

# **DIAGRAMMI DI VELOCITÀ SU STRADE EXTRAURBANE: MISURE SPERIMENTALI**

*Capaldo Francesco Saverio*

Dipartimento di Ingegneria dei Trasporti, Facoltà di Ingegneria, Università Federico II, Napoli

## **SOMMARIO**

I diagrammi di velocità di percorrenza, con quelli delle velocità di progetto, sono diventati uno strumento essenziale per la valutazione degli standard di sicurezza di un tratto di strada e per la verifica della sua congruenza geometrica sia in fase di progettazione che di gestione. L'utilizzazione dell'ottantacinquesimo percentile della distribuzione delle velocità sperimentali ( $V_{85}$ , velocità attuata, velocità operativa etc.) rimane un parametro con il quale può essere opportuno proporzionare alcune caratteristiche geometriche di un tracciato stradale extraurbano. Negli anni, ed in svariati paesi, le sperimentazioni hanno fornito espressioni predittive simili (ma non equivalenti) per questo parametro in diverse condizioni prevalenti di tracciato. Alcuni modelli portano in conto oltre alla curvatura (o parametri derivati) degli elementi del tracciato anche la pendenza longitudinale.

Nella composizione del diagramma delle velocità si continua a mantenere l'impostazione suggerita dal modello riportato nella vigente Normativa dove, tra elementi a curvatura fissa (rettilinei o curve) esiste una zona di decelerazione o accelerazione che non può competere all'elemento circolare. La lunghezza di questo elemento è funzione del «comportamento» dei guidatori e può essere quantificata attraverso la misura delle accelerazioni.

Questa nota vuole illustrare i risultati ottenuti da un'indagine svolta su un tratto della strada statale SS 145 dir. Su di essa sono stati misurati i parametri della circolazione per i veicoli in transito su di una sequenza di elementi geometrici. Le registrazioni video hanno permesso di determinare per ogni veicolo transitato il tipo di veicolo, il distanziamento dal veicolo precedente, la velocità media istantanea, l'accelerazione.

I dati sono stati analizzati per determinare, di giorno ed in condizioni di tempo sereno, i valori caratteristici delle velocità su rettilineo e curva ed, anche attraverso di essi, la zona di inizio della variazioni di velocità all'approssimarsi della curva con il valore di queste accelerazioni.

## **PAROLE CHIAVE**

Velocità, Comportamento dei guidatori, Sicurezza della circolazione, Tracciato stradale.

## INTRODUZIONE

I diagrammi di velocità sono diventati uno strumento essenziale per la valutazione della congruenza della geometria e della sicurezza di un tracciato stradale. In entrambi i casi il controllo delle velocità su elementi planimetrici percorsi in successione deve garantire che le differenze dei valori di velocità non siano eccessive.

I diagrammi possono essere realizzati portando in conto due diverse velocità: le velocità di progetto e le velocità attuate.

Le prime sono quelle che variano in un intervallo che la vigente Normativa definisce «intervallo di velocità di progetto» ed è quell'intervallo che comprende *il campo dei valori in base ai quali devono essere definite le caratteristiche dei vari elementi di tracciato della strada (rettifili, curve circolari, curve a raggio variabile)*. Detti valori variano da elemento ad elemento, allo scopo di consentire al progettista una certa libertà di adeguare il tracciato al territorio attraversato. Esse sono, in pratica, le velocità con le quali si sono proporzionati gli elementi geometrici del tracciato ed alle quali è possibile risalire, utilizzando in modo inverso, gli stessi criteri di dimensionamento. Ancora la Normativa ha «ampliato» gli intervalli di velocità di progetto per le sezioni stradali tipo (aumentando, apparentemente, la possibilità del progettista di adeguare il tracciato al territorio) ma ha rimandato il controllo sull'ampiezza dell'intervallo alla costruzione dei diagrammi di velocità.

Le velocità «attuate» sono quelle effettivamente realizzate da una buona percentuale della popolazione dei guidatori (85° percentile della distribuzione dei valori sperimentali) su determinati elementi di tracciati stradali a curvatura fissa, in assenza di condizionamenti dovuti alla circolazione. In generale questa misura della velocità non dipende solo dalle caratteristiche proprie dell'elemento di transito (geometria dell'elemento, geometria della sezione, visuale libera, pendenza trasversale etc.) ma anche dalle caratteristiche complessive del tracciato in cui l'elemento è inserito. Esistono studi sulle relazioni tra le velocità attuate e le caratteristiche geometriche del tratto realizzati sia in campo nazionale (Capaldo *et al.*, 1997; IASPIS, 2001; Dell'Acqua *et al.*, 2006) sia in campo internazionale (per tutti *cf.* il capitolo 8 e la bibliografia del monumentale Lamm *et al.*, 1999). Le relazioni sperimentali vanno applicate sempre con attenzione alle realtà di indagine originarie.

La determinazione delle velocità (di progetto od attuate) è possibile su elementi planimetrici a curvatura costante. Gli adeguamenti di velocità per mantenere condizioni di guida sicure devono avvenire su tratti che vanno percorsi a velocità variabile.

Il modello comportamentale descritto dalla vigente Normativa per la realizzazione dei diagrammi di velocità di progetto, sulla base del solo tracciato planimetrico, calcolando per ogni elemento di esso il valore della velocità di progetto, che deve essere contenuta nei limiti dell'intervallo iniziale, considera per i tratti percorsi a velocità variabile un valore dell'accelerazione di  $0,8 \text{ m/sec}^2$ . Il modello tratto dal lavoro IASPIS citato, anche in accordo con altri autori (Lamm *et al.*, 1988), utilizza un valore dell'accelerazione di  $0,85 \text{ m/sec}^2$ .

Tutte le relazioni sperimentali sono suscettibili di migliori approssimazioni se si aumenta la base dei dati sperimentale. Ancora non è sempre semplice definire, in assenza di curve di transito, quale è la probabile zona di inizio della manovra di decelerazione

od accelerazione.

Per questi motivi è stata condotta un'indagine sperimentale su un tratto strada statale comprendente una sequenza di rettilineo, zona di transizione ed elemento a curvatura fissa.

## LA SPERIMENTAZIONE

La sperimentazione è stata effettuata su un tratto della SS 145 «Sorretina» (Figura 1) comprendente una sequenza di rettilineo, zona di transizione ed elemento a curvatura fissa per circa 410 m (Figure 2, 3 e 4). Il tratto ha una sezione trasversale omogenea con una carreggiata di 10,00 m, banchine da 0,45 m e corsie da 4,55 m; la pendenza longitudinale misurata è del 4%.



Figura 1 - Il tratto della SS 145 dir analizzato

L'indagine è stata condotta in giorni feriali, nelle stesse condizioni di circolazione prevalenti. Sono state definite tre sezioni di misura (con due basi longitudinali misurate) per ogni tratto. In questo modo è stato possibile rilevare, attraverso riprese video, per ogni tratto: il numero di veicoli transitati, il tipo del veicolo, il verso di percorrenza, il distanziamento temporale dal veicolo precedente, le due velocità e l'accelerazione (Capaldo, 2007). Considerate le dimensioni delle basi le velocità sono state definite come medie istantanee.

I rilievi di distanziamenti, velocità ed accelerazioni hanno riguardato un solo verso di marcia. I conteggi dei veicoli e la definizione della loro tipologia (moto, autovetture etc.), per il calcolo dei flussi di traffico complessivi, hanno riguardato entrambi i sensi di marcia.

Sono stati considerati, per i valori di velocità ed accelerazione, i soli veicoli non condizionati da altri veicoli che precedevano nel verso da Castellammare di Stabia verso Vico Equense (distanziamento temporale  $\geq 5$  sec.), sono stati costruiti i diagrammi di

flusso (Flussi orari in veicoli equivalenti/Velocità). In questo modo i rilievi sono stati svincolati alla composizione del traffico (veicoli equivalenti) e dalle sue variazioni. Le condizioni atmosferiche dei rilievi, effettuati durante le ore di luce non radente, sono state sempre di tempo sereno e pavimentazione asciutta.

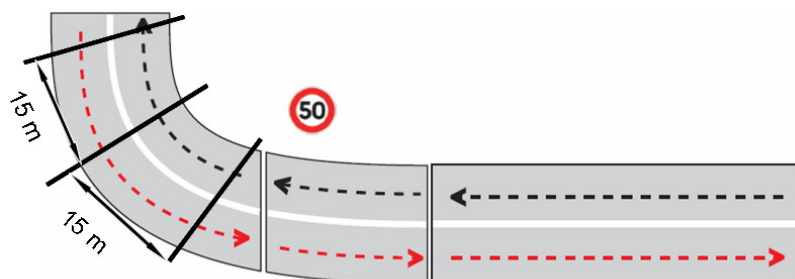


Figura 2 – Grafo del tratto della SS 145, sezioni in curva

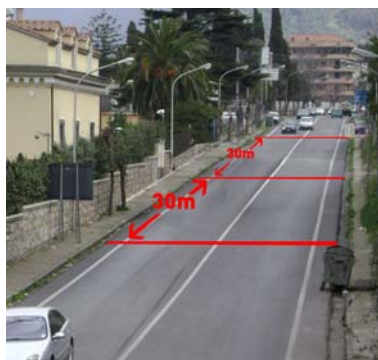


Figura 3 – Rettifilo, sezioni

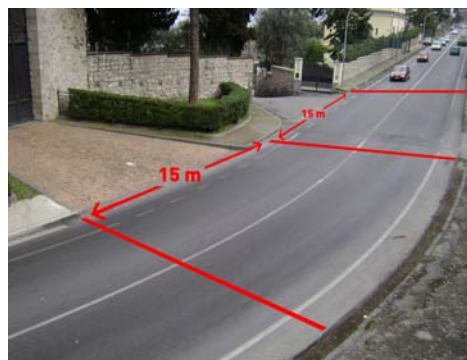


Figura 4 - Zona di transizione, sezioni

Sono stati registrati una media di circa 2000 passaggi di veicoli nelle tre ore di ogni localizzazione con un traffico leggermente prevalente nella direzione di marcia opposta rispetto a quella del rilievo delle velocità (55% su 45%).

Sul tratto era presente un limite di velocità di 50 km/h.

## I RISULTATI OTTENUTI

Per ogni localizzazione indagata (rettifilo, transizione e curva circolare) si riportano i grafici più significativi.

### Rettifilo

Sul rettilineo negli intervalli di osservazione (tre ore complessive) sono transitati 1792 veicoli nelle due direzioni. Nelle Figure 5 e 6 sono mostrati il diagramma di flusso e la

distribuzione delle velocità per il totale del periodo analizzato.

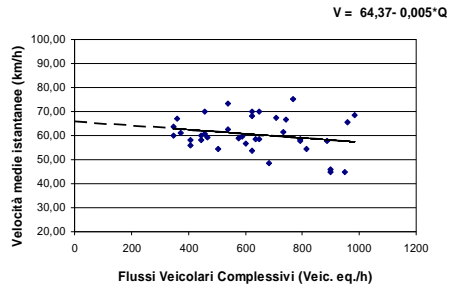


Figura 5 - Rettifilo, diagramma di flusso

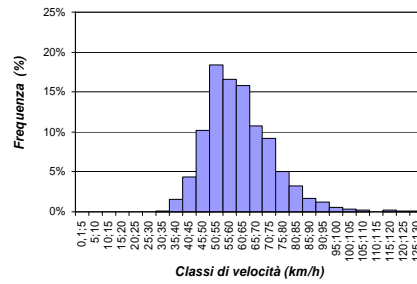


Figura 6 – Rettifilo, distribuzione delle velocità

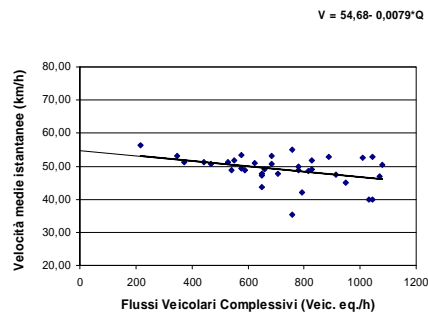


Figura 7 - Raccordo, diagramma di flusso

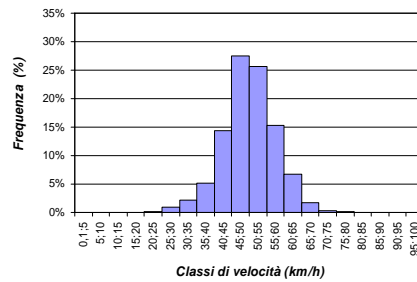


Figura 8 - Raccordo, distribuzione delle velocità

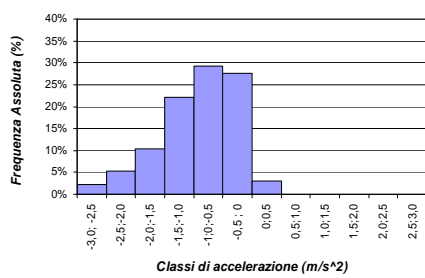


Figura 9 - Raccordo, distribuzione delle accelerazioni

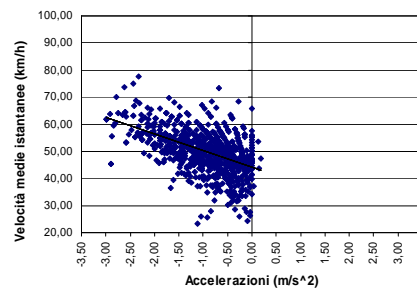


Figura 10 - Raccordo, velocità rispetto alle accelerazioni

La relazione lineare che lega le velocità (V in km/h) alle portate (Q in veic. eq./h) è

risultata:

$$V = 64,37 - 0,005 * Q \quad (1)$$

La distribuzione delle velocità medie istantanee è approssimabile ad una normale. I valori caratteristici calcolati sono riportati nella Tabella 1.

I valori delle accelerazioni misurate sono positivi. Questo è dovuto al fatto che le basi di misura erano poste all'inizio del tratto rettilineo ed i guidatori avevano, dopo la terza base, ancora un tratto rettilineo di circa 100 m prima del tratto ipotizzato come raccordo di transizione e della curva. Nella Tabella 2 sono riportati i valori caratteristici delle distribuzioni delle accelerazioni.

### Raccordo

Sul tratto di raccordo negli intervalli di osservazione sono transitati 2147 veicoli nelle due direzioni. Nelle Figure 7 e 8 sono mostrati il diagramma di flusso e la distribuzione delle velocità. La relazione tra le velocità (V in km/h) e le portate (Q in veic. eq./h), come ricavata dal diagramma di flusso, è risultata:

$$V = 54,68 - 0,0079 * Q \quad (2)$$

Anche in questo caso la distribuzione delle velocità istantanee è risultata approssimabile ad una normale ed i valori caratteristici calcolati sono riportati nella Tabella 1.

Nelle Figure 9 ed 10 sono mostrati la distribuzione delle accelerazioni ed il diagramma delle velocità in funzione delle accelerazioni. Come è possibile valutare dalla Figura 9 i valori delle accelerazioni misurate sono congruentemente negativi. Nella Tabella 2 sono riportati i valori caratteristici delle distribuzioni delle accelerazioni anche per il tratto ipotizzato come raccordo.

### Curva

Sul tratto in curva negli intervalli di osservazione sono stati registrati 2147 passaggi di veicoli nelle due direzioni. Nelle Figure 11 e 12 sono mostrati il diagramma di flusso e la distribuzione delle velocità per il totale del periodo analizzato.

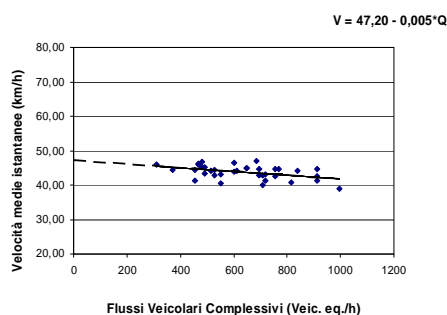


Figura 11 - Curva, diagramma di flusso

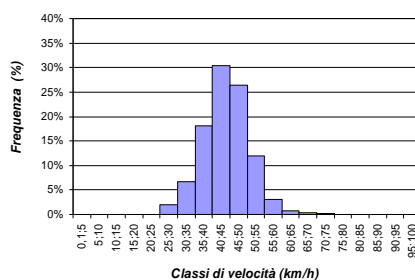


Figura 12 - Curva, distribuzione delle velocità

La relazione tra le velocità (V in km/h) e le portate (Q in veic. eq./h) è risultata:

$$V = 47,20 - 0,005 * Q \quad (3)$$

La distribuzione delle velocità istantanee è risultata, ancora una volta, approssimabile ad una normale ed i valori caratteristici calcolati sono riportati nella Tabella 1.

I valori di accelerazione sul tratto sono positivi (*cfr.* Tabella 2 per i valori caratteristici). Evidentemente i guidatori a metà della percorrenza della curva sono già in grado di avvertire correttamente il rettilineo successivo.

### Revisione di alcuni valori della sperimentazione

Il tratto rettilineo è percorso in accelerazione: i valori di velocità indicati nella Tabella 1 per questo tratto non sono, quindi, i valori massimi.

Il tratto di raccordo è stato analizzato per una lunghezza di circa 30 m dal termine della curva circolare verso il rettilineo.

Per ottenere dei valori più corretti della velocità media massima raggiunta in rettilineo e della ascissa a cui tale valore è attinto è possibile utilizzare i valori medi delle velocità ricavati nelle sezioni di cui si conosce la posizione lungo il tracciato. Ed in questo modo è stato costruito il Diagramma del moto riportato nella Figura 13.

Tab. 1 - Velocità (km/h)

	$V_m$	Dev. Std.	$V_{400}$	$V_{85}$	$V_{85}^*$
<b>Rettifilo</b>	61,33	12,81	62,37	73,52	75,69
<b>Raccordo</b>	49,83	7,61	51,52	56,83	59,43
<b>Curva</b>	49,93	6,59	45,20	50,18	52,05

\* calcolato nell'ipotesi di normalità della distribuzione con  $V_m$  pari a  $V_{400}$

Tab. 2 - Accelerazioni (m/sec<sup>2</sup>)

	$a_m$	Dev. Std.	Percentile*
<b>Rettifilo</b>	1,23	0,63	1,88
<b>Raccordo</b>	-0,93	0,64	-1,65
<b>Curva</b>	1,34	0,54	1,90

\* 85° per acc. Positive, 15° per acc. Negative

L'intersezione del prolungamento delle velocità in rettilineo (il primo tratto ascendente da sinistra) con quello delle velocità registrate sul raccordo (tratto discendente successivo) fornisce:

- il valore medio massimo della velocità in rettilineo;
- un'ascissa minima per il punto di inizio del raccordo di transizione.

Il valore medio massimo della velocità in rettilineo è di circa 72 km/h. Considerando la Dev. Std. riportata nella Tabella 1, nell'ipotesi di distribuzione normale dei valori, la  $V_{85}$  risulta, rispetto a quella riportata in precedenza:

$$V_{85} = 72,0 + 1,04 * 12,81 = 85,3 \text{ km/h} \quad (4)$$

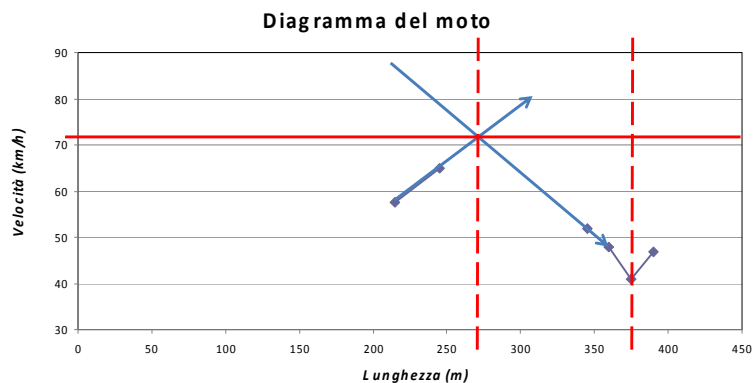


Figura 13 – Tratti di indagine, Diagramma del moto in funzione delle progressive

Tab. 3 - Dati rettili				Tab. 4 - Dati curve		
$V_{85}$ in rettili km/h	Lunghezza rett. m	Log10 Lungh.	$V_{85}$ curva preced. km/h	$V_{85}$ curva km/h	Raggio m	CD °/100m
79,9	550	2,74	61,5	61,0	100	57,32
92,9	800	2,90	85,0	62,0	100	57,32
97,5	500	2,70	80,2	75,4	340	16,86
94,0	500	2,70	75,4	85,0	340	16,86
82,0	80	1,90	79,5	85,0	250	22,93
75,0	80	1,90	85,0	80,2	250	22,93
86,2	300	2,48	67,0	79,3	240	23,89
78,0	300	2,48	79,3	79,5	240	23,89
83,0	250	2,40	69,0	74,0	118	48,58
80,3	225	2,35	64,0	67,0	118	48,58
73,4	150	2,18	62,0	69,0	300	19,11
68,9	150	2,18	56,9	75,4	300	19,11
74,0	175	2,24	66,0	62,0	90	63,69
82,0	150	2,18	73,0	64,0	90	63,69
85,0	150	2,18	85,0	56,2	50	114,65
88,0	150	2,18	84,0	65,0	100	57,32
90,0	150	2,18	80,0	66,0	100	57,32
<b>85,3</b>	<b>330</b>	<b>2,52</b>	<b>68,0</b>	65,0	90	63,69
				62,0	90	63,69
				72,3	150	38,22
				77,2	150	38,22
				73,0	125	45,86
				75,4	125	45,86
				84,0	250	22,93
				85,0	250	22,93
				73,0	150	38,22
				80,0	150	38,22
				<b>50,2</b>	<b>60</b>	<b>95,54</b>



Questo valore di  $V_{85}$  verrà utilizzato per le interpolazioni che seguiranno.

L'ascissa di inizio del tratto di raccordo, così come calcolata, porta ad una lunghezza del tratto di circa 110 m (il tratto compreso tra le due linee verticali tratteggiate). Questo valore è da considerarsi un «minimo»: i guidatori avvertono la presenza della curva, smettono di accelerare, iniziano a rallentare con accelerazione (negativa) crescente. Nel punto finale del raccordo (in prossimità di dove sono stati realizzati i rilievi) la decelerazione è massima. L'intera manovra è stata eseguita con valori di decelerazione variabili e crescenti con la progressiva del tracciato nel verso del moto. Per questo è più corretto aspettarsi che la manovra inizi nell'«intorno» dei 110 m definiti, un intorno la cui ampiezza è da indagare.

### LE ESPRESSIONI DELLA $V_{85}$

Ottenuti i valori caratteristici della sperimentazione si è scelto di utilizzare le espressioni suggerite dal Rapporto di ricerca IASPIS (IASPIS, 2001) rispetto a quella ricavata, qualche anno fa (Capaldo, 1997) per condizioni di tracciato ed elementi geometrici decisamente diversi.

Sono stati usati i valori originali dei rilievi del Rapporto citato (Tabella 4, Capitolo II, pag. 15 per i rettilinei e Tabella 2, Capitolo II, pag. 12 per le curve) per ricalcolare i coefficienti delle relazioni interpolanti. Tali valori sono riportati nelle Tabelle 3 e 4. In queste nell'ultima riga, in grassetto corsivo, sono stati riportati quelli relativi alla sperimentazione descritta in questo lavoro.

Le espressioni utilizzate per il calcolo della  $V_{85}$  in rettilineo sono due e portano in conto la lunghezza del rettilineo (o il suo logaritmo) e la  $V_{85}$  della curva che precede il rettilineo.

L'espressione relativa alla  $V_{85}$  in curva considera il solo grado di curvatura (CD), direttamente legato al raggio dall'espressione:

$$CD = 360/(2 * \pi * R) \quad [^\circ/100m] \quad (5)$$

Tab. 5 - Espressioni della  $V_{85}$  con i dati IASPIS

<b>Rettilineo</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>Err.</b>	<b>V<sub>85</sub></b>
$V_{85} = 44,92 + 0,0204 L + 0,44 V_{85cp}$	$\approx 0,6$	$\approx 5,4$	81,6
$V_{85} = 8,42 + 15,87 \log L + 0,43 V_{85cp}$	$\approx 0,7$	$\approx 4,8$	81,8
<b>Curva</b>			
$V_{85} = 85,99 - 0,32 CD$	$\geq 0,7$	$\approx 4,7$	55,4

Tab. 6 - Espressioni della  $V_{85}$  comprensive dei dati della sperimentazione

<b>Rettilineo</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>Err.</b>
$V_{85} = 46,08 + 0,0208 L + 0,43 V_{85cp}$	$\approx 0,6$	$\approx 5,4$
$V_{85} = 8,53 + 16,15 \log L + 0,50 V_{85cp}$	$\approx 0,7$	$\approx 4,8$
<b>Curva</b>		
$V_{85} = 86,57 - 0,34 CD$	$\geq 0,7$	$\approx 4,7$

I risultati sono riportati nella Tabella 5. In essa, in ultima colonna, è riportata la determinazione della  $V_{85}$  per i tratti della SS 145 dir (rettilineo e curva) secondo le espres-

sioni ed i coefficienti riportati.

Le approssimazioni ottenute con le relazioni sono buone: quasi coincidenti con la sperimentazione per il rettilineo (meno del 2,3%) ed intorno al 10% per la curva. Si è pertanto deciso di ripetere le determinazioni dei coefficienti considerando, questa volta, anche i valori sperimentali. In questo caso le espressioni diventano quelle riportate nella Tabella 6.

I coefficienti delle espressioni, come era lecito attendersi, non sono variati moltissimo adattandosi anche ad i nuovi valori sperimentali e neppure cambiano di molto i coefficienti  $R^2$ .

## COMMENTI E CONCLUSIONI

Lo studio sperimentale condotto sulla SS 145 dir per stimare le velocità tenute dai guidatori su strade a carreggiata unica e doppio senso di marcia, seppur non esaustivo, ha portato ad una serie di indicazioni.

Nell'utilizzare una relazione sperimentale sulla  $V_{85}$  va controllato che le condizioni originali dell'esperimento siano congruenti con quelle che si stanno analizzando. Per questo nella sperimentazione effettuata si è preferito utilizzare ed adeguare la relazione del Rapporto IASPIS (IASPIS, 2001) piuttosto che la più familiare relazione ricavata qualche anno addietro (Capaldo, 1997).

Il controllo dei valori di accelerazione anche su rettilineo e curve permette di controllare se il tratto scelto permette, per le condizioni di circolazione che si realizzano, di effettuare delle misure corrette.

Le zone di transizione utilizzate dall'utente per adeguare la sua velocità a variate condizioni geometriche hanno lunghezze ipotizzabili tra i 100 ed i 150 m. Questo valore di distanza va controllato più accuratamente.

Le decelerazioni medie sono risultate nell'ordine di circa  $1 \text{ m/sec}^2$ , compatibili con i modelli comportamentali correntemente utilizzati. Al contrario le accelerazioni medie misurate (all'uscita della curva) sono ben più alte di quelle dei modelli (circa il 70%). Queste circostanze implicano:

- le distanze di transizione calcolate prima di un tratto a curvatura costante sono un po' «abbondanti» (a vantaggio di sicurezza);
- i guidatori hanno bisogno di meno spazio per raggiungere una certa velocità oppure, a parità di spazio, raggiungono velocità più elevate sui tratti che seguono le curve circolari.

Vale la pena di ricordare, se anche solo per inciso, che nel tratto considerato esiste un limite di velocità di 50 km/h: nessuna delle  $V_{85}$  calcolate è inferiore a tale limite.

Infine è auspicabile, dopo aver meglio inquadrato la «zona» di transizione, di poter approfondire il controllo sulla stessa tipologia di strade (carreggiata unica e doppio senso di marcia) con altre geometrie prevalenti di tracciato e altre popolazioni di guidatori sia per le velocità sia per le accelerazioni con un numero di sezioni maggiori su tratti adeguatamente lunghi.

## BIBLIOGRAFIA

*Aménagement des Routes Principales: Recommandations Techniques pour la Conception Générale et la géométrie de la route.* SETRA, Ministère de l'Équipement, Direction des Routes, Bagnaux, France, 1994.

Capaldo F. S., Grossi R., Zimbo, A., «I diagrammi di velocità e la sicurezza stradale», Giornata di studio sul tema: La sicurezza intrinseca delle infrastrutture stradali, Roma 20-21 febbraio 1997.

Capaldo F. S., «Speed analysis on urban road», 4<sup>th</sup> International SIIV Congress, 12-14 September 2007, Palermo.

Choueiri E. M., *et al.*, «Safety Aspects of Individual Design Elements and Their Interactions on Two-Lane Highways: International Perspective». Transportation Research Record, No. 1445, 1994, Transportation Research Board, Washington D.C.

*Commentary to the Guidelines for the Design of Rural Roads RAL L 1*, German Road and Transportation Research Association, Berlin, Federal Republic of Germany, 1979.

Dell'Acqua G., *et al.*, «Monitoraggio della viabilità ordinaria della Provincia di Salerno», Le Strade, n.7-8, pp. 118-124, 2006.

*Driving Dynamics and Design Characteristics - A contribution for Highway Design under Special Consideration of Operating Speed*, Institute of Highway and Railroad Design and Construction, University of Karlsruhe, Federal Republic of Germany, 1973.

Figueroa Medina A.M., *et al.*, «Speed Factors on Two-Lane Rural Highways in Free-Flow Conditions», Transportation Research Record, No. 1912, pp. 39-46, 2005.

*Highway Capacity Manual (HCM)*, T.R.B. Special Report 209, da 1994 a 2000.

Koepfel G., Bock H., «Operating Speed and Curvature Change Rate», Road Construction and Road Traffic Technique, Federal Republic of Germany, Vol. 269, 1979.

IASPIS, *Interazione Ambiente Sicurezza nel Progetto delle Infrastrutture Stradali*, Rapporto Conclusivo del Progetto di Ricerca IASPIS, Workshop, 22 Febbraio 2001, Firenze, (<http://roads.dicea.unifi.it/iaspis/Rapporto%20finale.htm>).

Lamm R., *et al.*, «Tangent as an independent design element», Transportation Research Record, No. 1195, 1988, Transportation Research Board, Washington D.C.

Lamm R., *et al.*, *Highway design and traffic safety engineering handbook*, McGraw-Hill, New York, 1999

*Road Geometry: Highway Link Design. Departmental Standard*, TD 9/93. Department of Transport, United Kingdom, 1993.

*Richtlinien für die Anlage von Strassen: Linienführung*, RAS-L. Forschungsgesellschaft für Strassen und Verkehrswesen, Bonn, Germany, 1995.

*Rural Road Design, Guide to the Geometric Design of Rural Roads*; Austroads, 1997.

Simpson D., «The relation between route geometry and vehicle speed», PTRC Summer Annual Meeting, University of Warwick, 1980.

*Überprüfung der Relationstrassierung für Straßen der Kategoriengruppe A*, FA 02. 153 R93E des Bundesministers für Verkehr, Zwischenbericht, Darmstadt.