



VALUTAZIONE SPERIMENTALE DEI COSTI INDIRETTI DEI CANTIERI STRADALI

Alessandro Di Graziano

Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale (D.I.C.A.)
Università di Catania – V.le A.Doria 6 – 95125 – Catania – Italia

Tel:+39.095.7382215; Fax: +39.095.7382247

E-mail: adigraziano@dica.unict.it

VALUTAZIONE SPERIMENTALE DEI COSTI INDIRETTI DEI CANTIERI STRADALI

ALESSANDRO DI GRAZIANO – D.I.C.A. – Università di Catania

SOMMARIO

I sistemi di supporto alle decisioni per la selezione delle più appropriate alternative di manutenzione sono stati caratterizzati, negli ultimi anni, da numerosi approfondimenti riguardanti gli elementi da considerare nel processo di analisi, così da determinare una continua evoluzione del significato di beneficio e costo di ogni alternativa.

In tale contesto, la valutazione dei costi associati alla realizzazione di un'attività di manutenzione rende necessario che si stimino non solo i costi sostenuti dall'ente gestore che effettua i lavori, ma anche gli impatti sullo svolgimento della circolazione e sulla qualità dell'ambiente circostante, conseguenti alle attività dei cantieri stradali di manutenzione.

In linea generale, è possibile affermare che l'incremento dei costi degli utenti, correlato con la presenza dei cantieri stradali, dovrebbe essere stimato considerando almeno tre componenti: la variazione dei tempi di percorrenza, l'aggiuntivo costo operativo dei veicoli e l'incidenza sull'incidentalità.

Nell'ambito della presente ricerca sono stati valutati empiricamente i ritardi nei tempi di percorrenza sopportati dagli utenti a causa della chiusura al traffico di una corsia di una infrastruttura autostradale. In funzione di tale informazione, è stata costruita la curva di flusso che caratterizza un'autostrada a due corsie allorché una di esse è interessata dalla presenza di un cantiere.

La determinazione di tale tipo di curva di flusso è un passo necessario per l'implementazione di un modello più completo di analisi del costo degli utenti, in quanto permette di calcolare le variazioni di velocità che caratterizzano la marcia degli utenti in prossimità dei cantieri stradali. Tale dato, infatti, permette di determinare la variazione dei costi operativi dei veicoli e i costi legati all'aumento dei tempi di percorrenza.

ABSTRACT

Decision support systems for the selection of the most suitable maintenance alternative have been characterized, in the last years, by many investigations on the elements to evaluate in the analysis process, so that a continuous evolution of meaning of benefit and cost of every alternative has been determined.

In such context, maintenance costs evaluation requires the estimation not only of the agency costs to carry out the works, but also of work zones impacts on traffic and environment.

It is possible to assert that the increase of user costs, correlated to work zones, has to be estimated considering at least three factors: the increase of travelling time, the increase of vehicle operating costs and the effects on accident.

In this research the delay in the travelling time, borne by the user because of the closing of an highway lane, has been empirically estimated

According to such information the speed-flow curve characterizing a two lane highway, when one of these is interested by a work zone, has been constructed. The curve

determination of this curve is a required step for the implementation of a more complete user cost model. It permits to calculate, in fact, the speed variation characterizing the users driving in proximity of work zones. This information allows to determine the variation of vehicle operating costs and the costs connected to the travelling time increase.

1. INTRODUZIONE

Negli ultimi anni, a causa dell'incremento della domanda di trasporto e dell'invecchiamento delle infrastrutture stradali, si è assistito ad uno spostamento graduale degli obiettivi primari di molte nazioni, volto al miglioramento della gestione e della manutenzione di tali infrastrutture.

Tutto ciò ha determinato un conseguente incremento del numero di cantieri stradali per effettuare la manutenzione ordinaria e straordinaria delle strade, mettendo in risalto le problematiche connesse all'interazione tra le correnti di traffico e le attività manutentive.

Il restringimento della sezione stradale determinato dai cantieri, costituisce, infatti, una fase necessaria del processo di manutenzione e gestione delle infrastrutture viarie.

L'incidenza della distribuzione spaziale e temporale dei cantieri sul perditempo e la sicurezza degli utenti, sull'impatto ambientale, sulla sicurezza dei tecnici che eseguono i lavori costituisce, quindi, un importante aspetto di valutazione del costo complessivo di realizzazione di un intervento manutentivo.

Per tale ragione, una programmazione ottimizzata degli interventi deve tenere conto, nella fase di scelta e localizzazione dei trattamenti manutentivi da realizzare, non solo del costo effettivo per la realizzazione dell'intervento, ma anche dei conseguenti fattori di impatto, individuando, per ogni cantiere stradale, l'adeguata tipologia di chiusura, l'estensione, la frequenza.

In tale ottica, le Istruzioni del CNR sulla pianificazione della manutenzione stradale [1] sottolineano che, qualunque sia la natura e la finalità dell'intervento manutentorio, per garantire la corretta allocazione delle risorse, è necessario effettuare, attraverso un'analisi delle diverse tipologie di intervento utilizzabili, una valutazione economica dell'intervento che tenga in debito conto i maggiori oneri sopportati dagli utenti, durante l'esecuzione dei lavori, a causa delle interferenze veicolari indotte.

Un Pavement Management System (PMS), servendo da sistema di supporto alle decisioni per la gestione della manutenzione delle pavimentazioni, deve permettere di programmare al meglio la distribuzione dei lavori stradali. È importante, quindi, che in esso sia implementato un criterio di valutazione degli effetti determinati dalle differenti tipologie di cantieri, in funzione della durata (si distinguono cantieri di lunga e breve durata), della lunghezza (estensione longitudinale del cantiere) e dell'ingombro trasversale della carreggiata (restringimento della piattaforma conservando il numero di corsie previste per senso di marcia, chiusura di una delle corsie di marcia, chiusura di una carreggiata).

2. IL CALCOLO DEI TEMPI DI PERCORRENZA

Il tempo impiegato per compiere un viaggio rappresenta una componente importante del costo che grava sugli utenti della strada; ne consegue che, nell'ambito della gestione della manutenzione stradale, è necessario pensare ad un sistema che permetta di stimare quantomeno l'incidenza delle condizioni della pavimentazione [2] e dei lavori di manutenzione sui tempi di percorrenza [3].

Il perditempo legato ai lavori di manutenzione è determinato dall'aumentare dei tempi di viaggio per attraversare i cantieri stradali a causa della riduzione di velocità, delle congestioni, o delle necessarie deviazioni.

Tra i sistemi di supporto alle decisioni per la gestione della manutenzione delle pavimentazioni stradali, il software "Highway Development & Management Tool" (HDM-4) [4] rappresenta uno dei più efficaci ausili per valutare gli effetti di un piano di gestione, sia di un'intera rete viaria che di un singolo progetto di manutenzione, permettendo di stimare, in termini economici, costi e benefici che caratterizzano le sovrastrutture nell'arco del loro ciclo di vita.

L'HDM-4 tiene conto degli effetti delle condizioni della pavimentazione sugli utenti mettendo in relazione i valori di IRI, che caratterizzano, di volta in volta, la sovrastruttura con la velocità operativa e valutando le variazioni dei costi operativi dei veicoli e dei tempi di viaggio che ne conseguono.

L'attuale versione dell'HDM non consente di stimare gli effetti indotti sugli utenti dalla chiusura di una corsia, anche quando sia già indicata la logica di implementazione del modello di analisi dell'impatto dei cantieri stradali. Mediante l'utilizzo di una serie di fattori quali la durata dei lavori, il volume di traffico, la curva di deflusso veicolare della strada, la capacità della strada è prevista la simulazione dei cicli di cambiamento della velocità dei singoli utenti (decelerazione del veicolo all'approssimarsi del cantiere, attraversamento del cantiere o stazionamento in coda, accelerazione dopo il superamento del cantiere).

Alla base di tali valutazioni vi è il modello flusso-velocità, attualmente impiegato dall'HDM (figura 1) e il conseguente approccio mediante una funzione a step per correlare l'ampiezza e la capacità delle strade (figura 2).

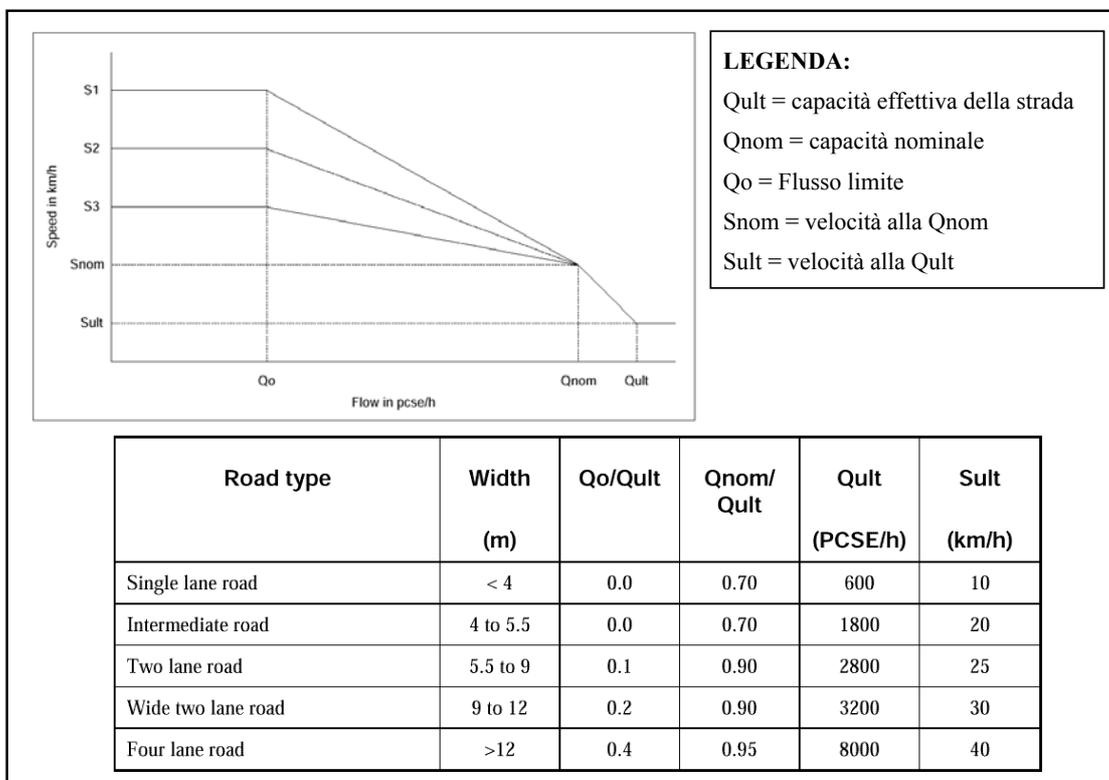


Figura 1 – Modello flusso-velocità utilizzato dal HDM-4 [5]

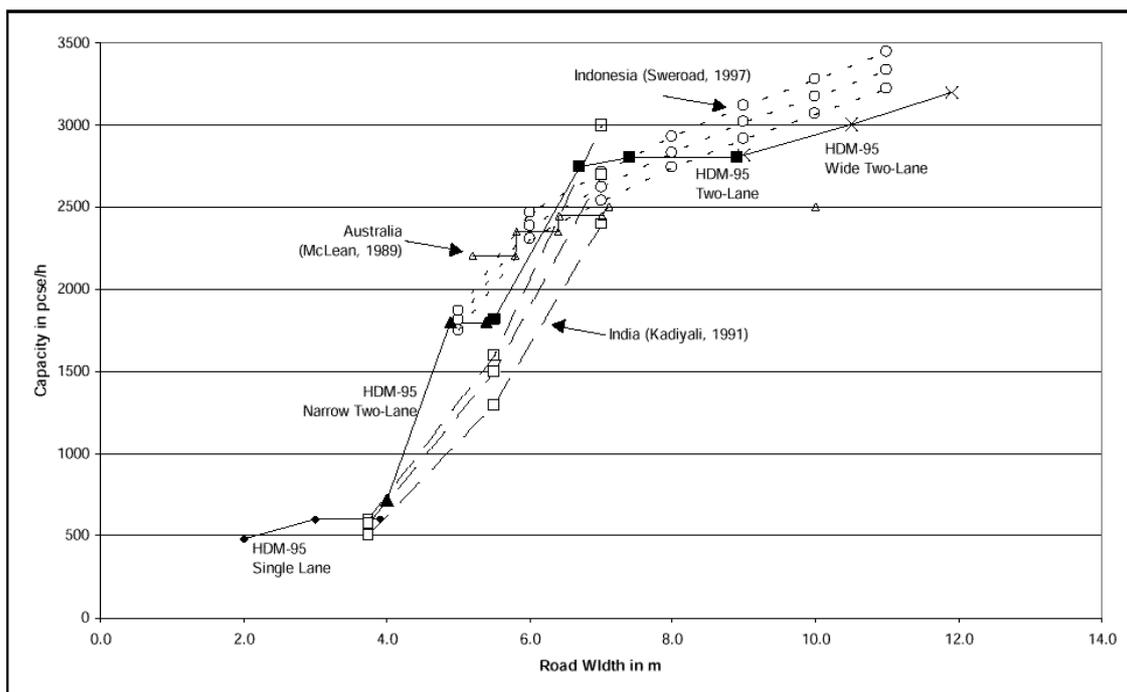


Figura 2 – Effetti della larghezza di una strada sulla capacità [4]

3. CALCOLO DEI PERDITEMPO SULL'AUTOSTRADA A18

La scelta dell'autostrada come campo di analisi è stata principalmente influenzata dalle caratteristiche di tale infrastruttura che, rappresentando un sistema chiuso, consente valutazioni precise sull'andamento del traffico. Le informazioni basilari (flusso di traffico, velocità, capacità dei cantieri) per la determinazione dei costi degli utenti connessi ai cantieri stradali sono, in effetti, più facilmente reperibili riferendosi alle infrastrutture autostradali.

L'incidenza della presenza di un cantiere è, in ogni caso, strettamente connessa al tipo di strada interessata dai lavori di manutenzione, in quanto cambiano le caratteristiche e le esigenze di movimento dell'utenza.

La stima dei perditempo, che caratterizzano la presenza di cantieri sull'autostrada A18 Messina-Catania, è stata effettuata elaborando i dati che vengono registrati dall'ente gestore del pedaggio relativamente ai veicoli in entrata e in uscita dai singoli caselli. Mediante l'individuazione dell'orario di ritiro del biglietto all'entrata in autostrada e l'orario di pagamento del pedaggio al casello di uscita è, infatti, possibile verificare il tempo di percorrenza dei singoli veicoli.

Per il biennio 1997-1999, è stato possibile definire le caratteristiche dei lavori di manutenzione, realizzati sull'autostrada A18, in termini di dislocazione dei cantieri, di durata delle attività manutentive, di tipologia di intervento eseguito e di modalità di chiusura al traffico.

Limitatamente ai lavori di manutenzione che hanno determinato la chiusura al traffico di una sola corsia (figura 3), sono stati creati sette scenari, che rappresentano altrettante differenti caratterizzazioni di svolgimento del traffico lungo il percorso autostradale in analisi (tabella 1).

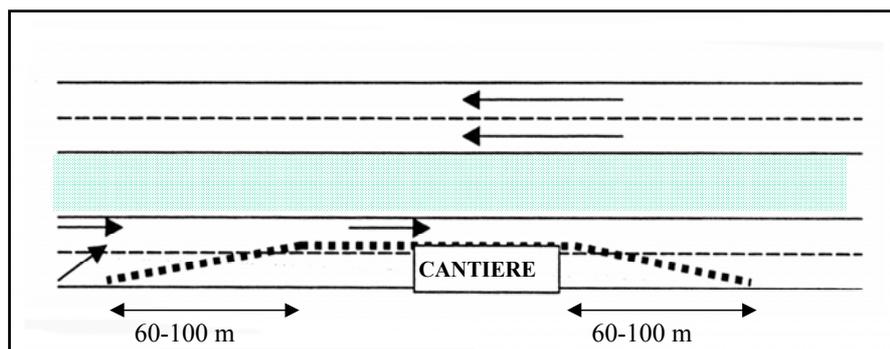


Figura 3 – Chiusura al traffico di una corsia

È importante evidenziare che, in realtà, la lunghezza massima di chiusura di una corsia è di circa 2 km, per cui è ipotizzabile che durante i giorni di analisi dei dati sul traffico:

- lo scenario 2 sia caratterizzato dalla presenza di un unico tratto del cantiere 2a, lungo 2000 m;
- lo scenario 3 sia caratterizzato dalla presenza di un tratto del cantiere 3a, lungo 2000 m, cui si aggiunge il cantiere 3c;
- lo scenario 6 sia caratterizzato dalla presenza di un unico tratto del cantiere 6a, lungo 2250 m;
- tutti gli altri scenari siano caratterizzati dalla somma dei cantieri contemporaneamente presenti durante lo specifico arco temporale.

L'estensione definitiva del tratto di strada con una corsia chiusa al traffico è stata ottenuta, per ogni scenario, aggiungendo una lunghezza di 100 m, prima e dopo ogni cantiere, così da considerare gli spazi utilizzati per la regolamentazione della deviazione ed in ogni caso influenzati dalla presenza del cantiere.

Scenario	Cantieri	Programma degli interventi			Direzione	Durata		Estensione tratto unica corsia [m]
		Inizio	Fine	Lungh. [km]		Data inizio	Data fine	
1	1a	11+936	13+081	1,145	Catania	11/03/99	12/04/99	2.230
	1b	21+285	21+950	0,665	Catania	11/03/99	12/04/99	
2	2a	30+190	39+915	9,725	Messina	08/10/98	09/12/98	2.200
	2b	28+130	29+180	1,050	Messina	08/10/98	09/12/98	
3	3a	3+500	8+900	5,400	Messina	03/01/99	11/03/99	2.977
	3b	1+600	2+365	0,765	Messina	03/01/99	11/03/99	
	3c	0+060	0+637	0,577	Messina	03/01/99	11/03/99	
4	4a	46+600	48+600	2,000	Messina	21/02/98	27/02/98	2.200
5	5a	72+800	73+380	0,580	Catania	27/04/98	19/06/98	2.460
	5b	74+000	75+000	1,000	Catania	27/04/98	19/06/98	
	5c	69+700	69+980	0,280	Catania	27/04/98	19/06/98	
6	6a	36+566	41+075	4,509	Catania	15/05/97	06/08/97	2.450
7	7a	13+451	14+048	0,597	Messina	11/03/99	12/04/99	1.927
	7b	12+000	12+930	0,930	Messina	11/03/99	12/04/99	

Tabella 1 – Scenari di configurazione della A18 per alcuni lavori di manutenzione

Per ogni scenario sono stati analizzati tutti i flussi di traffico registrati in un giorno lavorativo nelle fasce orarie 8.00-9.00 (orario di punta) e 11.00-12.00 (orario di secca) ed in un giorno festivo nelle fasce orarie 9.00-10.00 (orario di punta) e 12.00-13.00 (orario di secca), individuando i tempi di percorrenza dei singoli veicoli che hanno usufruito della rete nell'arco temporale selezionato (figura 4).

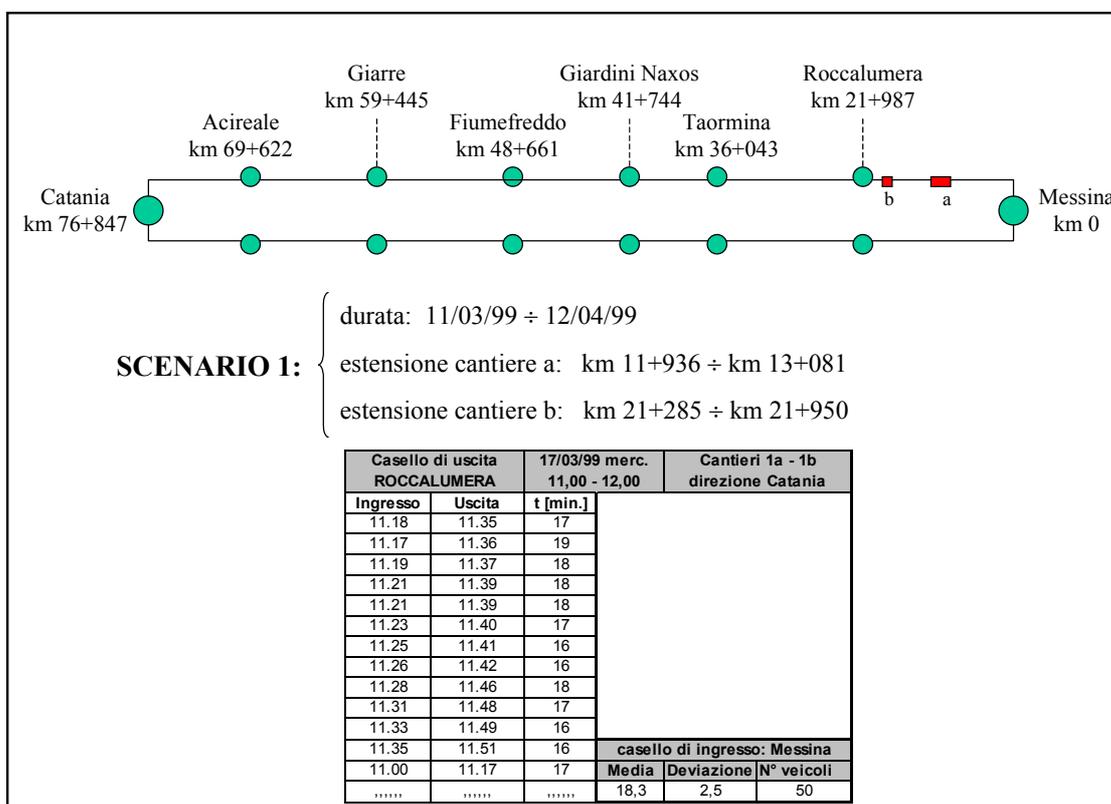


Figura 4 – Raccolta delle informazioni sul traffico

Per lo scenario 1, ad esempio, sono state raccolte, per ogni veicolo transitante in autostrada nelle fasce orarie precedentemente introdotte, le informazioni relative all'orario di ingresso al casello di Messina e all'orario di uscita al casello di Roccalumera, così da valutare il tempo di percorrenza del tratto. L'operazione è stata ripetuta per tutti i veicoli entrati al casello di Messina e usciti nei differenti caselli dell'autostrada, così da calcolare i tempi di percorrenza medi delle singole tratte. I tempi di percorrenza, così calcolati, risentono del perditempo causato dalla presenza dei cantieri stradali e del tempo speso al casello per il pagamento del pedaggio.

Tali elaborazioni, effettuate per ognuno dei sette scenari caratterizzati dalla presenza di cantieri stradali, hanno consentito di individuare per le singole tratte i tempi di percorrenza medi T_2 in una situazione di svolgimento del traffico turbata dalle attività manutentive.

Un'analisi analoga è stata effettuata riferendosi a specifici periodi del biennio in esame in cui non si rilevava, lungo tutta la connessione autostradale, alcun intervento di manutenzione. In tal modo, è stato possibile stimare per le singole tratte il tempo di percorrenza medio T_1 in assenza di interferenze.

Per ogni scenario i (i: 1..7) e per ogni intervallo temporale j (j:1..4) è stato calcolato il ritardo nei tempi di percorrenza ΔT come media dei perditempo, rilevati per la percorrenza di tutte le tratte interessate dal cantiere rispetto alla percorrenza delle stesse tratte nel periodo di riferimento senza cantieri (tabella 2):

$$\Delta T_{ij} = \frac{(T_2 - T_1)_{tratta1} + (T_2 - T_1)_{tratta2} + (T_2 - T_1)_{trattaN}}{N}$$

Scenario lung. cantiere [m]	Intervallo temporale	Δ Tempirico [min]	Scenario lung.	Intervallo temporale	Δ Tempirico [min]
1 2.230	ME 8.00 - 9.00	2,60	5 2.460	ME 8.00 - 9.00	4,20
	ME 11.00 - 12.00	2,80		ME 11.00 - 12.00	4,70
	DO 9.00 - 10.00	2,56		DO 9.00 - 10.00	4,51
	DO 12.00 - 13.00	2,14		DO 12.00 - 13.00	3,98
2 2.200	ME 8.00 - 9.00	2,49	6 2.450	ME 8.00 - 9.00	3,50
	ME 11.00 - 12.00	2,71		ME 11.00 - 12.00	2,10
	DO 9.00 - 10.00	2,77		DO 9.00 - 10.00	2,00
	DO 12.00 - 13.00	2,55		DO 12.00 - 13.00	1,90
3 2.977	ME 8.00 - 9.00	3,14	7 1.927	ME 8.00 - 9.00	1,98
	ME 11.00 - 12.00	3,01		ME 11.00 - 12.00	2,01
	DO 9.00 - 10.00	3,41		DO 9.00 - 10.00	2,26
	DO 12.00 - 13.00	3,24		DO 12.00 - 13.00	1,82
4 2.200	ME 8.00 - 9.00	3,21			
	ME 11.00 - 12.00	2,85			
	DO 9.00 - 10.00	2,95			
	DO 12.00 - 13.00	2,92			

Tabella 2 – Perditempo calcolato per i differenti scenari

Tale operazione è stata possibile anche perché i flussi di traffico, che hanno interessato l'infrastruttura nel periodo di riferimento e in quelli in cui erano presenti i cantieri, sono pressoché analoghi. È, inoltre, possibile assumere che il perditempo così calcolato non risenta del tempo impiegato per il pagamento del pedaggio.

4. CURVA FLUSSO-VELOCITÀ IN PRESENZA DI UN CANTIERE

Il perditempo ΔT , calcolato empiricamente con l'approccio sopra descritto, è stato utilizzato per costruire la relazione tra flussi e velocità di percorrenza allorché una corsia dell'autostrada viene chiusa al traffico per eseguire i lavori di manutenzione.

La relazione velocità-flusso per un'autostrada a due corsie proposta dall'HCM [6] è stata utilizzata per individuare le condizioni di percorrenza dei veicoli in condizioni di completa fruizione della carreggiata (figura 5). L'entità dei volumi di traffico che caratterizzano l'A18 nel periodo di analisi (tabella 3) permette di affermare che le autovetture si muovono sempre in condizioni di flusso libero. In funzione di tale considerazione è stato calcolato il tempo di percorrenza T_s impiegato dagli utenti per spostarsi, in assenza di cantiere, tra i due caselli congiungenti il tratto in cui, nello scenario di progetto, si hanno i lavori di manutenzione.

La curva proposta dall'HCM è stata verificata empiricamente valutando le velocità medie di percorrenza dei veicoli, che hanno percorso la tratta Catania-Messina, in assenza di cantieri. L'estensione della tratta e l'entità del tempo necessario per percorrerla hanno permesso, infatti, di considerare poco influente il tempo perso al casello di uscita, consentendo di trasformare i tempi rilevati in velocità media di percorrenza della tratta.

In funzione di tale considerazione, si è scelto di adottare la velocità di 110 km/h per modellare le condizioni di flusso libero lungo l'infrastruttura in analisi.

Durante la presenza del cantiere, il tempo di percorrenza T_c dello stesso tratto è dato dalla somma del T_s e del perditempo ΔT , precedentemente calcolato.

Riportando tale risultato in termini di velocità di percorrenza sono state ottenute una serie di coppie Q-V che caratterizzano lo svolgimento del traffico in presenza di cantieri con chiusura di una corsia, per volumi compresi tra 300 e 800 veicoli/ora.

Scenario lungh. cantiere [m]	Intervallo temporale	Δ Temporico [min]	Tratta interessata dal cantiere	Volume [veic/ora]	T_s [min] senza cantiere	T_c [min] con cantiere	Velocità [km/h]
1 2.230	ME 8.00 - 9.00	2,60	Messina-Roccalumera 22 km	410	12,00	14,60	90,41
	ME 11.00 - 12.00	2,80		334	12,00	14,80	89,19
	DO 9.00 - 10.00	2,56		384	12,00	14,56	90,66
	DO 12.00 - 13.00	2,14		301	12,00	14,14	93,35
2 2.200	ME 8.00 - 9.00	2,49	Taormina-Roccalumera 14,056 km	506	7,67	10,16	83,01
	ME 11.00 - 12.00	2,71		391	7,67	10,38	81,25
	DO 9.00 - 10.00	2,77		441	7,67	10,44	80,78
	DO 12.00 - 13.00	2,55		340	7,67	10,22	82,52
3 2.977	ME 8.00 - 9.00	3,14	Roccalumera-Messina 22 km	403	12,00	15,14	87,19
	ME 11.00 - 12.00	3,01		328	12,00	15,01	87,94
	DO 9.00 - 10.00	3,41		386	12,00	15,41	85,66
	DO 12.00 - 13.00	3,24		348	12,00	15,24	86,61
4 2.200	ME 8.00 - 9.00	3,21	Fimefreddo-Giardini N. 6,917 km	561	3,77	6,98	59,46
	ME 11.00 - 12.00	2,85		415	3,77	6,62	62,69
	DO 9.00 - 10.00	2,95		508	3,77	6,72	61,76
	DO 12.00 - 13.00	2,92		421	3,77	6,69	62,04
5 2.460	ME 8.00 - 9.00	4,20	Acireale-Catania 7,225 km	804	3,94	8,14	53,26
	ME 11.00 - 12.00	4,70		725	3,94	8,64	50,17
	DO 9.00 - 10.00	4,51		794	3,94	8,45	51,30
	DO 12.00 - 13.00	3,98		731	3,94	7,92	54,73
6 2.450	ME 8.00 - 9.00	3,50	Taormina-Giardini N. 5,701 km	632	3,11	6,61	51,75
	ME 11.00 - 12.00	2,10		431	3,11	5,21	65,65
	DO 9.00 - 10.00	2,00		539	3,11	5,11	66,94
	DO 12.00 - 13.00	1,90		388	3,11	5,01	68,28
7 1.927	ME 8.00 - 9.00	1,98	Roccalumera-Messina 22 km	431	12,00	13,98	94,42
	ME 11.00 - 12.00	2,01		319	12,00	14,01	94,22
	DO 9.00 - 10.00	2,26		378	12,00	14,26	92,57
	DO 12.00 - 13.00	1,82		341	12,00	13,82	95,51

Tabella 3 – Relazione flusso-velocità per i sette scenari analizzati

Le informazioni presenti in letteratura [7] permettono di affermare che la capacità effettiva media di una strada in cui si passa da due corsie ad un'unica corsia è di 1.340 veicoli/ora (tabella 4).

Numero di corsie		Capacità media [veicoli/ora]
Normale	Aperte	
3	1	1.170
2	1	1.340
5	2	2.740
4	2	2.960
3	2	2.980
4	3	4.560

Tabella 4 – Capacità media dei cantieri stradali [4]

Le relazioni proposte dall'HDM suggeriscono le ulteriori informazioni (capacità nominale e velocità alla capacità effettiva) necessarie per il tracciamento della curva per volumi di traffico superiori agli 800 veicoli/ora (figura 1).

L'andamento delle velocità, per volumi di traffico inferiori ai 300 veicoli/ora, è fortemente influenzato dai limiti di velocità e dalla segnaletica predisposta in prossimità del cantiere [7], da ciò consegue che la curva può assumere differenti inclinazioni.

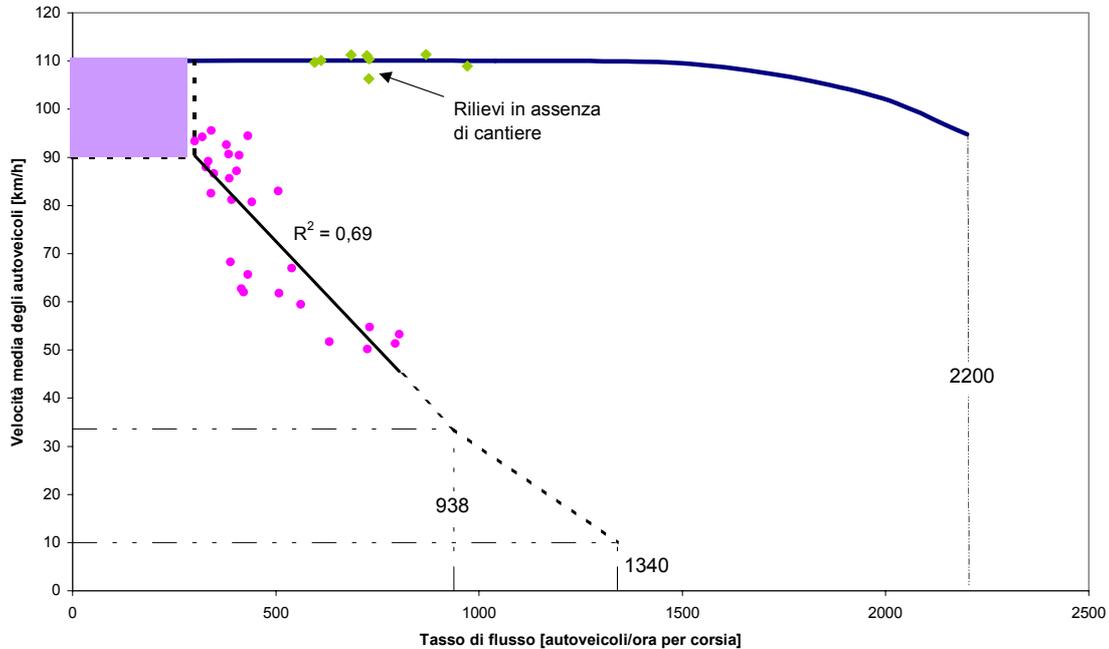


Figura 5 – Relazione flusso-velocità per un'autostrada a due corsie con e senza la chiusura di una corsia

L'implementazione di tale curva all'interno di programmi come l'HDM-4 permette di calcolare, in maniera diretta, la diminuzione di velocità cui è soggetta l'utenza di un'autostrada a due corsie nell'attraversare un cantiere stradale, nonché i conseguenti incrementi dei tempi di viaggio e dei costi operativi dei veicoli.

5. IL COSTO DI UN CANTIERE ASSOCIATO AL PERDITEMPO

Il calcolo del perditempo, in funzione dei volumi di traffico, permette di effettuare un'ulteriore considerazione relativamente all'incidenza di un cantiere stradale sui costi degli utenti.

Riferendo i dati sui perditempo ΔT , ottenuti dalle osservazioni empiriche effettuate sull'A18, ad una lunghezza unitaria di cantiere, ed utilizzando le informazioni fornite dalla definizione della curva flusso-velocità per flussi più grandi di 800 veicoli/ora, è possibile ottenere una relazione tra perditempo per km di cantiere e volume di traffico (figura 6).

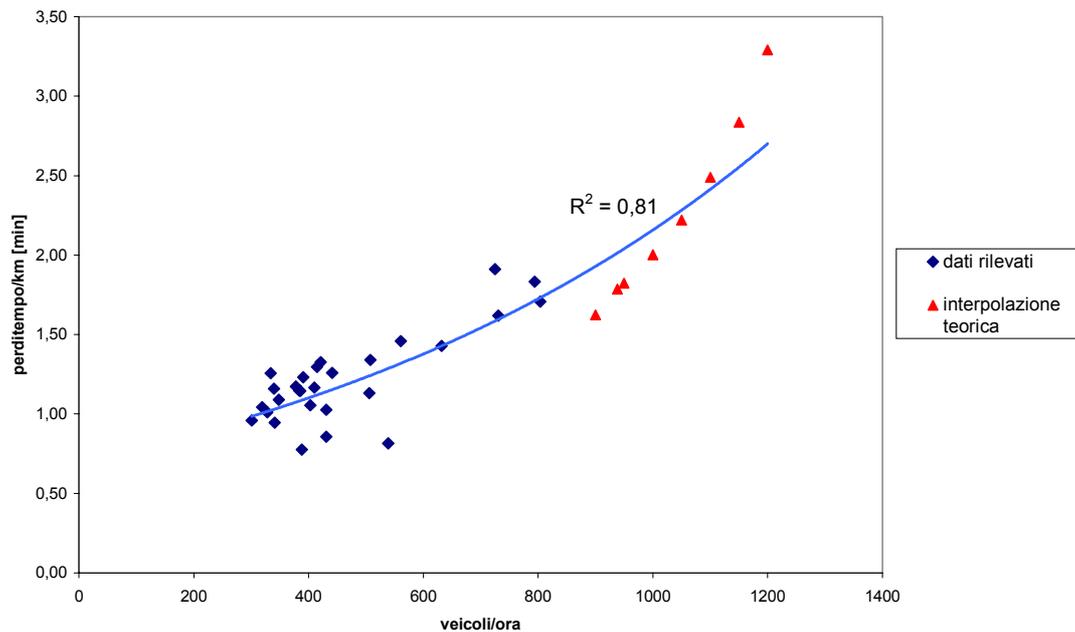


Figura 6 – Perditempo causato dalla chiusura di una corsia per un chilometro

La valutazione economica dei tempi di viaggio può essere utile per una stima dei costi monetari dei ritardi, che è costretto a subire l'utente che si sposta in una determinata rete, permettendo di quantificare, in maniera più evidente, l'entità del problema.

La forte attitudine alla mobilità nella vita contemporanea rende immediatamente percepibile agli utenti l'analogia velocità-tempo, alla quale devono, però, essere aggiunti altri fattori, meno intuitivi, quali il mezzo utilizzato, la lunghezza e la finalità dello spostamento, la collocazione oraria, il comfort (figura 7).

In tale contesto, non sembra opportuno entrare nel merito delle teorie "classiche" e "neoclassiche", che sono alla base delle principali valutazioni sul valore del tempo perso durante il trasporto [9], ma che appaiono eccessivamente teoriche. L'ordine di grandezza del tempo dello spostamento e la sua ripartizione tipologica influenzano la qualità della vita, variabile di complessa valutazione, ma essi, inconfutabilmente, possono essere tradotti anche in termini di produttività, grandezza più facilmente valutabile.

Le evidenti approssimazioni nella valutazione del valore del tempo, che caratterizzano tale approccio, devono essere ritenute accettabili in un contesto più ampio di stima del valore dei ritardi, poiché anche il calcolo dei perditempo è legato a numerose variabili aleatorie.

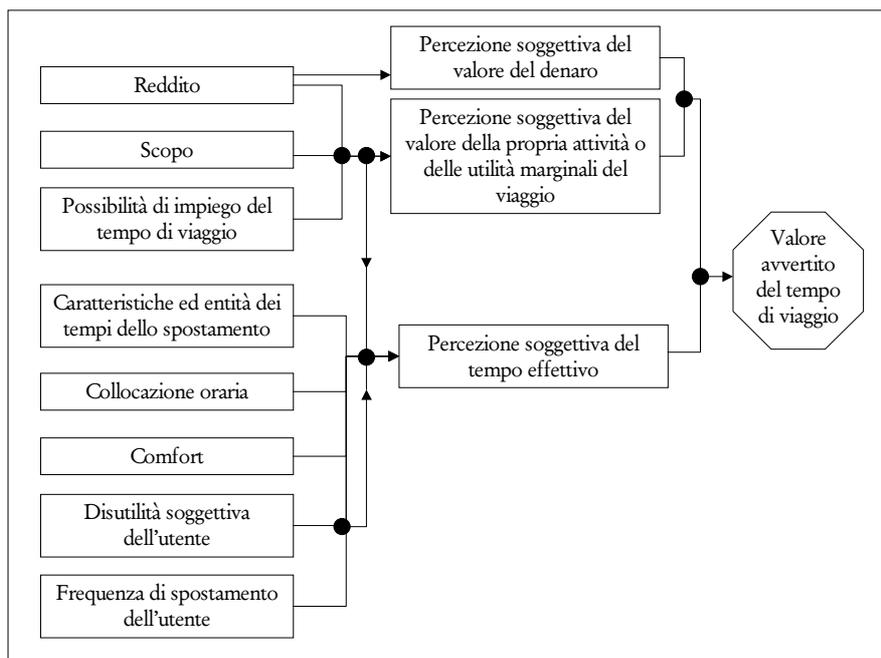


Figura 7 - Percezione del valore del tempo di viaggio [10]

Le teorie basate sulla produttività degli utenti partono dall'ipotesi che se un lavoratore risparmia un'ora di viaggio e l'impiega lavorando produce una quantità addizionale di beni e servizi il cui valore è pari al costo orario del lavoro.

In coerenza con ciò, in funzione delle informazioni fornite dalle stime nazionali (XIII Censimento Generale della popolazione e delle abitazioni – Dati Individuali ISTAT 1991, Popolazione e forza lavoro, anno 1994 – Compendio Statistico ISTAT 1995, I conti degli italiani – ISTAT 1997), è possibile stimare il valore di un'ora durante un giorno lavorativo e durante un giorno festivo (figura 8).

$$j_1 = \frac{\text{Prodotto.Interno.Lordo}}{\text{pop.occupata} \cdot \text{gg.annui.lavorativi} \cdot \text{ore.giornaliere.lavorative}} = \frac{1.476.711 \text{ miliardi}}{20.119.000 \cdot 230 \cdot 8} = 38.891 \text{£}$$

$$j_2 = \frac{\text{consumi.finali.delle.famiglie}}{\text{pop.occupata} \cdot \text{gg.annui} \cdot \text{ore.libere.}} = \frac{1.011.532 \text{ miliardi}}{20.119.000 \cdot 365 \cdot 8} = 17.218 \text{£}$$

$$j_3 = \frac{\text{consumi.finali.delle.famiglie}}{\text{pop.residente} \cdot \text{gg.annui} \cdot \text{ore.libere.}} = \frac{1.011.532 \text{ miliardi}}{56.540.000 \cdot 365 \cdot 8} = 6.127 \text{£}$$

$$\mathbf{J = J_1 p_1 + J_2 p_2 + J_3 p_3}$$

$$J_{\text{lavorativo}} = 38.891 \times 0.25 + 17.218 \times 0.55 + 6.127 \times 0.2 = 21.000 \text{ lire/ora}$$

$$J_{\text{festivo}} = 38.891 \times 0.05 + 17.218 \times 0.10 + 6.127 \times 0.85 = 8.874 \text{ lire/ora}$$

LEGENDA

J è il valore monetario medio del tempo [£/h]
 J₁ è il valore monetario medio del tempo degli spostamenti per lavoro [£/h]
 J₂ è il valore monetario medio del tempo degli spostamenti casa-lavoro [£/h]
 J₃ è il valore monetario medio del tempo degli spostamenti di altro tipo [£/h]
 p_i è la percentuale di spostamenti con una data finalità.

Figura 8 - Calcolo del valore del tempo di viaggio [10]

Utilizzando tali stime per i sette scenari in analisi è possibile ottenere il costo medio indotto sugli utenti, per chilometro di cantiere, a causa dell'incremento dei tempi di percorrenza (figura 9).

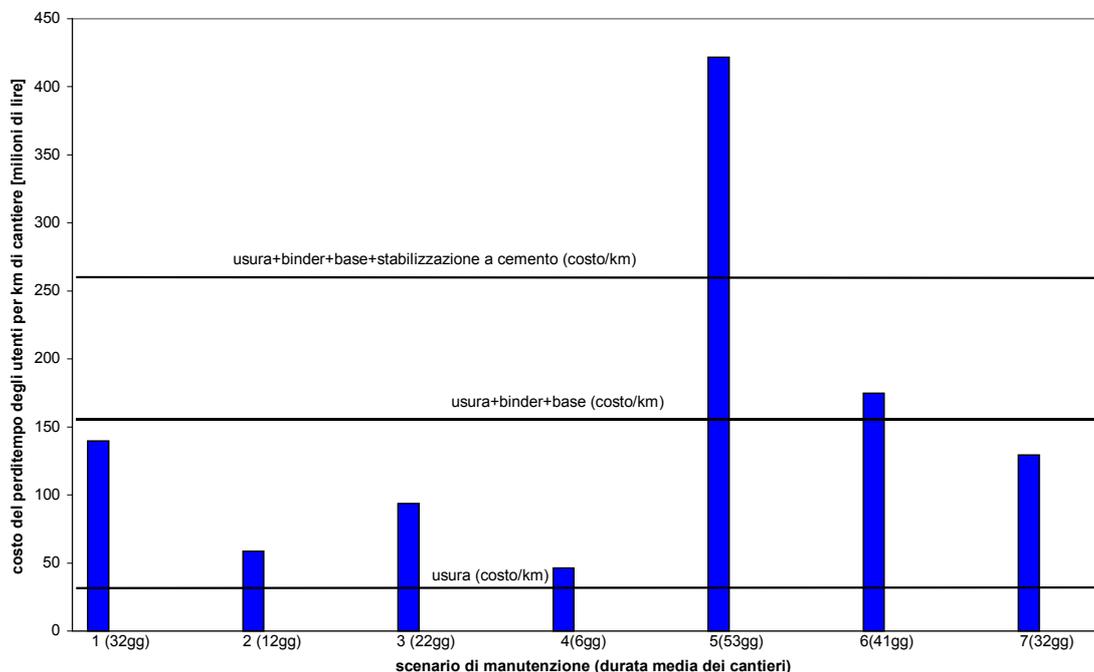


Figura 9 – Costo per gli utenti (perditempo) a causa dei cantieri sulla A18

Il confronto con i costi medi, sopportati dall'ente gestore per la manutenzione di una corsia per differenti tipologie di lavori stradali, rende ancor più evidente l'incidenza del costo indiretto degli utenti sul costo complessivo dell'attività manutentiva ed evidenzia l'importanza di una programmazione efficace delle attività che minimizzi il numero di giorni di chiusura di una corsia stradale.

CONCLUSIONI

La presente ricerca ha definito, mediante un'analisi empirica del fenomeno e sulla base delle considerazioni teoriche che contraddistinguono l'approccio dell'HDM, la curva flusso-velocità che caratterizza un'autostrada a due corsie, allorché una di esse viene chiusa al traffico per effettuare lavori di manutenzione.

L'implementazione di tale curva di flusso all'interno di un PMS permette di calcolare l'incremento dei costi indotti sugli utenti, a causa della presenza del cantiere stradale, in termini di aumento dei tempi di percorrenza.

La stima del valore dei tempi di viaggio ha permesso di valutare in maniera più evidente l'entità del problema, mettendo in risalto come il costo degli utenti, legato ai ritardi nella percorrenza dei tragitti a causa dei cantieri, abbia lo stesso ordine di grandezza dei costi sostenuti dall'ente gestore per realizzare le attività manutentive.

L'ampliamento del campione di studio e l'estensione ad altre configurazioni del cantiere sono fasi indispensabili per analizzare il fenomeno con più efficacia, evidenziando l'influenza della distribuzione dei cantieri in termini di lunghezza, frequenza e durata sulla programmazione dei lavori di manutenzione.

La valutazione dei costi indiretti deve essere, altresì, completata dall'incidenza che la distribuzione spazio-temporale dei cantieri ha sui costi operativi dei veicoli e sul fenomeno dell'incidentalità.

L'utilizzo della curva di flusso determinata nella presente ricerca, in effetti, permette di calcolare la variazione dei costi operativi dei veicoli causata dalla presenza dei cantieri stradali. Le relazioni, implementate all'interno di tutti i sistemi di gestione, per il calcolo dei consumi di carburante, dei consumi di olio lubrificante, dei consumi dei pneumatici, del costo dei pezzi di ricambio sono, infatti, funzione della velocità di percorrenza.

BIBLIOGRAFIA

- [1] C.N.R. – Norme tecniche - Istruzioni sulla pianificazione della manutenzione stradale - B.U. 125/88.
- [2] Cafiso S. and Di Graziano A. - Influence of macrotexture, skid resistance and surface unevenness on driving safety. PIARC, IV International Symposium on Pavement Surface Characteristics of Roads and Airfields - Nantes, France, 2000.
- [3] F. Bella – Gli effetti indotti dai cantieri sotto traffico – Quarry & Construction n°6 Giugno 1999
- [4] World Bank – HDM-4 Highway Development & Management Manuals – World Bank, Washington D.C. 1998
- [5] C.J.Hoban – Economic analysis of road projects with congested traffic – World Bank technical paper, Transport division – World Bank, Washington D.C. 1994
- [6] Transportation Research Board – HCM Highway Capacity Manual – Washington D.C. 2000
- [7] R. Soares, F.T. Najafi – User costs at the work zone – TRB 78th Annual Meeting, Washington D.C. 1999
- [8] J.Miglets et al. – Work zone speed limit procedure – TRB 78th Annual Meeting, Washington D.C. 1999
- [9] L.Florio, M.Tirabella – Il valore del tempo del trasporto nella letteratura tecnica – Trasporti e Trazione 2/94
- [10] L.Florio, M.Tirabella – La variabilità del valore del tempo del trasporto nella valutazione soggettiva dell'utente – Trasporti e Trazione 2/95