

EFFICACIA DEGLI INTERVENTI DI TRAFFIC CALMING IN AMBITO URBANO

*Gianluca Dell'Acqua
Maria Luisa De Guglielmo
Renato Lamberti
Domenico Abate
Antonella Lista*

*Dipartimento di Ingegneria dei Trasporti Luigi Tocchetti
Università degli Studi di Napoli Federico II*

Lo studio proposto si inserisce nel progetto di ricerca di rilevante interesse nazionale 2006/2008 “La sicurezza stradale in ambiente complesso. Modelli e metodi teorico-sperimentali per un approccio di tipo preventivo nella progettazione degli interventi infrastrutturali” [DIT, 2007].

Uno dei principali fattori contributivi alla gravità degli incidenti è costituito dalle elevate velocità dei veicoli che percorrono strade secondarie e locali che attraversano i piccoli centri abitati. L'intervento oggi più diffuso per ridurre il rischio di incidente consiste nella riduzione della velocità praticata mediante la realizzazione di “porte di accesso”, il cui scopo principale è quello di avvisare il conducente delle mutate condizioni del contesto.

Le porte di accesso sono la combinazione di più dispositivi di moderazione, ciascuno dei quali induce uno specifico effetto sul moto del veicolo e permette di indurre nel guidatore comportamenti virtuosi, correlativi al carico di informazioni che egli recepisce, interpreta e gestisce tempestivamente.

Obiettivi specifici dello studio sono l'approfondimento dei meccanismi di interazione utente-ambiente stradale [Bassani-Santagata, 2006] e la capacità degli interventi esaminati di limitare le velocità attuate tra l'ambito urbano ed extraurbano.

Le analisi sperimentali oggetto della presente memoria, fondate su misure di velocità in postazione fissa (misuratori laser, tipo autovelox), hanno consentito, mediante l'impiego di opportuni test statistici, di misurare l'influenza delle porte di accesso sul comportamento dei guidatori in ingresso nei centri abitati.

Lo studio è stato condotto esaminando una serie di interventi di Traffic Calming realizzati lungo un tronco di una strada provinciale che attraversa un piccolo centro abitato campano. Il risultato delle analisi ha evidenziato che le riduzioni delle velocità, a parità di tipologia d'intervento, non sono coincidenti, ma raggiungono livelli maggiori nel caso in cui le velocità non condizionate sono più elevate.

Gli sviluppi della ricerca consisteranno nell'estensione della sperimentazione ad altri casi di studio mediante ulteriori misure di velocità con strumentazione in postazione fissa, veicoli strumentati e simulatore di guida dinamico.

Strade urbane, sicurezza, velocità operativa, porte d'accesso, moderazione del traffico.

INTRODUZIONE

Il problema della moderazione del traffico di attraversamento è particolarmente sentito nei centri abitati italiani che si sono sviluppati ai margini di strade statali e provinciali percorse da guidatori psicologicamente atteggiati in maniera contrastante con il contesto in cui si trovano ad operare. Di qui la necessità di evidenziare l'ingresso in ambito urbano per indurre gli utenti ad adeguare il comportamento di guida al nuovo spazio stradale [Kamyab et al., 2003] [CTRE-Iowa, 2007]. Da qualche anno, sono state realizzate in Europa [NRA-Ireland, 2005], e solo più di recente anche negli USA [Hallmark et al., 2008_a], differenti tipologie di "porte d'accesso", intese come un insieme ragionato di dispositivi strutturali e non strutturali. Gli interventi rinvenuti in letteratura [Hallmark et al., 2008_b] [Kevin, 2007], comprendono condizionamenti psicologici (restrizione degli spazi visivi, piantumazioni al margine, ecc.), deflessioni delle traiettorie verticali (dossi, attraversamenti rialzati, ecc.) e/o orizzontali (rotatorie, chicane, ecc.), fino all'adozione di provvedimenti impediscono il transito dei veicoli.

IL CASO DI STUDIO

Oggetto dello studio è un tronco della strada SP25A appartenente alla rete stradale della Provincia di Salerno (Figura 1), nel Comune di Giffoni Sei Casali, che collega la rete locale del sistema territoriale dei "Monti Picentini" alle reti viarie sovraordinate ed in particolare all'autostrada A3 Salerno- Reggio Calabria.

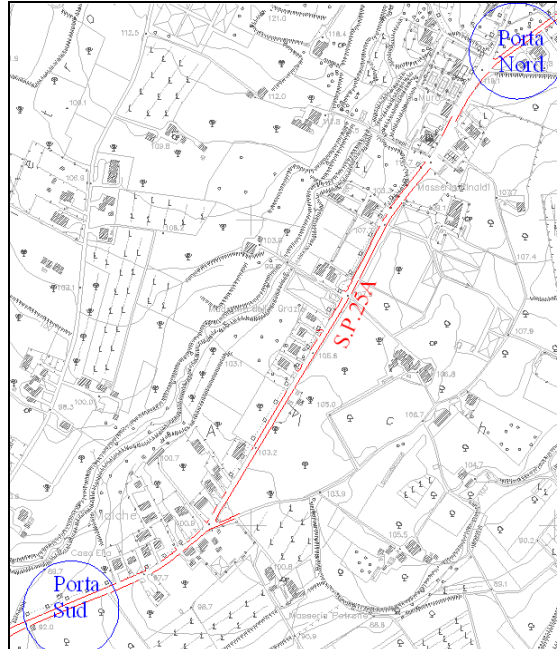


Figura 1 - Cartografia dei luoghi

Il tronco stradale in esame attraversa il centro abitato “Le Malche” del Comune di Giffoni Sei Casali; ha una lunghezza pari a circa 1.300 metri ed è caratterizzato da una pendenza longitudinale media pari a circa il 2%. Nel corso del 2007 l’Amministrazione Comunale ha realizzato alcuni interventi di moderazione del traffico del tipo porte di accesso. Lungo la strada sono presenti tre incroci, a ridosso dell’area d’intervento caratterizzati da configurazioni non ottimali (piccoli angoli d’incidenza, pendenze dei bracci secondari elevate, localizzazione a ridosso di curve e problemi di visibilità). Il tronco stradale ricadente in ambito urbano è caratterizzato dalla presenza di 29 tra immissioni di strade di quartiere ed accessi privati (in media 2 accessi ogni 100 m).

In corrispondenza dei tratti terminali e per una lunghezza pari a 50 m del tronco oggetto dell’intervento, sono state realizzate due porte di accesso (Figura 2) costituite da un portale in acciaio zincato del tipo “a bandiera”, posto all’inizio del centro abitato, preceduto da bande rumorose e segnaletica orizzontale di forma triangolare (“denti di drago”), che configurano un restringimento virtuale delle corsie di marcia. Le porte sono composte da due parti funzionalmente distinte: la zona di transizione e la zona porta [Dell’Acqua et al., 2008]. La zona di transizione, di lunghezza pari a 40 metri (denti di drago + bande sonore), ha la funzione di graduare la trasformazione dello spazio stradale, da ambiente extraurbano a urbano, per indurre i conducenti ad adeguare la propria condotta di guida. La zona porta costituisce, invece, l’elemento di separazione tra i due ambienti stradali differenti.



Figura 2 - Rilievo fotografico delle due porte d’accesso all’abitato

In corrispondenza delle due porte, per un tratto di lunghezza pari a 50 m, lo strato di usura della pavimentazione è stato sostituito con uno strato di spessore medio finito pari a 3 cm ad elevata aderenza per agevolare il rallentamento dei veicoli anche su di strada bagnata. Il conglomerato bituminoso impiegato è del tipo anti-skid split-mastix ottenuto con aggregati ad elevata resistenza all’usura e bitume modificato con styrene-butadiene-styrene. Tra lo strato di usura nuovo ed il binder esistente è stata realizzata una mano di attacco in bitume modificato.

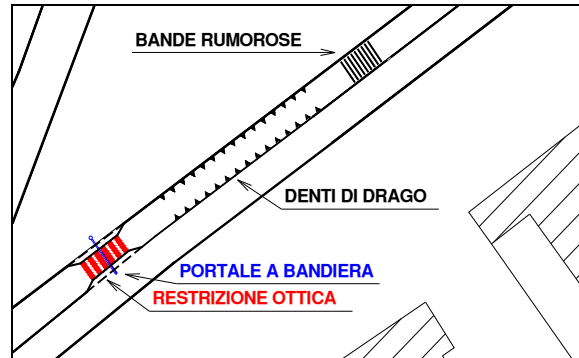


Figura 3 - Schema planimetrico dell'intervento.

Sulla pavimentazione sono presenti, in corrispondenza del portale a bandiera:

- strisce in laminato elastoplastico di colore rosso della larghezza di 50 cm ortogonali al senso di marcia;
- strisce orizzontali in termocolato plastico, in accordo con la norma UNI EN 1436/98, contenenti microsfere di vetro, con spessore complessivo della striscia non inferiore a 1,5 mm e larghezza pari a 15 cm;
- sagome triangoli in laminato elastoplastico con base ed altezza di 50 cm, interasse pari a 1,50 m per uno sviluppo longitudinale di 21 metri;
- bande sonore in laminato elastoplastico di spessore 5 mm e larghezza 10 cm, poste in opera su supporto realizzato con lo stesso materiale di larghezza pari a 12 cm, ad interasse di 0,50 m in numero di 9 per ciascuna serie e dunque per una estensione di 4,15 m;
- segnale di fine centro abitato (fig. II 274 art.131 del Regolamento) in lamiera di alluminio con pellicola ad alta risposta luminosa e vita utile pari a 10 anni.

Tra le due porte di accesso sono presenti, inoltre, 7 passaggi pedonali realizzati con il rifacimento dello strato superficiale in conglomerato bituminoso per usura del tipo anti-skid split-mastix, per una lunghezza pari a 5 m e zebratura costituita da strisce bianche in laminato elastoplastico del tipo autoadesivo per una lunghezza pari a 4,0 m.

La segnaletica verticale è costituita da segnali di indicazione dei passaggi pedonali nei due sensi di marcia, segnali di "stop", segnali di pericolo e di "dare precedenza" in corrispondenza degli incroci. La segnaletica orizzontale esistente lungo l'intero tronco stradale in esame è costituita da strisce bianche in termospruzzato plastico ad essiccazione immediata, in accordo con la norma UNI EN 1436/98, contenenti microsfere di vetro pari a $0,35 \text{ Kg/m}^2$ ed aventi uno spessore complessivo non inferiore a 1,5 mm ed una larghezza di 15 cm.

I RILIEVI SPERIMENTALI

La campagna sperimentale è stata realizzata nel corso del mese di ottobre dell'anno 2007 ed ha avuto come obiettivo il rilievo delle velocità, eseguito mediante

l'impiego di contatraffico "KV Laser" tipo autovelox. Il funzionamento di questi ultimi (basato sull'emissione e la ricezione di una coppia di raggi laser a bassa potenza diretti perpendicolarmente all'asse stradale) consente la registrazione della velocità istantanea, della lunghezza e della direzione di marcia di ciascun veicolo. Tali apparecchiature sono state opportunamente occultate alla vista dei conducenti al fine di non condizionarne il comportamento di guida (Figura 4).



Figura 4 – Misuratori di velocità occultati

Le stazioni di misura sono state posizionate in corrispondenza di 18 sezioni: 4 a monte, 2 a valle e 3 in corrispondenza della porta di accesso (di cui 2 ricadenti nella zona di transizione ed 1 nella zona porta). Ciascuna sezione è stata tenuta sotto osservazione per circa 5 ore.



Figura 5 – Stazioni di misura in corrispondenza della porta Nord

Analisi delle misure di velocità

Le elaborazioni sono state sviluppate escludendo dalle distribuzioni di velocità le misure relative ai mezzi con distanziamento temporale inferiore a 5 secondi rispetto al veicolo precedente e quelle relative ai veicoli con lunghezza inferiore a 3 metri o superiore a 9 metri. Il campione è stato depurato per esaminare le condizioni di flusso libero in cui si registrano le velocità operative - V_{85} - "valore mantenuto dai veicoli in condizioni di flusso libero, in buone condizioni di visibilità e meteorologiche, superata

solo dal 15% degli utenti”. In Figura 6 è rappresentato il diagramma delle velocità rilevato in corrispondenza della porta Nord, dal quale si evince che le velocità decrescono sensibilmente in avvicinamento alla porta e si attestano sui 60 km/h a valle della zona porta. La riduzione delle velocità ($\Delta V = 4$ km/h) più consistente si rileva lungo la zona di transizione tra la sezione 5, posta in corrispondenza delle bande rumorose, e la sezione 6, in corrispondenza dei denti di drago, ed in uno spazio di lunghezza pari a 28 metri.

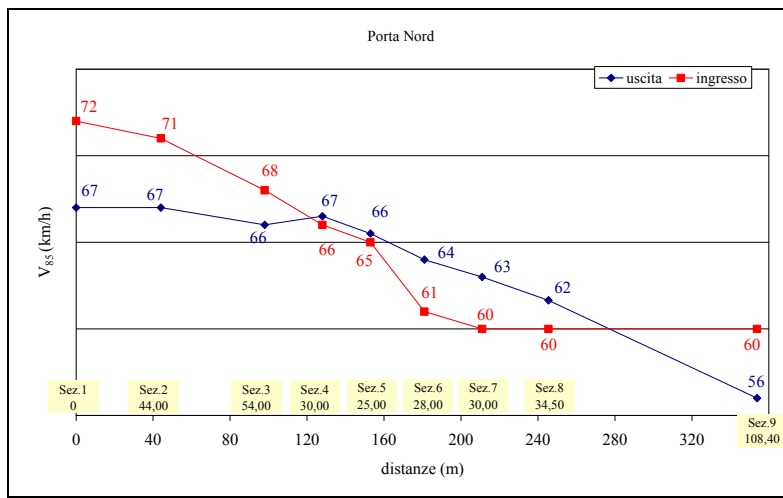


Figura 6 – Diagramma delle velocità operative (V_{85})

La valutazione dell'efficacia degli interventi è stata effettuata confrontando le distribuzioni di velocità rilevate in corrispondenza delle porte di accesso (comportamento dei guidatori modificato dall'intervento) con quelle relative a sezioni sufficientemente lontane dagli interventi (comportamento dei guidatori non condizionato dall'intervento).

La significatività delle differenze tra le distribuzioni è stata effettuata mediante tra i test parametrici di *Student* e di *Fisher* ed il test non parametrico di *Kolmogorov-Smirnov*. Come è noto i primi, applicabili esclusivamente in ipotesi di distribuzione normale, sono più robusti del secondo, perché consentono di rifiutare con maggiore probabilità un'ipotesi errata.

In ipotesi di campioni estratti indipendentemente da popolazioni distribuite entrambe secondo legge normale e con varianze omogenee ($\sigma_1^2 = \sigma_2^2$) è possibile utilizzare il test di Student a due code, basato sulle varianze campionarie combinate, per verificare la significatività della differenza tra le medie delle due popolazioni.

La *varianza campionaria combinata* (o *pooled*), ottenuta come media ponderata delle due varianze campionarie, è il miglior stimatore della varianza comune alle due popolazioni.

Porta NORD		Porta SUD	
Sez. 1 (before)	$n_1=710$	Sez. 10 (before)	$n_1=409$
	$X_1=60,04$		$X_1=57,57$
	$S_1=13,06$		$S_1=10,78$
Sez. 7 (after)	$n_2=586$	Sez. 15 (after)	$n_2=373$
	$X_2=48,65$		$X_2=53,94$
	$S_2=10,76$		$S_2=11,60$

Tabella 1 - Dati campionari

$$t = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{S_p^2 \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}} \quad (1)$$

$$S_p^2 = \frac{(n_1 - 1)\hat{S}_1^2 + (n_2 - 1)\hat{S}_2^2}{(n_1 - 1) + (n_2 - 1)} = \frac{n_1 S_1^2 + n_2 S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \quad (2)$$

L'ipotesi nulla ($H_0: \mu_1 = \mu_2$) di uguaglianza delle medie delle due popolazioni indipendenti (contro l'ipotesi alternativa $H_1: \mu_1 \neq \mu_2$) esprime l'appartenenza dei campioni 1 e 2 alla medesima popolazione. Accettare l'ipotesi H_0 equivale, nel caso in studio, ad un trattamento di Traffic Calming non efficace ad un prefissato livello di significatività; di contro rigettare l'ipotesi H_0 equivale ad affermare che il trattamento di Traffic Calming è efficace.

Dalle successive tabelle 2 e 3 si evince l'esito del test di Student che consente di rifiutare dell'ipotesi H_0 rispetto all'alternativa H_1 con livelli di significatività $\alpha = 0,05$ che $\alpha = 0,01$. I risultati evidenziano che la probabilità di osservare un valore maggiore o uguale a quello campionario è molto inferiore sia al 5% che all'1% per entrambe le applicazioni.

L'intervento è pertanto efficace in quanto entrambe le porte di accesso condizionano il comportamento dei guidatori inducendoli a limitare la velocità in ingresso nel centro abitato.

Test t: due campioni assumendo uguale varianza		
	<i>Variabile 1</i>	<i>Variabile 2</i>
Media	60,04	48,65
Varianza	170,69	115,69
Osservazioni	710	586
Varianza complessiva	145,82	
Differenza ipotizzata per le medie	0	
gdl	1294	
Stat t	16,90	
P(T<=t) una coda	2,48E-58	
t critico una coda	1,65	
P(T<=t) due code	4,96E-58	
t critico due code	1,96	

Test t: due campioni assumendo uguale varianza		
	<i>Variabile 1</i>	<i>Variabile 2</i>
Media	60,04	48,65
Varianza	170,69	115,69
Osservazioni	710	586
Varianza complessiva	145,82	
Differenza ipotizzata per le medie	0	
gdl	1294	
Stat t	16,90	
P(T<=t) una coda	2,48E-58	
t critico una coda	2,33	
P(T<=t) due code	4,96E-58	
t critico due code	2,58	

Tabella 2 - Porta Nord: test t per $\alpha=0,05$ ed $\alpha=0,01$

Test t: due campioni assumendo uguale varianza		
	<i>Variabile 1</i>	<i>Variabile 2</i>
Media	57,57	53,94
Varianza	116,23	134,52
Osservazioni	409	373
Varianza complessiva	124,95	
Differenza ipotizzata per le medie	0	
gdl	780	
Stat t	4,55	
P(T<=t) una coda	3,15E-06	
t critico una coda	1,65	
P(T<=t) due code	6,31E-06	
t critico due code	1,96	

Test t: due campioni assumendo uguale varianza		
	<i>Variabile 1</i>	<i>Variabile 2</i>
Media	57,57	53,94
Varianza	116,23	134,52
Osservazioni	409	373
Varianza complessiva	124,95	
Differenza ipotizzata per le medie	0	
gdl	780	
Stat t	4,55	
P(T<=t) una coda	3,15E-06	
t critico una coda	2,33	
P(T<=t) due code	6,31E-06	
t critico due code	2,58	

Tabella 3 - Porta Sud: test t per $\alpha=0,05$ ed $\alpha=0,01$

Il test di Fisher, utile per verificare l'ipotesi di uguaglianza tra le varianze di due popolazioni indipendenti, può essere impiegato anche per verificare ipotesi unilaterali.

$$F = \frac{\hat{S}_1^2}{\hat{S}_2^2} \quad \hat{S}_1^2 = \frac{n_1}{n_1 - 1} S_1^2; \hat{S}_2^2 = \frac{n_2}{n_2 - 1} S_2^2 \quad (3)$$

Nel caso in esame si vuol verificare se la varianza della popolazione 1 è maggiore di quella della popolazione 2, in quanto, se ciò fosse vero, la dispersione dei valori delle velocità istantanee risulterebbe significativamente più elevata in corrispondenza della sezione indisturbata rispetto a quella misurata in corrispondenza della porta d'accesso. L'ipotesi $H_0: \sigma_1^2 \leq \sigma_2^2$ esprime che la differenza osservata tra le distribuzioni potrebbe essere casuale, di contro l'ipotesi alternativa $H_1: \sigma_1^2 > \sigma_2^2$ indica che essa è probabilmente dovuta alla presenza della porta di accesso. Il rifiuto dell'ipotesi H_0 equivale ad un trattamento di Traffic Calming efficace, ad un determinato livello di significatività.

Porta NORD	<i>Campione 1</i>	<i>Campione 2</i>	Porta SUD	<i>Campione 1</i>	<i>Campione 2</i>
Media	60,04	48,65	Media	53,94	57,57
Varianza	13,06	10,73	Varianza	11,60	10,78
Osservazioni	710	586	Osservazioni	373	109
gdl	709	585	gdl	372	108
F	1,47		F	1,15	
F critico una coda	1,00		F critico una coda	1,00	

Tabella 4 - Risultati del test F

Dalla precedente tabella si evince che, indipendentemente dal livello di significatività $\alpha=0,05$ ed $\alpha=0,01$, il valore di F calcolato è maggiore del valore critico pertanto l'ipotesi H_0 viene rigettata.

La dispersione delle distribuzioni di velocità in corrispondenza delle porte di accesso è significativamente più bassa di quella osservata in corrispondenza delle sezioni in cui il comportamento dei guidatori non è condizionato dagli interventi di moderazione del traffico.

Il test di Kolmogorov-Smirnov, infine, consente di confrontare le distribuzioni cumulate teoriche con quelle campionarie per verificare se i campioni sono estratti dalla medesima popolazione o se invece derivano da popolazioni differenti.

In un primo caso d'utilizzo, il test non parametrico indica che le velocità rilevate durante la sperimentazione nelle sezioni d'interesse sono distribuite con leggi che approssimano la normale con livelli di significatività variabili dallo 0,20 allo 0,01 (Figura 7).

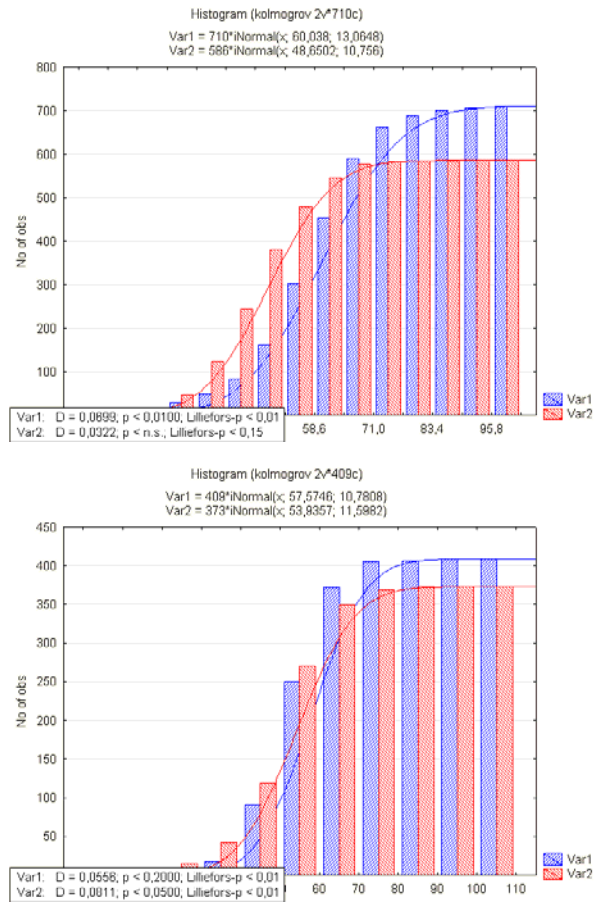


Figura 7 - Porte Nord e Sud: normalità delle distribuzioni

Una seconda applicazione del test di Kolmogorov-Smirnov è stata implementata per la verifica dell'efficacia del trattamento. In questo caso l'ipotesi nulla è che la distribuzione di probabilità delle velocità nella sezione indisturbata e non sia la stessa. L'ipotesi H_0 può essere rigettata solo per la porta Nord in cui si ha $D_{max} > D^*$ sia per $\alpha = 0,05$ che $\alpha = 0,01$.

$$D^* = 1.36 \sqrt{\frac{n_1 + n_2}{n_1 n_2}} \quad D^* = 1.63 \sqrt{\frac{n_1 + n_2}{n_1 n_2}} \quad (4)$$

I risultati equivalgono ad affermare che il trattamento di Traffic Calming è da considerarsi efficace come mostrato in Figura 8 e Figura 9.

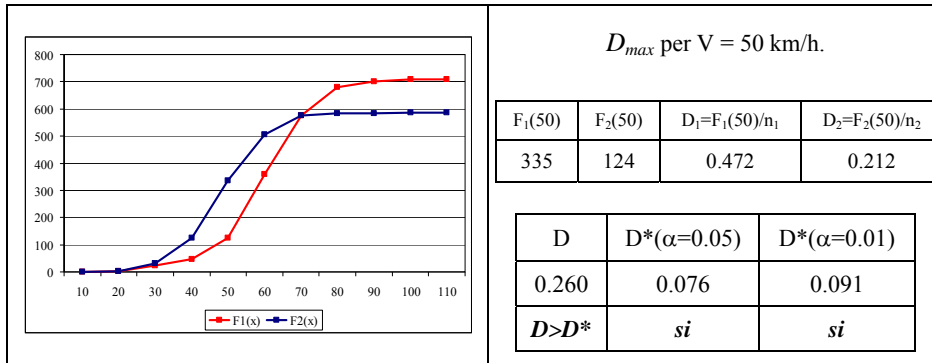


Figura 8 - Porta Nord: efficacia dell'intervento

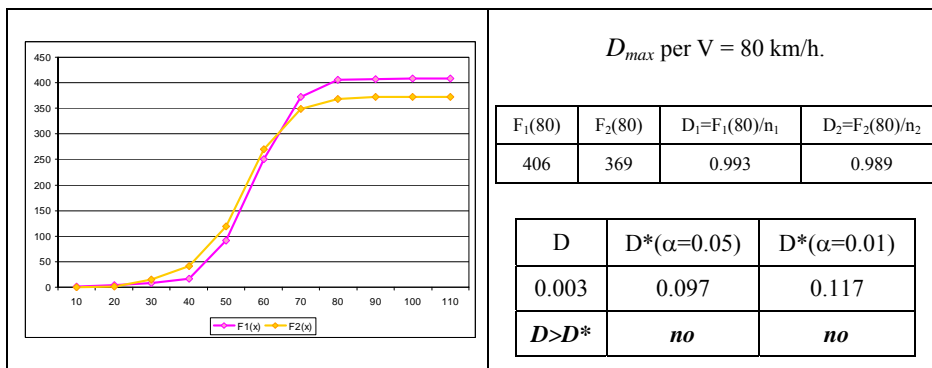


Figura 9 - Porta Sud: efficacia dell'intervento

CONCLUSIONI

Nella memoria si propone una metodologia per la valutazione dell'efficacia degli interventi di moderazione del traffico.

Le analisi, fondate su misure di velocità in postazione fissa, consentono mediante l'impiego di opportuni test statistici di misurare l'influenza delle porte di accesso sul comportamento dei guidatori in ingresso ai centri abitati.

Lo studio è stato condotto esaminando una serie di interventi di Traffic Calming, nella fattispecie due porte di accesso realizzate lungo un tronco di una strada provinciale che attraversa un piccolo centro abitato campano.

Le due porte di accesso inducono rallentamenti significativi dei veicoli nel passaggio dall'ambito extraurbano all'ambito urbano.

Le entità delle riduzioni delle velocità riscontrate, a parità di tipologia dell'intervento, non sono coincidenti.

L'efficacia degli interventi di moderazione del traffico, pertanto, è maggiore quando le velocità incondizionate sono più elevate.

Infine, oltre al condizionamento indotto dagli interventi, si è rilevata nel caso di studio un'influenza anche dell'andamento plano-altimetrico del nastro stradale. Difatti velocità elevate sono state registrate in corrispondenza dell'ingresso da Nord all'abitato in coincidenza con strada in discesa e in rettilineo, a differenza dell'ingresso da Sud caratterizzato da andamento in salita e in curva.

Gli sviluppi della ricerca consisteranno nell'estensione della sperimentazione ad altri casi di studio mediante ulteriori misure di velocità con strumentazioni in postazioni fisse, veicoli strumentati e simulatore di guida dinamico.

RINGRAZIAMENTI

Gli autori ringraziano il dirigente del Centro Provinciale di Monitoraggio della Sicurezza Stradale della Provincia di Salerno, ing. Giovanni Coraggio, ed il Comune di Giffoni Sei Casali (SA) per il supporto fornito nel corso delle indagini sperimentali.

BIBLIOGRAFIA

Bassani M., Santagata E. (2006), "Indagine sperimentale sul legame esistente tra velocità di progetto, velocità operativa e limite di velocità nella viabilità extraurbana", 16° Convegno Nazionale SIV 'Manutenzione e Adeguamento delle Strade Esistenti', Cosenza 20-22/09/2006.

Center for Transportation Research and Education Iowa University, "Evaluation of Gateway and Low-Cost Traffic-Calming Treatments for Major Routes in Small, Rural Communities", Final Report, 09/2007.

Dipartimento di Ingegneria dei Trasporti (DIT), Università degli Studi di Napoli Federico II, "Valutazione del comportamento dell'utente in presenza di porte d'accesso mediante l'impiego di tecnologie avanzate", PRIN 2006-2008, Rapporto di Ricerca, 09/2007.

Dell'Acqua G., Lamberti R., De Guglielmo M.L., Abate D. (2008), "Valutazione del comportamento del conducente in presenza di porte d'accesso: indagine sperimentale", III Convegno Nazionale Stradale 'La Sicurezza sulle strade della città', Lucca 21-22/02/2008.

Hallmark S., Hawkins N., Fitzsimmons E., Plazak D., Welch T., "Bringing European small town Traffic Calming to Rural Iowa (USA)", AATT 2008 - ID 207.

Hallmark S., Hawkins N., Fitzsimmons E., Plazak D., Welch T., "Use of Physical Devices for Traffic Calming Along Major Roads Through Small Rural Communities in Iowa", in 87th Transportation Research Board Annual Meeting, Washington DC, USA, Paper N. 08-2564, 01/13-17/2008.

Kamyab A., Andrie S., Kroeger D., Heyer D.S., "Methods to reduce traffic speed in high-pedestrian rural areas", in Transportation Research Record N.1828, Paper N. 03-2570, 2003.

Kevin N. Chang, Matthew Nolan, Nancy L. Nihan, "Developing Design Standards for Speed Cushions" in 86th Transportation Research Board Annual Meeting Proceedings, Washington DC, USA, Paper N. 07-1803, 01/21-25/2007.

National Roads Authority “Guidelines on Traffic Calming for Towns and Villages on National Routes”, Rev. B, Dublin, Ireland, 2005.