



**CRITERI DI ADEGUAMENTO DELLE
SOVRASTRUTTURE STRADALI AMMALORATE
E DI VALUTAZIONE DEI BENEFICI PERDUTI
PER EFFETTO DI VARIAZIONI DI TRAFFICO**

Raffaele Liuzzi

Dipartimento di Vie e Trasporti – Politecnico di Bari
Via Re David 200, 70100 Bari
Tel. +39 080.5963382 Fax +39 080.5245123
E-mail: ingliuzzi@tin.it

Angelo Mele

Dipartimento di Vie e Trasporti – Politecnico di Bari
Via Re David 200, 70100 Bari
Tel. +39 080.5963382 Fax +39 080.5245123
E-mail: ingmele@tin.it

CRITERI DI ADEGUAMENTO DELLE SOVRASTRUTTURE STRADALI AMMALORATE E DI VALUTAZIONE DEI BENEFICI PERDUTI PER EFFETTO DI VARIAZIONI DI TRAFFICO

RAFFAELE LIUZZI Dipartimento di Vie e Trasporti – Politecnico di Bari
ANGELO MELE Dipartimento di Vie e Trasporti – Politecnico di Bari

SOMMARIO

I mutamenti della geografia politica possono comportare notevoli incrementi del traffico su itinerari di grande comunicazione e ridurre la vita fisica efficiente programmata della sovrastruttura stradale.

Lo studio indica i criteri per l'adeguamento delle sovrastrutture e per la valutazione dei benefici perduti e dei costi del rifacimento e dei danni.

ABSTRACT

The changes of the political geography may imply considerable increase of traffic on roads of great communication and reduce the programmed efficiency of the physical life of the road superstructure.

The study points out the criteria for the adaptations of the superstructures and for the evaluation of the lost benefits and of the costs of the reistatement as well as of the damages.

1. PREMESSA

L'ultimo decennio 1990 - 2000 è stato caratterizzato sulle strade della direttrice adriatica italiana da incrementi del traffico sia leggero sia pesante e da ammaloramenti del loro piano viabile, attivatisi in un periodo anche molto breve dalla costruzione della sovrastruttura. Questi problemi hanno indotto gli enti gestori delle infrastrutture viarie a manutenzioni straordinarie, i cui finanziamenti non erano stati previsti a breve termine nei relativi piani di settore. Quello descritto è un esempio, in cui lo scenario internazionale ed i mutamenti della geografia politica possono generare improvvise variazioni del traffico in alcune direttrici nazionali ed indurre processi di accelerazione di ammaloramenti delle pavimentazioni stradali. Per gli enti interessati questo comporta una rapida transizione da una politica di sola manutenzione delle pavimentazioni di tali direttrici ad una di adeguamento delle stesse alle nuove situazioni di traffico.

Nel seguito il caso esposto della direttrice adriatica viene esaminato come conseguente alla chiusura dell'itinerario ex jugoslavo di stessa origine - destinazione negli anni della guerra serbo - bosniaca. Naturalmente altre cause possibili di variazione del traffico vanno ricercate nella libera circolazione di merci con l'avvento del Mercato Unico Europeo "senza frontiere" e nell'incremento dei carichi trasferiti dagli automezzi pesanti alle sovrastrutture stradali, per i quali sono ipotizzabili anche valori molto elevati per i trasporti di containers. Potrebbero pure verificarsi casi, conseguenti a politiche regionali federaliste non coordinate in quadri internazionali più ampi.

Gli enti locali di gestione delle regioni penalizzate dalle precedenti situazioni, potrebbero per le ragioni esposte maturare titolo a finanziamenti di carattere comunitario, dovendo sostenere perdite di benefici e costi di danni per tali situazioni.

Viene esposta di seguito un'analisi adeguata del problema, tenendo conto delle valutazioni economiche conseguenti.

2. L'ANALISI DELLE VARIAZIONI DEL TRAFFICO

Per lo studio specifico proposto è stato assunto il caso della direttrice viaria avente origine - destinazione tra il polo europeo nord - orientale ed il polo balcanico greco - turco. Tale direttrice è geograficamente individuabile attraverso le viabilità adriatiche costiera ex jugoslava e costiera italiana. Possono ritenersi ragionevolmente assumibili Trieste ed Igoumenista o Patrasso, quali nodi terminali del braccio interessato della rete europea.

Come detto, nel periodo 1991 - 1995 durante la guerra serbo - bosniaca nel bacino della ex Jugoslavia, sono stati rilevati notevoli incrementi di traffico lungo la direttrice adriatica italiana, costituita dall'autostrada A14 e dalla strada statale n. 16. Una misura semplice e significativa degli incrementi del traffico sulle infrastrutture viarie italiane adriatiche è stata assunta rappresentabile dai dati risultanti dai censimenti del traffico veicolare leggero e pesante transitante in una sezione caratteristica, costituita dal porto di Brindisi.

Infatti, un'aliquota dei veicoli in transito sulla direttrice adriatica italiana viene imbarcata da tale porto sui collegamenti marittimi per Igoumenista e Patrasso in Grecia.

La capitaneria del Porto di Brindisi ha fornito i dati del traffico veicolare leggero e pesante in partenza ed in arrivo in tutti i mesi degli anni compresi fra il 1991 ed il 1995. I dati sono stati riportati nella tabella n. 1 e nel diagramma a blocchi della figura n. 1

	1991		1992		1993		1994		1995	
	AUTO	TIR	AUTO	TIR	AUTO	TIR	AUTO	TIR	AUTO	TIR
ARRIVI										
gennaio	890	934	1254	1183	975	1715	1571	4163	1215	4647
febbraio	332	996	678	1441	740	2275	812	3718	765	5005
marzo	551	974	807	1440	1181	2640	1299	4200	1259	4866
aprile	1448	1083	1861	1433	2351	2624	2223	4018	2630	4490
maggio	1651	1486	2184	1665	2151	3987	2663	4845	2759	5153
giugno	2706	1790	2876	1746	3316	3587	3507	5712	4193	4670
luglio	6954	2156	7064	1250	9647	2987	9861	4924	9275	4518
agosto	28493	1678	26692	712	48462	2171	40070	3764	37221	2378
settembre	1198	1247	9814	1372	12221	2652	13211	4477	12847	5541
ottobre	2890	1434	2211	1543	3439	4033	2755	4613	2306	4560
novembre	1300	1057	924	1390	1577	4116	1292	4971	1190	4158
dicembre	936	1076	972	1432	1454	4232	1177	4347	962	3268
TOTALE	59249	15911	57337	16607	87515	36993	80441	53752	76632	53254
PARTENZE										
gennaio	722	921	1196	1108	1113	1559	1639	3658	1097	4017
febbraio	390	975	1204	1351	1142	2076	1180	3673	956	4856
marzo	1089	1068	1231	1258	1678	2560	2138	4382	1532	4962
aprile	1763	1176	3233	1466	3208	2660	3015	4360	3589	4642
maggio	2435	1688	3123	1536	4283	3962	3584	4307	3858	4535
giugno	5519	1832	5685	1762	6052	3636	7560	6131	7596	4904
luglio	2380	2195	19652	1760	25397	4039	28728	5057	32678	4592
agosto	19314	1228	21277	931	21318	2423	20693	3254	20397	2609
settembre	4615	1624	3936	1306	4852	3281	4666	3907	4699	3133
ottobre	1786	1451	1784	1415	2247	4123	2172	4452	1944	3811
novembre	1456	1254	8861	1392	1557	3925	1316	4472	1294	3839
dicembre	2806	1105	2200	1452	2825	4353	2253	4528	1761	3538
TOTALE	64975	16517	73184	16736	75672	38597	78944	52181	81401	49438

Tabella 1 – Dati di traffico veicolare leggero e pesante in transito presso il porto marittimo di Brindisi, forniti dalla Capitaneria di porto

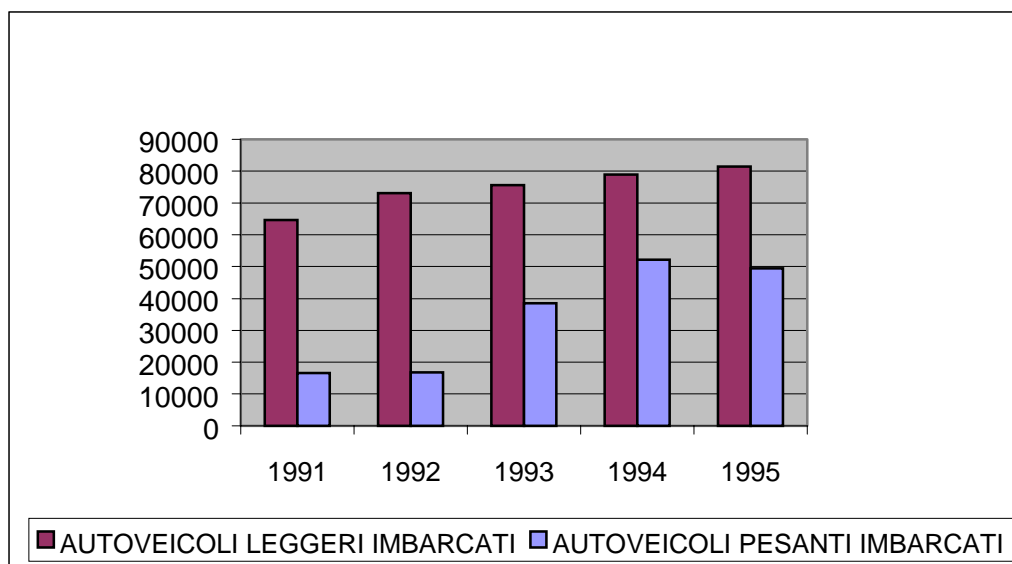


Fig. 1- Diagramma a blocchi del traffico veicolare imbarcato nel porto di Brindisi negli anni 1991 - 1995

Gli incrementi del traffico nel periodo citato sono per il traffico leggero del 25% e per il traffico pesante del 215%. L'aliquota di variazione del traffico leggero può essere assunta come variazione dovuta al normale sviluppo veicolare nel periodo di tempo interessato, mentre quella ulteriore (215 - 25) % di circa il 190% del traffico pesante, molto rilevante, è attribuibile sicuramente agli effetti della improvvisa chiusura al traffico degli itinerari adriatici ex jugoslavi a seguito della guerra serbo - bosniaca degli anni 1992 - 1994. È evidente che il traffico, che percorreva tale infrastruttura viaria ex jugoslava, si è spostato in quegli anni sulle infrastrutture viarie di stessa origine - destinazione, costituite dalla autostrada A 14 e dalla strada statale n. 16.

Queste valutazioni sono possibili anche, conoscendo le curve prezzo - portata di ciascuno degli itinerari in questione e della direttrice e la curva di domanda della direttrice stessa. Nel caso specifico sono riportate nella figura n. 2, assumendo alcune ipotesi sulle caratteristiche delle singole infrastrutture, le curve prezzo - portata tipo dell'itinerario adriatico costiero ex jugoslavo (1), della strada statale adriatica n. 16 (2) e dell'autostrada A 14 (3) e la curva di domanda tipo della direttrice, che collega il polo europeo nord-orientale con il polo balcanico greco - turco.

Sono anche state costruite le curve prezzo - portata delle direttrici "prima della guerra", costituita da (1) + (2) + (3) e "durante la guerra", costituita da (2) + (3). Il traffico totale Q_{tot} "prima della guerra" si ripartisce tra Q_1 sull'itinerario jugoslavo, Q_2 sull'itinerario della strada statale n. 16 e Q_3 sull'autostrada A 14; il traffico Q'_{tot} "durante la guerra" si ripartisce tra Q'_2 sull'itinerario della strada statale n. 16 e Q'_3 sull'autostrada A 14. L'aliquota $Q'_2 - Q_2$ rappresenta l'incremento di traffico per effetto della guerra serbo - bosniaca sulla strada statale n. 16 e l'aliquota $Q'_3 - Q_3$ rappresenta l'incremento di traffico per effetto della guerra serbo - bosniaca sull'autostrada A 14.

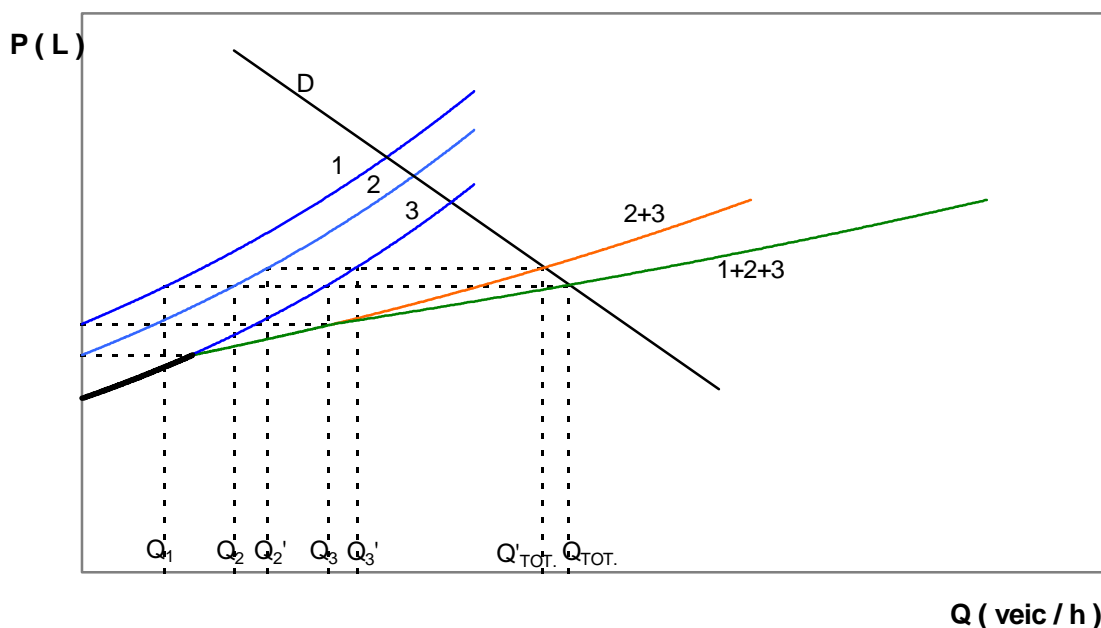


Fig. 2 – Curve di domanda e di offerta delle infrastrutture viarie della direttrice adriatica

- (1) = itinerario adriatico costiero ex jugoslavo
- (2) = strada statale adriatica n. 16
- (3) = autostrada A14
- (1) + (2) + (3) = direttrice adriatica " prima della guerra "
- (2) + (3) = direttrice adriatica " durante la guerra "

3. LE VERIFICHE DELLE SOVRASTRUTTURE ALLE NUOVE SITUAZIONI

Gli incrementi di traffico stimati pongono la necessità di verificare la sovrastruttura alle nuove situazioni.

Come noto, la sovrastruttura prima della sua costruzione viene progettata, determinando gli spessori degli strati, che la compongono. Lo spessore totale della sovrastruttura e, quindi, dei singoli strati è funzione di alcune variabili, quali le caratteristiche del sottofondo, espresse comunemente dall'indice di portanza dello stesso, il carico statico esercitato dalla ruota singola del veicolo e l'intensità giornaliera del traffico, abitualmente considerata per classi del numero medio giornaliero di veicoli presenti in transito. Quando intervengono variazioni significative del traffico in transito per variazione dei carichi massimi applicati o della intensità del traffico, deve essere effettuata una verifica di dimensionamento della sovrastruttura. Le caratteristiche di portanza del sottofondo e gli spessori in sito degli strati della sovrastruttura sono determinabili con indagini geognostiche e geotecniche, consistenti in pozzetti - saggio e prove in sito o in laboratorio. I valori dei nuovi carichi applicati, la nuova frequenza delle ripetizioni dei carichi ed il valore della portanza del sottofondo, consentono di effettuare le verifiche alle nuove situazioni. Esse conducono a conoscere, se le sovrastrutture interessate sono rispetto alle nuove situazioni "sovradimensionate" con

riferimento alla soglia strettamente necessaria del margine di sicurezza e quindi, lo spessore sia ancora adeguato, o "sottodimensionate" nel caso lo spessore non sia più adeguato e perciò già si presentano o si possono presentare a breve collassi o ammaloramenti del piano viabile.

In tutti e due i casi vi è comunque una riduzione della durata della vita fisica efficiente della sovrastruttura, per effetto della variazione di situazione del traffico. Inoltre, si attivano perdite di benefici stimati in fase di progettazione.

4. LA STIMA DELLA RIDUZIONE DELLA VITA UTILE RESIDUA

Quando intervengono variazioni dei parametri significativi del traffico, la vita fisica efficiente residua della sovrastruttura, stimata in fase di progettazione, subisce anch'essa una riduzione. La valutazione di tale riduzione può effettuarsi, utilizzando la nota sperimentazione A.A.S.H.O., in base alla quale è definibile un indice di qualità di servizio, che permette di stabilire la durata della vita della sovrastruttura.

Per entrare nei particolari delle relazioni intercorrenti tra traffico, sovrastruttura e vita efficiente della strada è opportuno richiamare brevemente la meccanica dell'invecchiamento delle sovrastrutture flessibili per effetto del traffico, ed in particolare i modi di rottura del piano viabile.

Nel caso delle sovrastrutture flessibili sono da considerare due effetti principali :

La flessione degli strati rispetto al piano di sottofondo,

La dislocazione relativa dei materiali costituenti ciascuno strato

Il primo fenomeno è quello più noto e si estrinseca con l'apparizione superficiale di ormaie a grande curvatura secondo un piano normale dell'asse strada, seguito successivamente da una fitta rete di fessurazioni senza direzioni preferenziali.

La flessione degli strati rispetto al piano di sottofondo è causata da un insufficiente spessore del complesso della sovrastruttura in relazione alla portanza del sottofondo stesso, ed al traffico che interessa la strada.

Il secondo fenomeno ha richiamato l'attenzione solo di recente ed è da mettersi in diretta relazione alla ripetizione di carichi molto elevata nell'unità di tempo, dovuta ai sempre crescenti incrementi di traffico, ed alla circolazione su strada di veicoli industriali con carichi totali e per asse sempre crescenti.

Il fenomeno si estrinseca con variazioni di spessori degli strati, conseguenti ad uno spostamento relativo dei granuli dalle zone più sollecitate a quelle meno, secondo sezioni trasversali all'asse strada. Questo fenomeno si manifesta man mano che si labilizzano i legami interparticellari dello strato (attrito e coesione) e diminuisce vistosamente l'attrito per arrotondamento delle particelle granulari. Questi due effetti coesistono per gli strati lito – bituminosi, mentre ovviamente per quelli litici si ha soltanto l'effetto d'arrotondamento.

Quando sono quasi distrutti i legami interparticellari d'uno strato, questo entra in collasso, e le sollecitazioni del traffico sono così sopportate da una sovrastruttura via via più parzializzata, ed il fenomeno si esalta rapidamente.

L'effetto superficiale del collasso dei vari strati si risente in superficie con la creazione di ormaie a curvatura tanto più pronunciata quanto più prossimo è lo strato in collasso al piano viabile. Successivamente si ha la formazione di fessurazioni nella zona di trazione dell'ormaia, con andamento preferenziale longitudinale all'asse strada con formazioni d'un reticolo nel suo complesso a maglie rettangolari (pelle di coccodrillo).

Nel senso sopra specificato, il deterioramento del piano viabile raramente è immediato; esso è generalmente graduale per effetto del traffico, a parità degli altri fattori (clima, terreno di sottofondo, caratteristiche generali della strada).

Il piano viabile si deteriora quindi gradatamente. Come è noto, una delle maggiori difficoltà di calcolo delle sovrastrutture stradali, è quella di definire adeguatamente lo stadio ultimo cui arriverà la sovrastruttura dopo aver sopportato il traffico per cui essa è prevista.

Di fatto questa evoluzione può assumere aspetti molto vari, secondo la natura della strada ed il primo “ punto di minor resistenza ” che innescherà il degradarsi della sovrastruttura.

In tutti i casi questa evoluzione si tradurrà da una parte in una diminuzione del confort degli utenti e dall'altra parte in un aumento delle spese di manutenzione.

Una inchiesta approfondita effettuata in U. S. A. in occasione delle ormai famose prove A.A.S.H.O. ha mostrato che è possibile effettuare una misura di confort per strade di qualità differenti, e che questa misura si può considerare mediamente indipendente dall'utente, mentre è funzione principale del solo stato della strada. E' stato così definito “ l'indice di qualità del servizio ” (Presente Serviceability Index – P.S.I.) mediante la seguente scala:

4 – 5	ottimo
3 – 4	buono
2 – 3	medio
1 – 2	mediocre
0 – 1	pessimo

L'interesse di tale indice è che esso è correlato, come noto, a caratteristiche misurabili della strada; caratteristiche importanti nei riguardi sia del confort sia della manutenzione.

Il P.S.I. costituisce un approccio interessante al problema della misurazione della qualità di una strada ed è alla base degli attuali metodi di calcolo delle sovrastrutture stradali. In particolare l'osservazione continua del P.S.I. permette di seguire l'evoluzione della strada e tramite l'adozione del limite inferiore di servizio di stabilire la durata della vita della sovrastruttura. Allo stato attuale tale limite inferiore si assume generalmente pari a 1,5 ed è corrispondente al collasso quasi generale degli strati della sovrastruttura.

Nel caso della sperimentazione A.A.S.H.O. si è trovato che la legge di evoluzione dell'indice di qualità del servizio in funzione del traffico ha la forma:

$$P = 4,2 - 2,7 \left(\frac{W}{\rho} \right)^\beta$$

dove: ρ e β sono parametri che dipendono dal carico per asse e dalla sovrastruttura stradale, mentre W è il numero di passaggi dell'asse considerato.

In particolare:

$$\rho = \frac{850000 (FS + 1)^{9,36}}{(L1 + 1)^{4,79}}$$

$$\beta = 0,4 + \frac{0,081 (L_1 + 1)^{3,23}}{(FS + 1)^{5,19}}$$

In queste formule il fattore P varia dal suo valore iniziale 4,2 al suo valore finale 1,5. Il traffico è caratterizzato dal numero W di assi di peso dato, che sono passati sulla strada al momento in cui è raggiunto il valore P di P.S.I. L_1 è il peso degli assi in migliaia di libbre (kips), 1000 libbre = 453 Kg.

Il fattore di struttura FS caratterizza la natura e lo spessore degli strati che costituiscono la sovrastruttura della strada, e può essere espresso dalla seguente relazione:

$$FS = 0,44 D_1 + 0,14 D_2 + 0,11 D_3$$

D_1 = spessore degli strati superficiali (tappeto e collegamento),

D_2 = spessore dello strato di base,

D_3 = spessore dello strato di fondazione.

Nel grafico di figura n. 6 sono riportate le curve delle esperienze A.A.S.H.O. rappresentative della relazione tra il numero di ripetizioni del carico di un asse singolo da 10 t ed il fattore di struttura espresso in cm. Valori caratteristici dell'indice di qualità di servizio sono:

4,2 relativo ad uno stato integro della pavimentazione ;

2,5 relativo ad uno stato della pavimentazione caratterizzato dalla comparsa di sensibili ondulazioni e dal delinarsi delle prime ormaie in qualche punto singolare;

1,5 relativo ad uno stato di deformazione e fessurazione diffusa della superficie di rotolamento della pavimentazione.

E' il caso di osservare che le curve si riferiscono ai risultati delle sperimentazioni A.A.S.H.O. e sono state ricavate con tecniche statistiche globali, senza esplicitare l'influenza di numerose variabili. Le curve sono state costruite per i valori :

$$P_0 = 4,2$$

P_1 relativo al momento, in cui si ottiene un incremento di traffico sulla sovrastruttura

$P_2 = 1,5$ relativo al momento terminale di vita della sovrastruttura stessa

Pertanto, l'utilizzazione di queste relazioni ai fini delle previsioni deve tener conto delle condizioni originarie della sperimentazione, come in particolare, delle caratteristiche fisico - meccaniche del terreno di fondazione della sovrastruttura stradale.

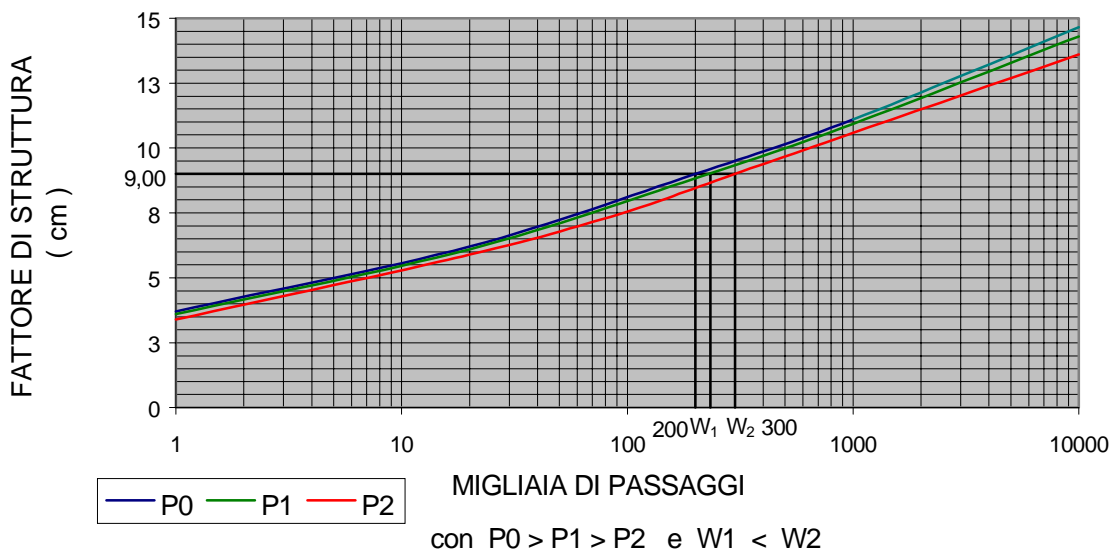


Fig. 3 – Relazione tra il numero di ripetizioni di carico (10 tonn.) ed il fattore di struttura per diversi valori di indice di qualità di servizio

Al riguardo, è opportuno far presente che tutte le esperienze della prova A. A. S. H. O., sono riferite ad un terreno di sottofondo con C.B.R. 2,5%.

Pertanto, sarà necessario nel calcolo del fattore di struttura tener conto di coefficienti di correzione adeguati in relazione ai diversi valori del C.B.R. dei terreni di sottofondo.

Assegnato il fattore di struttura FS ed il valore P dell'indice di qualità di servizio P.S.I. si determina dal grafico di figura n. 6, il valore W della ripetizione del carico dell'asse singolo da 10 tonn. Noto poi il valore del traffico medio annuo con riferimento ai soli carichi pesanti (asse 10 tonn) equivalenti TMA, può prevedersi l'orizzonte temporale della sovrastruttura stradale (t) :

$$t = \frac{W}{TMA}$$

Nel caso specifico il fattore di struttura FS è assegnato, perché riferito alla sovrastruttura; l'indice di qualità di servizio, invece, come detto, va assunto in generale $P_0 = 4,2$ al momento iniziale della vita della sovrastruttura, P_1 al momento della variazione del traffico e $P_2 = 1,5$ al momento terminale programmato della vita fisica efficiente della sovrastruttura.

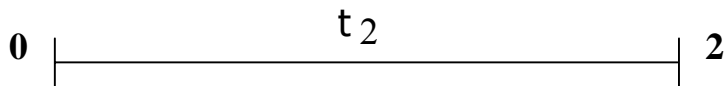
Poiché, come detto, W è in generale il numero di ripetizioni del carico dell'asse singolo al momento, in cui è raggiunto il valore p di P.S.I., si assume W_1 il numero dei passaggi al momento in cui si raggiunge P_1 e W_2 il numero di passaggi al momento in cui si raggiunge P_2 . Risulterà $P_1 > P_2$ e $W_1 < W_2$, come indicato nelle curve di figura n. 6.

Inoltre, il traffico medio annuo, passerà dal valore $(TMA)_1$ stimato al momento iniziale al valore $(TMA)_2$, stimato al momento della variazione del traffico.

Lo schema di fig. 7 individua quattro momenti fondamentali nella vita fisica efficiente di una sovrastruttura:

- 0 = momento iniziale, in cui l'indice di qualità di servizio è $P_0 = 4,2$
- 1 = momento di variazione del traffico, in cui l'indice di qualità di servizio è P_1 ed il numero di passaggi è W_1
- 2 = momento terminale, in cui l'indice di qualità di servizio è $P_2 = 1,5$ ed il numero di passaggi è W_2 : caso senza variazioni del traffico pari a $(TMA)_1$
- 2' = momento terminale, in cui l'indice di qualità di servizio è $P_2 = 1,5$ ed il numero di passaggi è W_2 : caso con variazione del traffico nel momento 1 da $(TMA)_1$ a $(TMA)_2$

Situazione senza variazione del traffico



Situazione con variazione del traffico

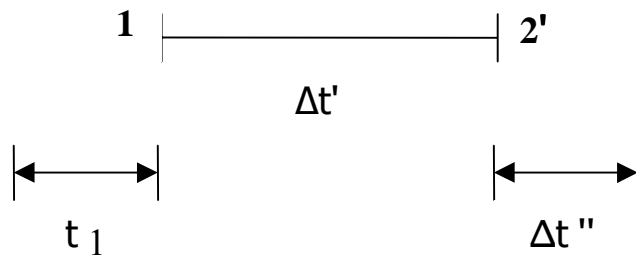


Fig. 4 - Schema esplicativo delle aliquote componenti la vita fisica efficiente di una sovrastruttura

Il tempo t_2 , che definisce la vita fisica efficiente della sovrastruttura stimata al momento iniziale, è riferito all'indice di qualità di servizio P_2 ed al valore W_2 della ripetizione del carico dell'asse singolo ed è pari a:

$$t_2 = \frac{W_2}{(TMA)_1}$$

Il tempo t_1 , che definisce la vita fisica efficiente della sovrastruttura dal momento iniziale al momento di variazione del traffico, è riferito all'indice di qualità di servizio P_1 ed al valore W_1 della ripetizione del carico dell'asse singolo ed è pari a:

$$t_1 = \frac{W_1}{(TMA)_1}$$

Il tempo $\Delta t'$, che definisce la vita fisica efficiente della sovrastruttura dal momento di variazione del traffico, caratterizzato da una qualità di servizio della sovrastruttura P_1 e da un valore W_1 della ripetizione del carico dell'asse singolo, al termine della sua vita

fisica efficiente effettiva, caratterizzato dalla qualità di servizio P_2 ed dal valore W_2 della ripetizione del carico dell'asse singolo, è pari a:

$$\Delta t' = \frac{W_2 - W_1}{(TMA)_2}$$

Il tempo $\Delta t''$ perso, come aliquota della vita della sovrastruttura per effetto dell'incremento del traffico da $(TMA)_1$ a $(TMA)_2$ è pari a:

$$\begin{aligned} \Delta t'' &= t_2 - t_1 - \Delta t' = \frac{W_2}{(TMA)_1} - \frac{W_1}{(TMA)_1} - \frac{W_2 - W_1}{(TMA)_2} = \\ &= (W_2 - W_1) \left[\frac{1}{(TMA)_1} - \frac{1}{(TMA)_2} \right] \end{aligned}$$

Risulterà anche:

$$\Delta t' + \Delta t'' = \frac{W_2 - W_1}{(TMA)_1}$$

5. LE SOVRASTRUTTURE SOVRADIMENSIONATE

Le sovrastrutture sovradimensionate rispetto alla soglia strettamente necessaria del margine di sicurezza, come detto nel paragrafo 3, non presentano rischi di collasso, e perciò non presentano necessità di adeguamento ai nuovi carichi applicati o alla nuova intensità del traffico in transito.

Per queste sovrastrutture si pongono perciò solo problemi di dover valutare la riduzione del tempo di vita fisica efficiente conseguente alla nuova situazione di traffico più gravosa per la sovrastruttura.

6. LE SOVRASTRUTTURE SOTTODIMENSIONATE

Le sovrastrutture sottodimensionate rispetto alla soglia strettamente necessaria del margine di sicurezza, presentano, invece, rischi di collasso e perciò necessitano di adeguamento ai nuovi carichi applicati o alla nuova intensità del traffico in transito.

Le tecniche di adeguamento di tali sovrastrutture devono risolvere il problema di incrementare la capacità portante della sovrastruttura stessa, non aumentando possibilmente lo spessore, per non variare la quota del piano viabile e non coinvolgere il rifacimento di opere di completamento, di presidio e di sicurezza della strada.

L'adeguamento della sovrastruttura sottodimensionata può essere effettuato in generale con:

- l'integrazione dello spessore della sovrastruttura, per tenere in conto l'incremento del traffico medio giornaliero oppure quello del carico statico;

- il rinforzo della sovrastruttura con l'inserimento di una rete metallica a doppia torsione, per assorbire gli sforzi di trazione, tipo Road - Mesh.

Il tipo di adeguamento di cui al punto a) consente di dimensionare lo spessore integrativo che, nell'ipotesi di sovrastruttura esistente in sede integra, può essere ottenuto con un ulteriore strato di conglomerato bituminoso sul piano viabile. Questo comporterà però aumento della quota altimetrica dello stesso piano viabile e perciò necessiterà di adeguamenti delle opere di completamento, di presidio e di sicurezza della strada.

Anche il tipo di adeguamento di cui al punto b) integra la capacità portante della sovrastruttura. La rete metallica può essere posta sia all'interno degli strati lito - bituminosi sia al di sotto degli stessi sull'estradosso dello strato di fondazione. Tale tipo di intervento può ridurre considerevolmente lo spessore dell'intera sovrastruttura stradale.

7. LE VALUTAZIONI DEI BENEFICI PERDUTI E DEI COSTI DEL RIFACIMENTO E DEI DANNI

Gli incrementi del traffico, indotti su alcuni itinerari per effetto di politiche regionali influenti su altri itinerari della direttrice avente stessa origine - destinazione , possono generare, come detto, ammaloramenti e collassi delle loro sovrastrutture. Tali sovrastrutture possono risultare sottodimensionate o sovradimensionate rispettivamente senza necessità o con necessità di adeguamento della capacità portante. Comunque per loro si avrà sempre una riduzione del tempo residuo di vita fisica efficiente rispetto a quello programmato in fase di progettazione.

E' evidente che gli avvenimenti citati comportano, peraltro, interruzione totale o parziale della sede stradale per l'integrazione della capacità portante della sovrastruttura e perciò perdita di una aliquota dei benefici di esercizio. L'entità di tali benefici perduti è funzione del tempo stesso di interruzione dell'esercizio della sede stradale. A questa diminuzione di benefici di esercizio andranno aggiunti poi i benefici perduti, stimati in fase di progettazione, per effetto della riduzione del tempo residuo di vita fisica efficiente della sovrastruttura.

La stima di questi ultimi benefici perduti per unità di tempo può essere effettuata, facendo riferimento alle curve prezzo-portata dell'infrastruttura relative agli indici di qualità di servizio della sovrastruttura P_0 e P_1 :

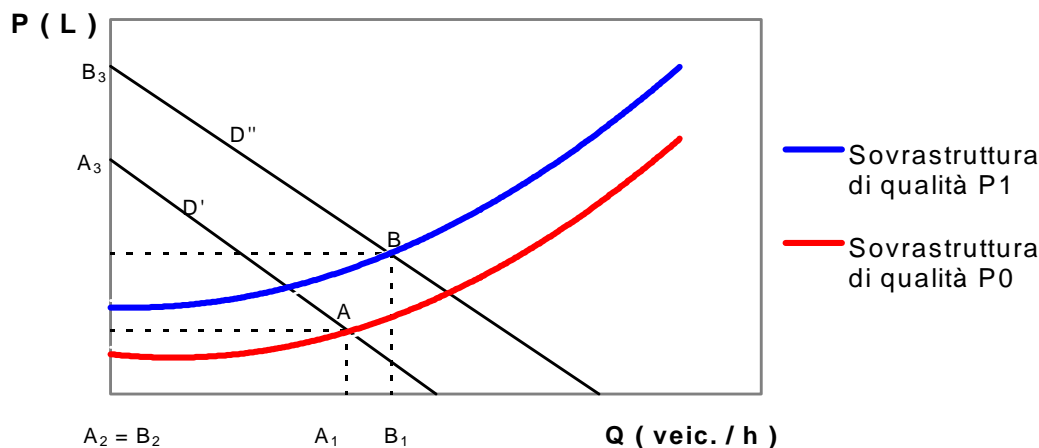


Fig. 5 – Valutazione dei benefici perduti

La curva di domanda D' si riferisce al momento iniziale e la curva di domanda D'' si riferisce alla situazione modificata di traffico. Per valutare l'entità dei benefici perduti è necessario fare riferimento al calcolo economico del progetto dell'opera, nel quale possono essere conteggiati sia i benefici degli utenti sia i benefici dei non utenti, singoli oppure associati. Questo con riferimento alla funzione di utilità, di cui si è voluto tenere conto, in congruenza con gli obiettivi nazionali più generali. Generalmente vengono valutati in fase di progettazione dell'opera i benefici totali, quanto gli utenti ricavano dai viaggi. Con riferimento alla situazione a regime, conseguente sia l'effetto di variazione della curva di domanda sia l'effetto di variazione della curva di offerta l'equilibrio transita dal punto A al punto B ed i benefici totali per unità di tempo dal valore B' al valore B'' dove:

$$B' = \text{area } A A_1 A_2 A_3$$

$$B'' = \text{area } B B_1 B_2 B_3$$

Computati i benefici totali unitari, si possono valutare:

$B' \cdot t_2$ = benefici totali stimati all'epoca della progettazione per l'intera vita fisica efficiente della sovrastruttura;

$B' \cdot t_1$ = benefici totali stimati all'epoca della progettazione per la vita fisica efficiente della sovrastruttura dall'inizio al momento di mutamento della domanda;

$B'' \cdot \Delta t'$ = benefici totali stimati per il periodo di vita della sovrastruttura con qualità ridotta P_1 ;

L'entità dei benefici perduti è pari a:

$$\text{Benefici perduti} = B' \cdot t_2 - B' \cdot t_1 - B'' \cdot \Delta t'$$

Inoltre, il cattivo stato della pavimentazione potrà causare costi per danni a cose ed a persone e costi di costruzione per l'integrazione della capacità portante della sovrastruttura.

Queste valutazioni tutte monetizzabili possono rappresentare titolo per le regioni, cui appartengono le infrastrutture viarie aventi pavimentazioni ammalorate per le cause espone in precedenza, a richiedere finanziamenti comunitari internazionali, per poter provvedere all'adeguamento delle stesse.

8. CONCLUSIONI

Gli Enti, che costruiscono e gestiscono le infrastrutture viarie, programmano in sede di progettazione la durata della vita fisica efficiente della sovrastruttura stradale, assumendo il limite inferiore dell'indice di servizio, che essa può assumere nel tempo . Può avvenire però che il traffico stimato inizialmente sull'infrastruttura subisca improvvisi notevoli incrementi per situazioni particolari, quale ad esempio quella verificatasi sull'itinerario adriatico italiano, appartenente alla direttrice viaria adriatica di stessa origine - destinazione tra il polo europeo nord - orientale ed il polo balcanico greco - turco, per effetto della chiusura dell'itinerario ex jugoslavo negli anni della guerra serbo - bosniaca. Queste situazioni comportano che il valore minimo di soglia dell'indice venga raggiunto anticipatamente e perciò la vita programmata dell'infrastruttura si riduca.

Gli effetti da valutare di queste situazioni hanno carattere sia tecnico sia economico. Infatti, devono stimarsi gli adeguamenti necessari per le sovrastrutture in relazione ai margini di sicurezza assunti in fase di dimensionamento. Inoltre, possono valutarsi i benefici perduti rispetto a quelli inizialmente stimati ed i costi per il rifacimento e per i danni. L'economia delle infrastrutture viarie consente di valutare l'entità dei benefici perduti come esposto. Quando le situazioni hanno carattere di mutamento della geografia politica internazionale, come nell'esempio in questione, le valutazioni economiche possono rappresentare titolo per le nazioni danneggiate a richiedere finanziamenti comunitari specifici.

9. BIBLIOGRAFIA

- AASHTO – “**Guide for Design of Pavement Structures**” – American Association of State Highway and Transportation Officials
- F. Nuti - "**L'analisi costi-benefici**" - Il Mulino Editore 1987
- G.M. Catalano S. Lombardo - "**L'analisi costi-benefici nelle opere pubbliche**" - Dario Flaccovio Editore 1995