velocità dell'85^a percentile dei veicoli leggeri

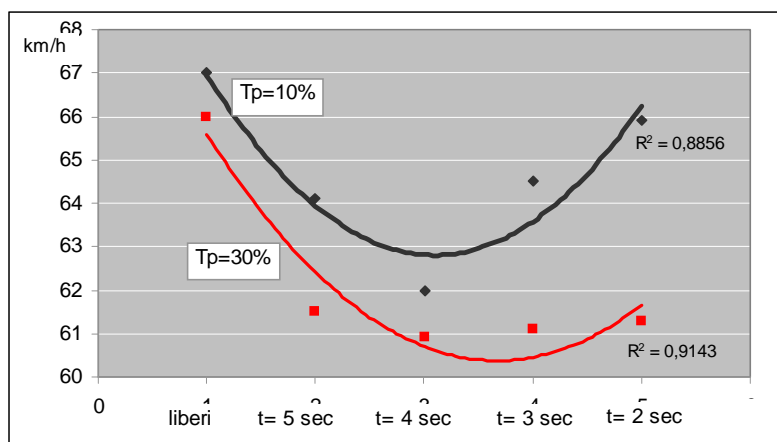


Figura 9 - la velocità media dei veicoli pesanti

Alla precedente conclusione si giunge anche se si fa riferimento al decadimento delle velocità dei veicoli in plotone rispetto alle condizioni di deflusso dei veicoli liberi. La figura 10 pone in evidenza il notevole incremento della riduzione delle velocità dei veicoli leggeri in plotone, sia nel campione a $T_p=10\%$ che in quello a $T_p=30\%$, in corrispondenza del valore di 3 sec del distanziamento temporale. Inoltre per $t=2$ sec non risultano significative variazioni delle velocità rispetto a quelle misurate in $t=3$ sec o si registra addirittura un recupero delle velocità.

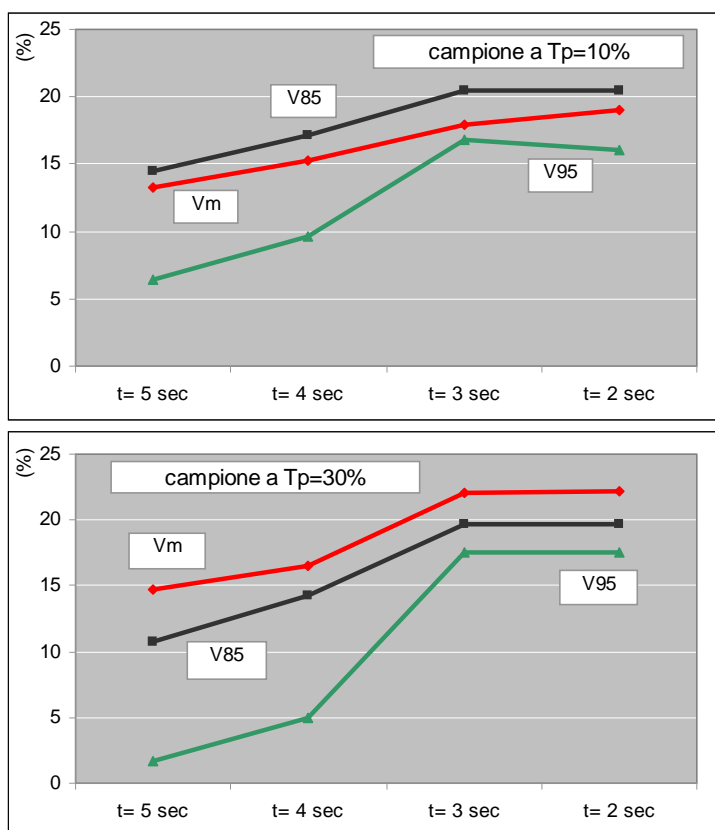


Figura 10 – la diminuzione delle velocità dei veicoli leggeri in plotone rispetto alle condizioni di deflusso dei veicoli liberi

2.4 la composizione dei plotoni

Se si considerano la composizione media del plotone e le velocità dei veicoli leggeri veloci, si osserva che per il campione a $T_p=10\%$ la composizione media del plotone diminuisce con t , passando da 2,73 per $t=2$ sec a 3,0 per $t=3$ sec, mentre la V_{95} dei veicoli leggeri aumenta con il valore del distanziamento temporale.

Ciò sembra indicare che l'insieme dei plotoni individuati per $t=2$ sec è caratterizzato, rispetto a quello individuato per $t=3$ sec, da una notevole incidenza di plotoni costituiti da soli due veicoli (la composizione media diminuisce) marcianti ad elevata velocità (la V_{95} aumenta). Per il campione a $T_p=30\%$ si osserva che, da $t=3$ a $t=2$ sec, le velocità non variano mentre si riduce la composizione media del pacchetto.

Quindi, sia per il campione a $T_p=10\%$ che per quello a $T_p=30\%$, per $t=2$ sec, si registra rispetto a $t=3$ sec la riduzione della composizione media del plotone e il mancato decadimento delle velocità. Condizioni che rivelano una notevole incidenza di gruppi costituiti da soli due veicoli marcianti a velocità elevata, cioè in condizioni di marcia tali da non poter essere considerati plotoni, intesi come insieme di veicoli limitati nell'adozione della velocità di percorrenza dal più veicolo lento in testa alla colonna.

Ciò conferma l'opportunità di assumere il valore di 3 sec per il distanziamento temporale tra due veicoli successivi per l'individuazione dei plotoni.

3. I PARAMETRI CARATTERIZZANTI I PLOTONI

Le condizioni di marcia a plotoni possono avere notevoli incidenza sulla determinazione degli standard di progetto. La rilevanza della questione appare evidente se ci si riferisce, per esempio, alle manovre che comportano un confronto con l'ingombro cinematico dei plotoni. Se si considera, a titolo esemplificativo, il caso relativo alla determinazione della visuale libera per garantire il sorpasso, la prima considerazione che si impone è quella che l'esercizio del sorpasso, con riferimento alla viabilità ordinaria, è più correttamente rappresentato dallo schema in accelerazione in luogo di quello in velocità. Per la manovra di sorpasso in accelerazione la distanza di visibilità è espressa dalla

$$L_v = \frac{V_2}{V_2 - V_{pl}}(2d + L_{plot} + l_{veic}) + \frac{\overline{V_{pl}V_2} - \overline{V_{pl}}^2}{2a}$$

che pone in evidenza la necessità di determinare i parametri del plotone quali la velocità (V_{pl}) e la lunghezza (L_{pl}), per il corretto dimensionamento di questo importante standard progettuale in condizioni di marcia a plotoni.

Rinviando a successive note l'illustrazione degli esiti dello studio ancora in corso relativo all'analisi dell'influenza dei parametri dei plotoni sul dimensionamento degli standard geometrici della strada, si riportano in figura 11 le variabili caratterizzanti il plotone che possono incidere sulle condizioni di progetto. Queste dovranno essere riferite alla condizioni di marcia a plotoni prevalenti. Da ciò discende la necessità effettuare l'analisi delle condizioni di deflusso al fine di determinare le caratteristiche dei plotoni da considerare nel dimensionamento dell'infrastruttura stradale.

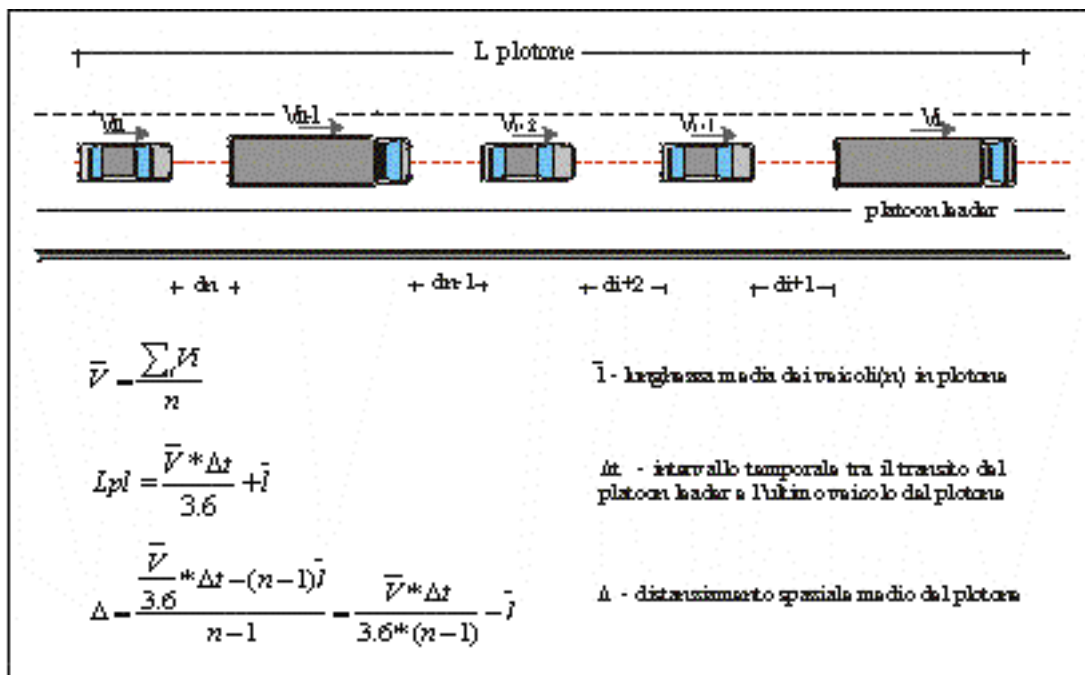


Figura 11 – le principali variabili del plotone

3. CONCLUSIONI

L'analisi delle condizioni di deflusso, riferite alla strada oggetto di indagine e rilevate per i due scenari di traffico caratterizzati dallo stesso flusso (circa 600 v/h) e da percentuali di traffico pesante di circa il 30% e di circa il 10%, ha evidenziato il ruolo rilevante dei veicoli pesanti nel processo di costituzione dei plotoni e ha posto in evidenza che

1. percentuali elevate di traffico pesante ($T_p=30\%$) determinano un incremento di veicoli marcianti in plotone di circa 20 punti percentuali rispetto a quelli marcianti in plotone in condizione di traffico caratterizzate da basso traffico pesante ($T_p=10\%$)
2. il valore del distanziamento temporale significativo per l'individuazione del plotone risulta di 3 sec. Ad esso corrispondono le peggiori condizioni di deflusso dei veicoli in plotone, ipotizzati per distanziamenti temporali variabili tra 5 e 2 sec.
3. il valore di 3 secondi del distanziamento temporale significativo per l'individuazione del plotone non dipende dalla percentuale di traffico pesante del flusso veicolare.

Le condizioni di deflusso turbolento, registrate in presenza di plotoni di veicoli nella corrente veicolare, inducono importanti condizionamenti alla guida, soprattutto nelle manovre che comportano il confronto con il significativo ingombro cinematico dei plotoni, e impongono l'analisi dell'influenza delle caratteristiche della marcia a plotoni sulle condizioni di sicurezza della circolazione.

Con riferimento alla manovra di sorpasso, lo schema da assumere per la determinazione della visuale libera, sulla viabilità ordinaria in condizioni turbolente di deflusso, è quello di sorpasso in accelerazione in luogo di quello in velocità adottato dalla norma. Per la corretta definizione di tale standard progettuale è necessario tener conto della composizione e della velocità dei veicoli marcianti in colonna.

La progettazione degli interventi di adeguamento delle infrastrutture stradali deve fondarsi, quindi, sulla preliminare analisi dei modi d'uso della strada nelle prevalenti condizioni di circolazione che consenta di individuare gli schemi logici, diversi da quello tradizionale del veicolo marciante in condizioni di deflusso laminare, a cui riferire il dimensionamento degli elementi geometrici del tracciato.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

1. C. Benedetto " le esigenze della sicurezza per una revisione delle norme geometriche di progettazione stradale" Roma 1997;
2. C. Benedetto, De Blasiis "obiettivi strategici proponibili alla luce dello stato di fatto " Torino, Lingotto 1996;
3. F. Bella, De Blasiis "lo studio dei deflussi per la sicurezza d'esercizio" Roma 1997
4. R. Archilla ,J. Morral " Traffic characteristics on two-lane highway downgrades" Transportation Research A – 1996
5. M. Van Aerde, S. Yagar "Capacity, Speed and Platooning vehicle equivalents for two –lane Rural Highway "Transportation Research Board – 1994
6. J.F. Morral, A. Werner "Measuring two-lane highway level of service by overtakings" Transportation Research – 1990
7. Special Report 209 – Highway Capacity Manual - Third Edition - Updated 1997 Transportation Research Board - National Research Council- Washington, D.C

