

Il Laboratorio Sicurezza Stradale TEST

Valutazione di interventi di moderazione del traffico in un tronco di strada extraurbana che attraversa un piccolo agglomerato urbano

Renato Lamberti, renato.lamberti@unina.it
Domenico Abate, domenico.abate@unina.it
Maria Luisa De Guglielmo, mdegugli@unina.it
Gianluca Dell'Acqua, gianluca.dellacqua@unina.it
Tommaso Esposito, tomespos@unina.it
Francesco Galante, francesco.galante@unina.it
Filomena Mauriello, filomena.mauriello@unina.it
Alfonso Montella, alfonso.montella@unina.it
Mariano Perneti, pernetti@unina.it

1. Introduzione

I centri abitati di piccole dimensioni attraversati da tronchi di strade provinciali e statali rappresentano dei punti di particolare criticità per l'incidentalità in area urbana. A dispetto dei principi basilari della sicurezza sostenibile (Dijkstra et al., 2007; PIARC, 2003; Ruyters et al., 1994; Wegman e Aarts, 2006), questi tronchi sono utilizzati da pedoni, ciclisti, motociclisti e differenti tipologie di utenze motorizzate con sostanziali differenze di velocità, massa e grado di protezione. Ciò crea un conflitto tra la mobilità veicolare e la sicurezza dei pedoni e di ciclisti: nelle provinciali e nelle statali urbane, gli incidenti pedonali costituiscono rispettivamente il 5,0% ed il 5,9% degli incidenti ed il 15,3% ed il 18,4% dei morti, dando luogo ad un indice di mortalità molto elevato, pari rispettivamente all'11,65% e al 10,31% (dati ISTAT 2000-2004; Montella et al., 2008).

Inoltre, nella transizione tra l'ambito extraurbano e quello urbano, i guidatori mantengono elevate velocità operative e spesso non modificano, o modificano solo in misura insufficiente, la condotta di guida (Abate et al., 2007; DFT, 2005; Hallmark et al., 2007; NRA, 2005). In genere, il passaggio dalla viabilità extraurbana a quella urbana è individuato unicamente dal limite di velocità (Ministero LL.PP., 2000a; Van Schagen, 2003) e tale condizione è del tutto inadeguata ad indurre comportamenti appropriati.

Tra le diverse tecniche per ridurre le velocità nella zona di transizione, quella di maggiore efficacia consiste nel realizzare porte di accesso, in cui si combinano più dispositivi di moderazione del traffico, come isole spartitraffico, restringimenti della carreggiata con allargamento dei margini, cambio di materiali e/o di colore della pavimentazione, segnaletica orizzontale, segnaletica verticale, piantumazione, illuminazione ed altri arredi urbani (Ministero LL.PP., 2000b). Le porte d'accesso sono state specificamente definite nelle norme di progettazione di alcuni paesi europei, come l'Olanda (CROW, 1998), la Danimarca (Road Directorate, 1999), il Regno Unito (Highways Agency, 2004) e l'Irlanda (NRA, 2005), mentre in altri sono il risultato della realizzazione congiunta di dispositivi differenti.

L'effetto delle porte di accesso dipende dal contesto e dalla tipologia dell'intervento ed, in genere, è maggiore, in termini di riduzione della velocità e dell'incidentalità, se all'interno

dell'area sono attuate altre misure di moderazione del traffico (ETSC, 1995). Nel Regno Unito, sono state osservate riduzione di velocità di 10 Km/h e di 15 Km/h in presenza, rispettivamente, delle porte d'accesso singole e della loro combinazione con altri sistemi di moderazione (VISP, 1994) e, in uno studio successivo (DETR, 2005), il Department of the Environment, Transport and the Regions ha riscontrato riduzioni della velocità operativa (V_{85} , ottantacinquesimo percentile della distribuzione delle velocità) sino a 25 km/h nel caso di porte di accesso accoppiate ad ulteriori misure di moderazione del traffico all'interno dell'abitato.

Taylor e Wheeler (2000) ed il Department for Transport (2000), valutando l'efficacia di 56 progetti, registrarono, nei progetti che prevedevano solo porte di accesso, una riduzione di incidentalità generale all'interno dei centri abitati del 10% e degli incidenti mortali e con feriti gravi del 43% (i maggiori benefici sono stati conseguiti per i pedoni ed i ciclisti); nondimeno nei casi di integrazione delle porte di accesso con provvedimenti supplementari all'interno dei centri abitati (deviazioni, restringimenti, mini rotatorie e dossi) si sono ottenute riduzioni di incidentalità ben maggiori: 37% per gli incidenti con feriti lievi e 70% per gli incidenti con morti e con feriti gravi.

Risultati simili sono stati ottenuti anche nella Provincia di Salerno in cui, il monitoraggio delle velocità, effettuato dopo la realizzazione dell'intervento, ha evidenziato una significativa riduzione delle velocità operative tra le sezioni prima e dopo la porta di accesso (Dell'Acqua et al., 2008).

Allo scopo di valutare gli effetti di misure di moderazione del traffico sul comportamento dei guidatori vengono utilizzate, da oltre un ventennio (Riemersma et al., 1990), come valida alternativa alle sperimentazioni su strada, tecniche di simulazione di guida. Rispetto agli studi classici, i simulatori di guida garantiscono un maggiore controllo sperimentale, minori costi e tempi, un'elevata riproducibilità, la totale sicurezza e la possibilità di prototipazione virtuale degli interventi progettuali. Di contro, è necessario che il simulatore sia validato per l'applicazione in questione (Godley et al., 2002; Yan et al., 2008).

Infatti, diversi dispositivi di traffic calming posti all'ingresso di tre villaggi sono stati valutati con successo con il simulatore del TRL (Lockwood, 1997). In particolare, si è osservato che i dati di velocità rilevati su strada e quelli simulati erano ampiamente confrontabili. Un'indagine simile è stata condotta anche con l'ausilio del simulatore dell'università di Leeds (Jamson et al., 1999) per studiare l'efficacia, individuale e combinata, di una ventina dispositivi di moderazione del traffico.

Scopo della presente lavoro è indagare il comportamento dei guidatori nei tratti interni delle strade extraurbane sia in assenza di porte di accesso e dispositivi di moderazione del traffico sia in presenza di differenti configurazioni di porte di accesso e dispositivi di moderazione del traffico. Il comportamento dei guidatori in assenza di porte di accesso è stato studiato mediante monitoraggio su strada delle velocità operative degli utenti, mentre il comportamento in presenza di porte di accesso è stato indagato mediante una sperimentazione con il simulatore di guida dinamico VERA (Virtual Environment Road sAfty) di TEST Scarl (Technology for Transport, Environment and Safety). Di seguito verranno descritti il sito di progetto scelto, le due alternative progettuali di misure percettive e dispositivi fisici di moderazione del traffico, ed i risultati della sperimentazione con il simulatore di guida.

2. Sito Sperimentale

Il sito sperimentale è stato scelto tra le seguenti strade, site nella provincia di Salerno: SP125 Polla – Petina, in ingresso al comune di Polla; SS103 Montesano – Moliterno, in ingresso al comune di Tardiano; SS426 San Pietro – Sant’Arsenio, in ingresso ed in uscita dal comune di Sant’Arsenio; SP39 San Pietro al Tanagro – Teggiano, in ingresso ed in uscita da un piccolo agglomerato urbano del comune di Teggiano.

I rilievi sono stati realizzati, in collaborazione con il Centro di Monitoraggio della Sicurezza Stradale della Provincia di Salerno, mediante tre apparecchiature contatraffico KV Laser, su di un periodo di sei-dodici ore in un giorno feriale e su cinque sezioni.

Le velocità operative (V_{85}) in ingresso al centro abitato risultano comprese tra 32 e 91 km/h. In ragione delle maggiori velocità registrate, il sito di Teggiano è stato selezionato come sito di progetto.

L’ingresso da nord al comune di Teggiano (pop. 8.500 abitanti), avviene lungo la SP39 su un rettilineo quasi pianeggiante lungo circa 5,5 km in una strada a carreggiata unica e doppio senso di marcia, con due corsie larghe circa 3,0 m e banchine di larghezza inferiore a 0,30 m. Anche nel tratto esterno al centro abitato è presente un limite di velocità pari a 50 km/h. Tra il km 3 + 200 (Sez.12) ed il km 4 + 900 (Sez. 15) della SP39 sono presenti abitazioni ed attività commerciali, in assenza di infrastrutture pedonali, isolate rispetto al principale agglomerato urbano del comune (Figura 1).

Nel sito di progetto sono stati effettuati rilievi di velocità in 5 sezioni di misura (Figura 1). Le velocità di ingresso a questo piccolo agglomerato urbano sono pari a 91 km/h per i veicoli provenienti da nord e 78 km/h per i veicoli provenienti da sud (Figura 2).

In direzione sud le velocità sono costanti in quasi tutto l’abitato, con una lieve riduzione di velocità nella sezione 15 che dipende dall’avvicinamento ad un dosso con visibilità limitata. In direzione sud le velocità di ingresso all’abitato sono superiori rispetto alla direzione nord. I veicoli diretti verso sud percorrono un rettilineo di 3 km interamente in ambito extraurbano prima di entrare nel centro abitato senza alcun preavviso. I veicoli diretti verso nord sono in uscita da un centro abitato e percorrono un rettilineo in una zona priva di urbanizzazione per una lunghezza di circa 1 km. Prima dell’ingresso nell’abitato è inoltre presente un dosso.

Sempre in direzione nord, si registra un aumento delle velocità nelle sezioni di uscita dall’abitato in quanto i veicoli sono diretti verso una zona extraurbana. In direzione sud, invece, i veicoli che escono dall’agglomerato incontrano un breve tratto privo di abitazione prima di entrare nell’agglomerato urbano principale del comune di Teggiano.

In tutte le sezioni di rilievo la velocità media è sempre di gran lunga superiore al limite di velocità, pari a 50 km/h.

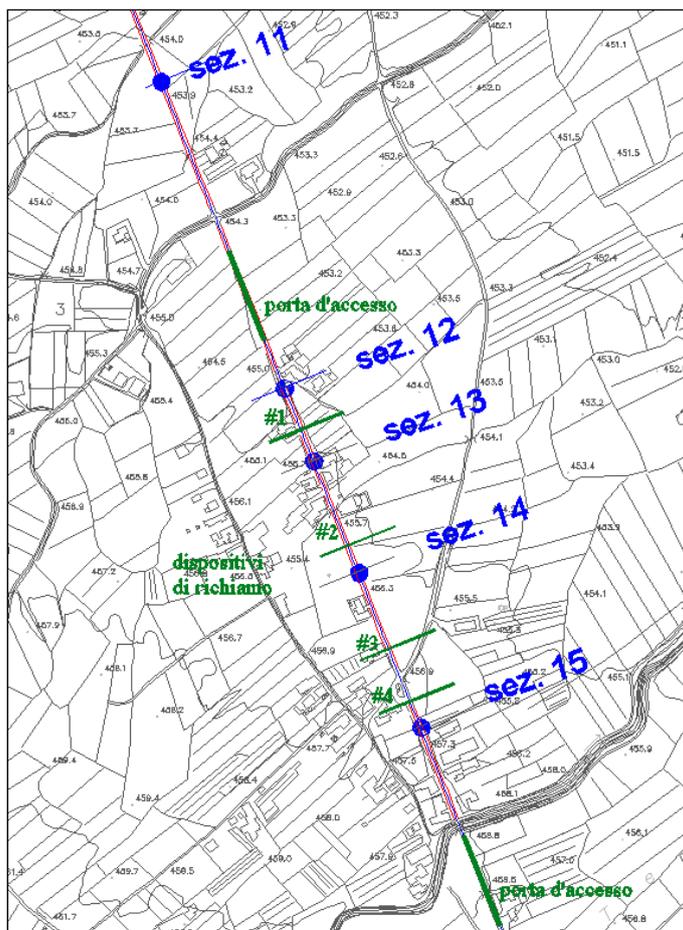


Figura 1 - Localizzazione delle sezioni di misura e degli interventi di progetto.

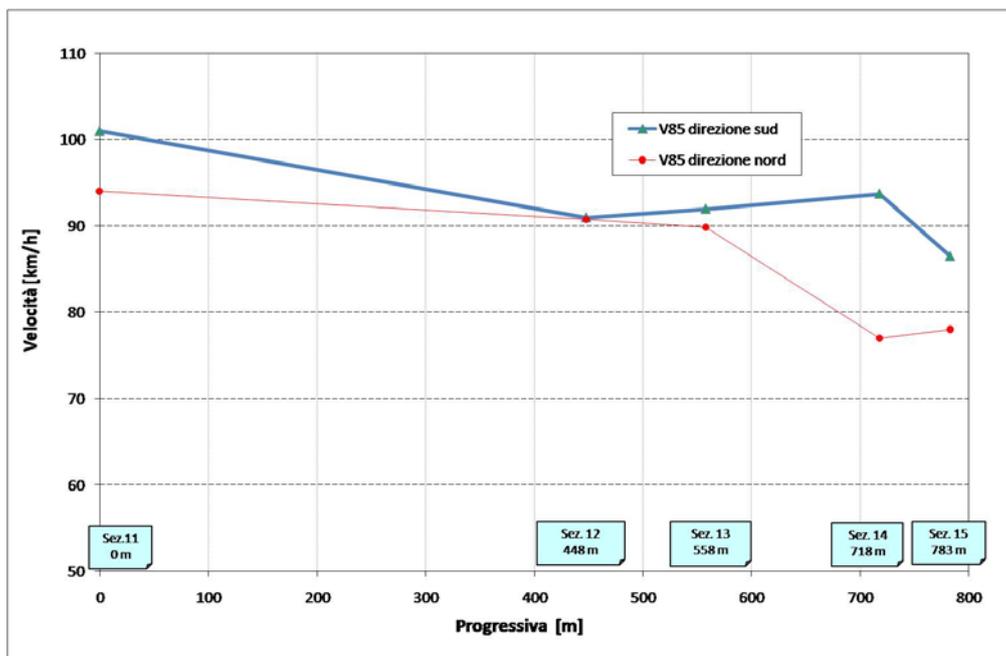


Figura 2 - Diagramma delle velocità operative.

3. Alternative di progetto

Il progetto (Lamberti et al., 2008, 2009) consiste nella realizzazione di due porte di accesso e di quattro dispositivi integrativi di moderazione del traffico (Figura 1). Le porte di accesso (Figg. 3-4) hanno la funzione di rallentare i veicoli in ingresso nell'agglomerato urbano, mentre i dispositivi di moderazione del traffico (Figg. 5 e 6), con distanziamento pari a circa 150 m, sono finalizzati ad integrare l'effetto delle porte di accesso all'interno dell'agglomerato urbano.

Per le porte di accesso sono previste due alternative di progetto: la prima consiste in interventi di segnaletica orizzontale e verticale, piantumazioni ed arredo; mentre la seconda, più costosa, prevede anche un allargamento della piattaforma stradale ed una deviazione dei veicoli in ingresso all'abitato.

Nell'alternativa 1 (cfr. Figura 3), la porta di accesso è composta dai seguenti elementi:

- a) bande sonore trasversali;
- b) rallentatori ottici;
- c) bande periferiche trasversali;
- d) siepe convergente verso la carreggiata;
- e) fascia trasversale colorata in conglomerato stampato;
- f) portale metallico rivestito in erba.



Figura 3 - Porta di accesso in direzione sud: alternativa 1.

Due serie di bande sonore trasversali sono installate 140 e 70 m prima dei rallentatori ottici per preavvisare i guidatori in approccio all'abitato. Ogni serie è composta da 10 bande in

laminato elasto-plastico di tipo rifrangente ed antisdrucchiolo con spessore di 5 mm e larghezza di 12 cm, poste in opera su supporto dello stesso materiale della larghezza di 15 cm. Le bande hanno interasse pari a 0,50 m e lunghezza pari a 2,76 m.

I rallentatori ottici, conformi alle indicazioni dell'art.179 del Regolamento, sono realizzati mediante l'applicazione di 5 strisce trasversali, di dimensione longitudinale pari a 2 m, con larghezza crescente (0,20 - 0,30 - 0,40 - 0,50 - 0,60 m) e distanziamento decrescente (1,25 - 1,15 - 1,05 - 0,95 m).

Subito dopo i rallentatori sono inserite 19 coppie di bande periferiche trasversali. Le bande periferiche creano l'impressione di restringimento della carreggiata. Le bande sono installate con spaziatura decrescente in modo da creare nel guidatore l'impressione di un aumento della velocità. Ciascuna banda è costituita da un rettangolo lungo 44 cm (perpendicolarmente alla direzione di marcia) e largo 30 cm (nella direzione di marcia), con la base contigua alle strisce longitudinali. E' stato scelto un distanziamento pari a 4 barre per secondo, nell'ipotesi di velocità di ingresso nella serie pari a 90 km/h e moto uniformemente decelerato con decelerazione pari a $1,2 \text{ m/s}^2$. La lunghezza complessiva del dispositivo è pari a 100,40 m.

Al fine di ridurre la larghezza ottica della piattaforma e di focalizzare l'attenzione di guidatori sulla porta di accesso nel tratto compreso tra l'inizio delle bande ottiche e la fine della porta di accesso, in entrambi i lati della piattaforma è installata una siepe convergente verso la carreggiata. La siepe è alta 1,50 m, larga 0,50 m ed installata per una lunghezza pari a 108,40 m. Nel tratto iniziale la distanza dell'asse della siepe dalla carreggiata è pari a 4,00 m, che si restringono a 1,00 m dopo 5,00 in modo da creare l'impressione di restringimento della piattaforma stradale.

Nella zona a cavallo del portale, per una lunghezza pari a 5,00 m, è prevista una fascia di colore rosso in conglomerato stampato, ossia conglomerato bituminoso impresso a caldo con rete metallica, colorato con resine acriliche e componenti (cariche di quarzo e cementi modificati) e rifinito con antisdrucchiolo. In tal modo si ottiene un richiamo dell'attenzione dei conducenti per l'effetto combinato della diversa colorazione della pavimentazione e di una lieve vibrazione al passaggio sulla fascia di conglomerato che ha profilo ed aspetto simili a quelli dei masselli.

La porta di accesso termina con un portale metallico rivestito in erba. In direzione sud, il portale contiene il segnale inizio centro abitato. Nella porta in direzione nord, poiché i veicoli provengono da una zona interna del centro abitato, anche se con assenza di urbanizzazione, non sono installati i segnali di inizio centro abitato e la fascia superiore del portale è interamente ricoperta di edera. Il portale è localizzato al centro della fascia in conglomerato stampato. La larghezza del portale è pari a 12,00 m (misurata tra gli assi dei sostegni laterali) e l'altezza è pari a 6,50 m. L'altezza utile per il passaggio dei veicoli al di sotto del portale è pari a 5,00 m. La struttura metallica del portale è rivestita in edera in modo tale da aumentare l'impatto visivo, l'effetto schermante e l'impressione di ingresso in un centro abitato, ad eccezione della zona centrale del portale stesso in cui sono installati, in corrispondenza dell'asse delle due corsie, i segnali inizio centro abitato.

Nella soluzione 2 (Figg. 4 e 5) è stata inserita una deviazione per i veicoli in ingresso al centro abitato mediante isola centrale materializzata con cordolo sormontale e strisce gialle rifrangenti e nere.



Figura 4 - Porta di accesso in direzione sud: alternativa 2.

La deviazione prevede un disassamento della corsia di marcia in ingresso pari a 2,50 m. La lunghezza del tratto di deviazione è pari a 37,50 m. Il tratto è a sua volta composto da tre tronchi di lunghezza pari a 12,50 m: 1) circolare con raggio pari a 125,00 m; 2) rettilineo; 3) circolare con raggio pari a 125,00 m. La deviazione verso sinistra per il rientro nella sede stradale originaria è simmetrica rispetto alla precedente. L'isola divisionale è separata dalle due corsie di marcia da due banchine larghe 0,50 m. Il raggio iniziale dell'isola, preceduto da zebraure integrate con inserti stradali catarifrangenti, è pari a 0,50 m. Nella parte iniziale dell'isola, in entrambi i lati, è installato un delineatore speciale di ostacolo (fig. II 472 del Regolamento) accoppiato con il segnale passaggio consentito a destra (fig. II 82/b del Regolamento). I cordoli sormontabili hanno larghezza pari a 0,30 m ed altezza pari a 0,12 m. La parte centrale dell'isola è piantumata con manto erboso.

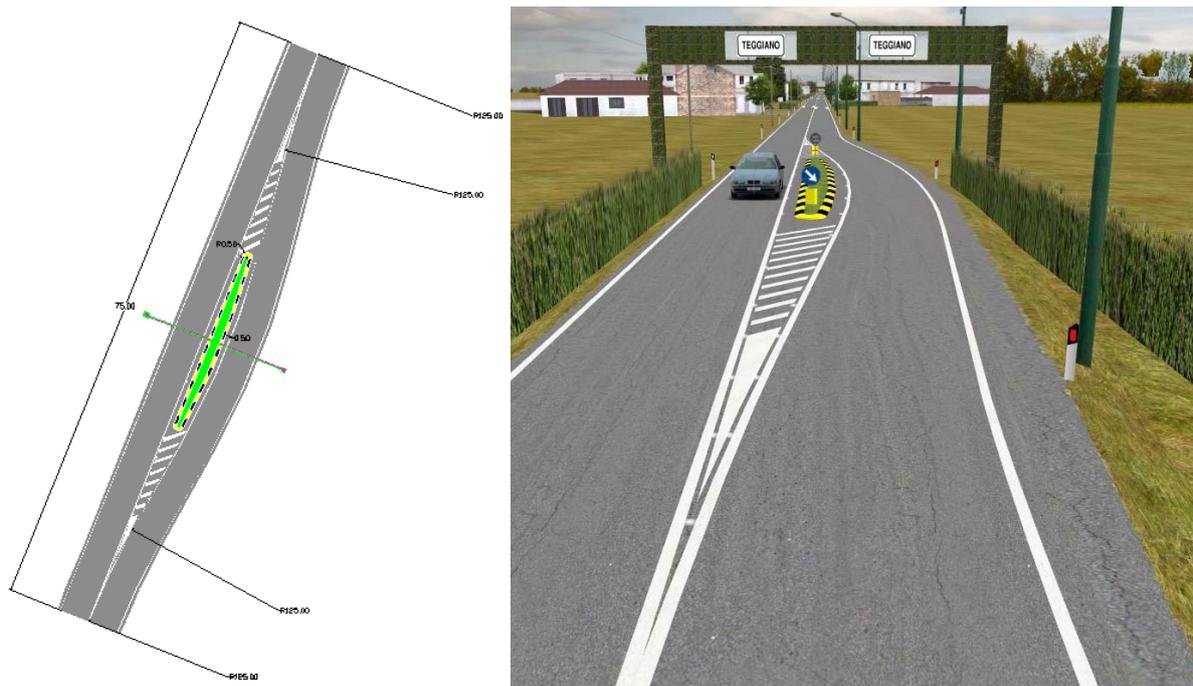


Figura 5 - Alternativa 2, particolare e 3D della deviazione.

Nell'alternativa 2 non è prevista la realizzazione di un differente tipo di pavimentazione in corrispondenza della porta per evitare variazioni di aderenza e regolarità in un tratto caratterizzato da deflessione delle traiettorie dei veicoli. Rispetto all'alternativa 1, le bande periferiche trasversali hanno caratteristiche differenti: sono installate in modo tale che il conducente oltrepassi 5 strisce al secondo. La velocità di ingresso nella serie è assunta pari a 70 km/h (minore rispetto alla soluzione 1 per effetto del condizionamento indotto dalla deviazione). La decelerazione è ipotizzata pari a $2,5 \text{ m/s}^2$. In tali ipotesi, la lunghezza complessiva del dispositivo è pari a 44,60 m.

Nel tratto compreso tra le porte di accesso sono previsti 4 dispositivi integrativi di moderazione del traffico (Figura 6). Ciascun dispositivo, di lunghezza pari a 30,00 m, è costituito da due serie (una per ciascun approccio) di 15 triangoli con base ed interasse costanti, pari rispettivamente a 0,30 e 1,00 m, ed altezza crescente (2 cm per metro): 0,44 m il primo, 0,74 m il quindicesimo. I triangoli, soprannominati "denti di drago", danno l'impressione di restringimento della carreggiata. Il restringimento ottico è rinforzato da due siepi convergenti verso la piattaforma. Le siepi, di altezza pari a 1,50 m e larghezza pari a 0,50 m, distano 4,00 m dalla carreggiata nella sezione iniziale e 1,00 m nel tratto centrale (L = 20,00 m).

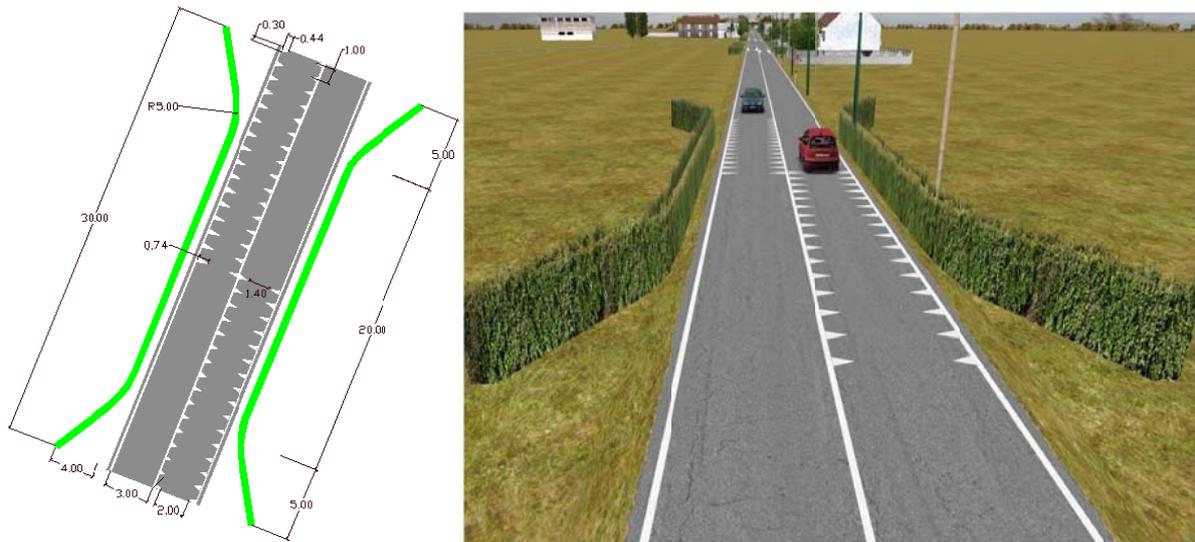


Figura 6 - Dispositivi integrativi di moderazione del traffico.

La segnaletica orizzontale e quella verticale sono state progettate con materiali ad elevate prestazioni in quanto l'efficacia dell'intervento è strettamente legata alla corretta percezione da parte dei guidatori dell'ambiente stradale e del segnalamento.

Per la segnaletica orizzontale è previsto l'utilizzo di laminato elasto-plastico autoadesivo rifrangente, contenente una dispersione di microgranuli ad alto potere antisdrucchiolo e microsferiche in ceramica con indice di rifrazione superiore ad 1,9, misurato ai sensi della norma UNI EN 1423:2004. Le prestazioni della segnaletica, classificate ai sensi della norma UNI EN 1436:2004, sono: resistenza al derapaggio, classe S2; visibilità diurna, classe Q5; visibilità notturna in condizioni di asciutto, classe R5; colore, classe B4. In corrispondenza delle isole divisionali previste nell'alternativa 2, la segnaletica orizzontale è integrata con inserti stradali catarifrangenti del tipo 1, ossia inserti con catarifrangenti in vetro rispondenti ai requisiti della norma UNI EN 1463-1:2004.

Per la segnaletica verticale sono previste pellicole ad elevatissima risposta luminosa realizzate con la tecnologia dei microprismi, rispondenti alle prescrizioni della norma UNI 11122:2004. I requisiti fotometrici di questo tipo di pellicola sono notevolmente superiori ai valori richiesti per le pellicole di classe 2 dal D.M. 31 marzo 1995 n.1584. I vantaggi delle pellicole microprismatiche consistono nell'elevata rifrangenza (maggiore visibilità diurna, maggiore visibilità notturna, maggiore visibilità in presenza di inquinamento luminoso), nell'ottima angolarità (maggiore visibilità dei segnali posti ad angolo acuto rispetto alla linea di vista del conducente, maggiore distanza di leggibilità del segnale) e nella fluoro-rifrangenza (maggiore visibilità in condizioni critiche, quali pioggia, nebbia, scarsa visibilità per cielo coperto, alba e tramonto).

4. Test al simulatore di guida

4.1. Protocollo sperimentale

Per l'esperimento sono stati selezionati 30 soggetti (60% uomini e 40% donne), dai 23 ai 54 anni, con patente di guida valida. Prima di accedere alla sala di simulazione, ogni soggetto ha letto e firmato un modulo di consenso informato, quindi è stato istruito sulle procedure d'emergenza e sull'uso dei comandi di cui è dotata la cabina di guida. La fase di addestramento alla guida al simulatore in ambiente virtuale, della durata di circa 10 minuti, è stata condotta su di una strada extraurbana a carreggiata unica e doppio senso di marcia. Dopo una breve pausa, ogni partecipante ha guidato attraversando la piccola comunità urbana tre volte in direzione sud e tre volte in direzione nord. La guida attraverso l'area urbana è stata preceduta da due chilometri che riproducono l'ambiente reale in avvicinamento alla comunità urbana e da quattro chilometri di ambiente extraurbano avente lo scopo di separare la guida attraverso le sezioni di studio. Al passaggio sulle bande sonore trasversali e sulla fascia trasversale colorata in conglomerato stampato sono stati riprodotti in cabina i rumori corrispondenti. I suoni sono stati registrati su strada per diverse classi di velocità. La sperimentazione è stata condotta al simulatore di guida VERA (Virtual Environment Road sAFety) del Laboratorio Sicurezza Stradale TEST. Sono stati testati 3 scenari: Alt0, stato di fatto; Alt1, alternativa di progetto 1; Alt2, alternativa di progetto 2. Su ogni scenario hanno guidato 10 soggetti. Tre soggetti hanno interrotto il test a causa di malessere (mal di testa e/o nausea); sono rimasti così 27 guidatori validi (9 per ogni scenario).

4.2. Validazione comportamentale con misure di velocità

Per valutare la capacità del simulatore VERA a provocare nel guidatore lo stesso comportamento che questi avrebbe nella realtà in circostanze simili, si è proceduto al confronto tra dati reali e simulati (nello scenario Alt0). Il confronto ha riguardato essenzialmente i dati di velocità raccolti nelle cinque sezioni di misura in entrambe le direzioni (sud e nord).

Nello studio sono stati impiegati test non parametrici poiché, secondo i test Kolmogorov-Smirnov e Chi Quadro (χ^2), non tutti i dati di velocità seguono una distribuzione Gaussiana con un livello di significatività del 5%.

Il test di Kolmogorov-Smirnov a due code è stato utilizzato per determinare se i due campioni indipendenti erano stati estratti da popolazioni con la stessa distribuzione (l'ipotesi nulla). I risultati del test (Tabella 1) mostrano che l'ipotesi nulla può essere rigettata con un livello del 5% solo per la sezione 11, in direzione sud. Quindi, eccetto che in questa sezione, non ci sono differenze significative tra i campioni di velocità reali e simulate e, di conseguenza, il simulatore VERA può considerarsi validato per analisi di velocità in ambito extraurbano.

La differenza massima nella velocità media è pari a 7,19 km/h e, inoltre, si osserva una maggiore dispersione della velocità dei guidatori nei dati raccolti in simulazione.

Tabella 1 – Confronto tra i dati di velocità reali e simulati

Sezione	Direzione	Velocità Media (km/h)			Deviazione Standard (km/h)			Kolmogorov-Smirnov <i>p-value</i>
		Reale	Simulata	Differenza	Reale	Simulata	Differenza	
11	Sud	81,26	74,07	7,19	17,06	21,19	-4,13	0,036
12	Sud	73,98	71,54	2,44	16,25	19,55	-3,30	0,398
13	Sud	76,87	71,42	5,45	15,76	19,93	-4,17	<u>0,087</u>
14	Sud	76,29	69,11	7,18	18,07	17,55	0,52	0,162
15	Sud	71,63	68,64	2,99	16,01	17,40	-1,39	0,333
11	Nord	77,39	80,85	-3,47	16,84	24,30	-7,46	0,113
12	Nord	73,49	79,61	-6,13	17,04	26,26	-9,22	0,181
13	Nord	75,04	78,01	-2,97	15,96	26,31	-10,35	0,175
14	Nord	64,19	71,34	-7,14	13,16	18,91	-5,75	<u>0,092</u>
15	Nord	65,81	71,39	-5,58	12,99	20,11	-7,11	0,118

Nota: il **grassetto** indica valori statisticamente rilevanti con un livello di significatività del 5%, il sottolineato valori statisticamente rilevanti con un livello di significatività del 10%

4.3. Risultati

Le analisi statistiche sono state effettuate con test non parametrici poiché i dati di velocità non sono distribuiti secondo una Gaussiana. Per valutare la significatività statistica della differenza delle velocità nei tre scenari simulati sono stati utilizzati i test di Mann-Whitney (indica se i due campioni sono in media vicini tra loro) e di Kolmogorov-Smirnov (valuta se i due campioni presentano la medesima distribuzione).

Considerando che sono stati confrontati tre trattamenti, il numero di combinazioni possibili è pari a $[3 \times (3-1)]/2$. Per tener conto di ciò il livello di significatività usato per il confronto a coppie è stato corretto tramite la formula proposta da Bonferroni: $\alpha' = \alpha \times 2/[3 \times (3-1)]$.

I tre scenari (Alt0, Alt1, Alt2) sono stati confrontati, in entrambe le direzioni, mediante l'analisi dei profili delle velocità medie (Figg. 7 e 8) e dei dati di velocità (Tabb. 2 e 3) nelle seguenti sezioni: controllo (500 metri prima della porta d'accesso), porta d'accesso (sezione al centro del portale), centro dell'agglomerato urbano.

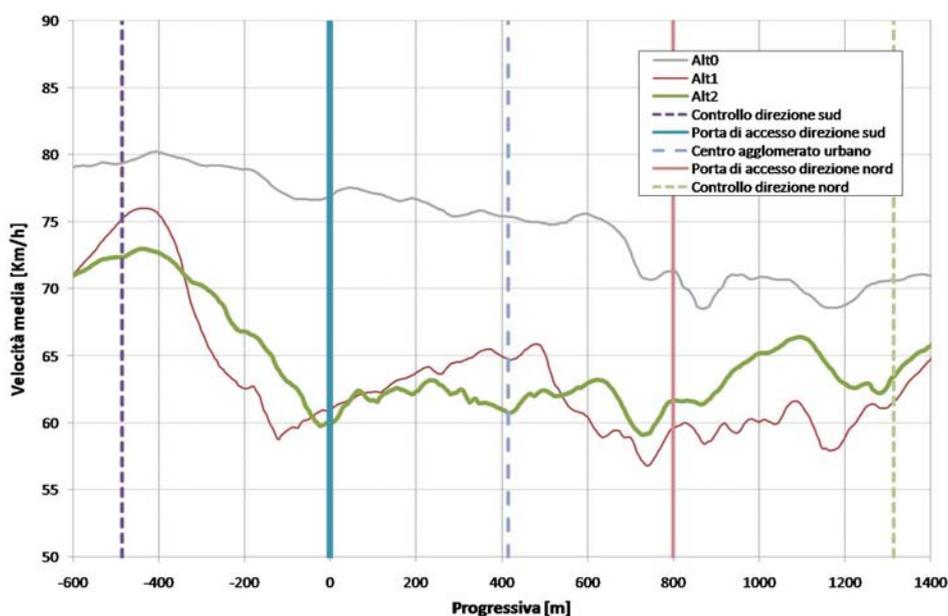


Figura 7 – Diagramma delle velocità medie al simulatore di guida, direzione sud.

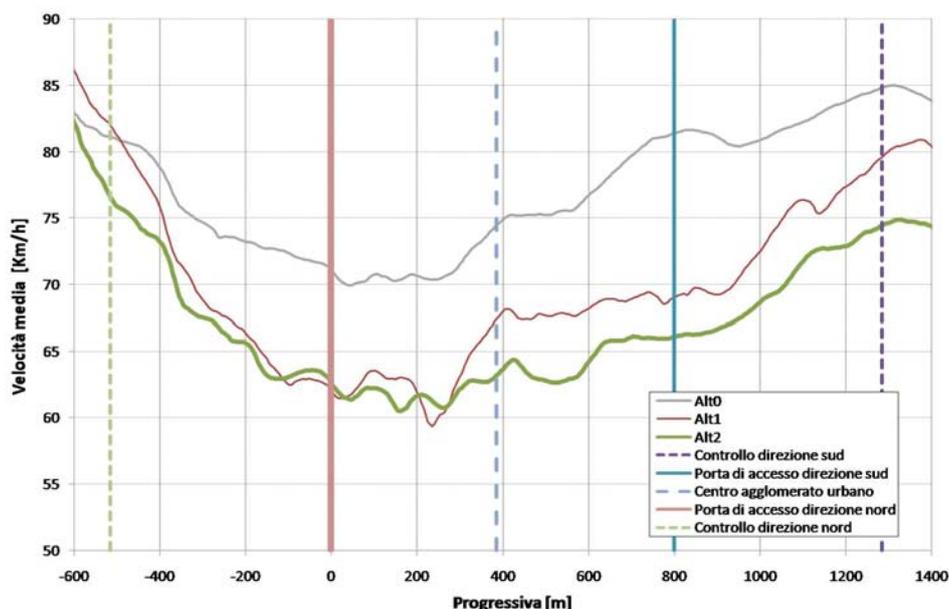


Figura 8 – Diagramma delle velocità medie al simulatore di guida, direzione nord.

Nella sezione di controllo, come atteso, la distribuzione delle velocità nei tre scenari non mostra differenze statisticamente significative.

In corrispondenza delle porte d'accesso, si osserva una notevole efficacia nella riduzione della velocità di entrambi i trattamenti. In direzione sud, le velocità medie presentano una riduzione pari a 16 km/h (20,8%) per l'alternativa 1 e pari a 17 km/h (22,0%) per l'alternativa 2.

Le deviazioni standard presentano una leggera riduzione nelle alternative con trattamento. In direzione nord, la riduzione della velocità media è più contenuta (11 km/h) rispetto alla direzione sud. I risultati indicano che le differenze tra le alternative 1 e 2 non sono statisticamente significative.

Il test di Mann-Whitney mostra un livello di significatività per entrambi i trattamenti inferiore al 5% nella direzione sud ed un livello di significatività inferiore al 10% in direzione nord. Il test di Kolmogorov-Smirnov evidenzia un livello di significatività inferiore al 10%, ad eccezione dell'alternativa 1 in direzione nord.

Nel centro dell'agglomerato urbano, si osserva una riduzione delle medie e delle deviazioni standard della distribuzione della velocità. In direzione sud, la velocità media si riduce di 10 km/h (14,0%) nell'alternativa 1 e di 9 km/h (12,1%) nell'alternativa 2. In direzione nord, le riduzioni di velocità nelle alternative 1 e 2 sono rispettivamente pari a 9 km/h (12,1%) e 13 km/h (17,6%). I risultati sono statisticamente significativi solo per il trattamento 2.

Tabella 2 – Medie e deviazioni standard delle velocità in relazione al tipo di trattamento

Sezione	Direzione	Velocità Media (km/h)			Deviazione Standard (km/h)		
		Alt0	Alt1	Alt2	Alt0	Alt1	Alt2
Controllo	Sud	79.40	75.25	72.37	26.39	20.43	20.83
Controllo	Nord	82.12	80.92	75.59	27.33	36.41	32.76
Porta d'accesso	Sud	76.99	61.01	60.06	23.02	21.16	20.10
Porta d'accesso	Nord	72.04	61.00	61.63	20.46	17.70	20.12
Centro villaggio	Sud	75.36	64.79	60.83	22.35	19.60	13.73
Centro villaggio	Nord	75.47	66.35	62.19	24.50	15.46	14.19

Tabella 3 – Significatività statistica dei trattamenti

Sezione	Direzione	Velocità Media (km/h)			Deviazione Standard (km/h)		
		Alt0 vs Alt1	Alt0 vs Alt2	Alt1 vs Alt2	Alt0 vs Alt1	Alt0 vs Alt2	Alt1 vs Alt2
Controllo	Sud	0.731	0.481	0.492	0.754	0.526	0.526
Controllo	Nord	0.683	0.313	0.567	0.526	0.329	0.936
Porta	Sud	0.006	0.005	0.932	<u>0.022</u>	<u>0.022</u>	0.997
Porta	Nord	<u>0.028</u>	<u>0.020</u>	0.864	0.100	<u>0.022</u>	0.754
Centro	Sud	0.081	0.010	0.668	0.329	0.048	0.526
Centro	Nord	0.208	<u>0.031</u>	0.429	0.526	0.100	0.189

Nota: il **grassetto** indica valori statisticamente rilevanti con un livello di significatività del 5% ($\alpha=1,67\%$), il sottolineato valori statisticamente rilevanti con un livello di significatività del 10% ($\alpha=3,33\%$)

5. Conclusioni

Il lavoro analizza il comportamento dei guidatori nel passaggio dall'ambito extraurbano a quello urbano, sia senza porte d'accesso e dispositivi di traffic calming che con due differenti configurazioni di porte d'accesso e traffic calming posizionati in corrispondenza della zona urbana. In particolare, l'analisi si è focalizzata sulla velocità di transizione tra extraurbano ed urbano, indicate quale principale fattore contributivo dell'incidentalità.

Il progetto testato consiste nella realizzazione di due porte di accesso e di quattro dispositivi integrativi di moderazione del traffico. Per le porte di accesso si sono previste due alternative di progetto. La prima prevede bande sonore trasversali, rallentatori ottici, bande periferiche trasversali, siepe convergente verso la carreggiata, fascia trasversale colorata in conglomerato stampato, e portale metallico rivestito in erba. La seconda, priva della fascia trasversale colorata, prevede anche una deviazione dei veicoli in ingresso nell'abitato.

Il sito sperimentale ed i trattamenti sono stati riprodotti fedelmente in 3D. Il comportamento di guida nelle diverse alternative progettuali è stato valutato tramite un simulatore di guida dinamico. Il simulatore è stato validato per analisi di velocità tramite il confronto tra i dati di velocità reali ed i dati rilevati nell'ambiente simulato.

Entrambe le alternative di progetto testate sono risultate estremamente efficaci nella riduzione delle velocità in corrispondenza delle porte di accesso (riduzione della velocità media sino a 17 km/h, ossia riduzione del 22%). Nella sezione centrale dell'agglomerato urbano la riduzione di velocità è statisticamente significativa solo per l'alternativa 2 (14

km/h). Complessivamente, l'alternativa 2 ha mostrato i migliori risultati ed è raccomandata per l'implementazione.

La sperimentazione effettuata ha mostrato che la realizzazione di porte di accesso e dispositivi integrativi di moderazione del traffico all'interno dell'abitato può consentire significative riduzioni di velocità e che i simulatori di guida sono strumenti validi ed efficaci per valutare gli effetti di misure per la sicurezza stradale sul comportamento di guida.

Bibliografia

- CROW, 1998. *Recommendations for Traffic Provisions in Built-up Areas*. The Netherlands.
- Dell'Acqua, G., D. Abate, M.L. De Guglielmo, R. Lamberti, 2008. *Valutazione del Comportamento dell'Utente Stradale in Presenza di Porte d'Accesso: Indagine Sperimentale*. III Convegno Nazionale Stradale La sicurezza sulle strade della città, Lucca.
- DETR, Department of the Environment, Transport and the Regions, 2005. *Traffic Calming on Major Roads*. UK.
- DFT, Department for Transport, 2000. *Village Traffic Calming - Reducing Accidents*. Traffic Advisory Leaflet 11/00, UK.
- Dijkstra, A., H. Drolenga, M. van Maarseveen, 2007. *A Method for Assessing the Safety of Routes in a Road Network*. In Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 2019, pp. 82-90.
- Godley, S.T., T.J. Triggs, B.N. Fildes, 2002. *Driving simulator validation for speed research*. In Accident Analysis & Prevention, Vol. 34, pp. 589-600.
- Highways Agency, 2004. *Design Manual of Roads and Bridges. Volume 6, Section 3, Part 5, TA 87/04. Traffic Calming on Trunk Roads: a Practical Guide*. UK.
- Jamson, A.H., H.C. Pyne, O.M.J. Carsten, 1999. *Evaluation of traffic calming measures using the Leeds Driving Simulator*. Driving Simulation Conference, Paris, France.
- Lamberti R., D. Abate, M.L. De Guglielmo, G. Dell'Acqua, T. Esposito, A. Montella, 2008. *Comportamento dei guidatori in presenza delle porte di accesso in ambito urbano*. XVII Convegno Nazionale della Società Italiana di Infrastrutture Viarie "Le Reti di Trasporto Urbano. Progettazione, Costruzione, Gestione", Enna.
- Lamberti R., D. Abate, M.L. De Guglielmo, G. Dell'Acqua, T. Esposito, F. Galante, F. Mauriello, A. Montella, M. Perneti, 2009. *Perceptual Measures and Physical Devices for Traffic Calming Along a Rural Highway Crossing a Small Urban Community: Speed Behavior Evaluation in a Driving Simulator*. 88rd Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C., USA.
- Lockwood, C.R, 1997. *Using the TRL driving simulator to evaluate traffic calming measures*. TRL Report 245, Crowtorne, UK.
- Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Ispettorato Generale per la Circolazione e la Sicurezza Stradale, 2001. *D.M. 5 novembre 2001, n.6792, Norme Funzionali e Geometriche per la Costruzione delle Strade*.
- Ministero LL.PP., Ispettorato Generale per la Circolazione e la Sicurezza Stradale, 2000a. *Indirizzi Generali e Linee Guida di Attuazione del Piano Nazionale della Sicurezza Stradale*.

- Ministero LL.PP., Ispettorato Generale per la Circolazione e la Sicurezza Stradale, 2000b. *Definizione dei Principali Temi di Ricerca per il Miglioramento della Sicurezza delle Infrastrutture nel Breve, Medio e Lungo Periodo. Scheda 2: Strategie per la Gestione della Velocità in Ambito Urbano.*
- Montella, A, 2004. *Development of a Potential for Safety Improvement Index.* 83rd Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C., USA.
- Montella, A., A. Lista, F. Mauriello, 2008. *L'incidentalità nei tratti urbani delle strade provinciali e statali.* XVII Convegno Nazionale della Società Italiana di Infrastrutture Viarie "Le Reti di Trasporto Urbano. Progettazione, Costruzione, Gestione", Enna.
- NRA, National Roads Authority, 2005. *Guidelines on Traffic Calming for Towns and Villages on National Routes.* Dublin, Ireland.
- PIARC, World Road Association, Technical Committee on Road Safety C13, 2003. *Road Safety Manual.*
- Riemersma, J., A. van der Horst, W. Hoekstra, G. Alink and N. Otten, 1990. *The validity of a driving simulator in evaluating speed-reducing measures.* Traffic Engineering and Control **31**.
- Road Directorate, 1999. *Speed Management in Urban Areas.* Report n.168, Copenhagen, Denmark.
- Ruyters, H., M. Slop, F. Wegman, 1994. *Safety Effects of Road Design Standards.* Report R-94-7, SWOV, Institute for Road Safety Research, Leidschendam, The Netherlands.
- Taylor, M., and A. Wheeler. *Accidents Reductions Resulting from Village Traffic Calming.* Proceedings of Seminar Demand Management and Safety Systems, Cambridge, UK, 2000.
- Taylor, M., and A. Wheeler. *Traffic Calming in Villages on Major Roads.* Proceedings of Seminar Traffic Management and Road Safety, Loughborough, UK, 1998.
- Van Schagen I. *Traffic Calming Schemes. Opportunities and Implementation Strategies.* Report R-2003-22, SWOV, Institute for Road Safety Research, Leidschendam, The Netherlands, 2003.
- VISP, Village Speed Control Working Group, 1994. *VISP - A Summary.* Traffic Advisory Leaflet 1/94, UK.
- Wegman, F., L. Aarts, 2006. *Advancing Sustainable Safety: National Road Safety Outlook for 2005-2020.* SWOV, Institute for Road Safety Research, Leidschendam, The Netherlands.
- Yan, X., M. Abdel-Aty, E. Radwan, X. Wang, P. Chilakapati, 2008. *Validating a driving simulator using surrogate safety measures.* In Accident Analysis & Prevention, Vol. 40, pp. 274–288.