



VERIFICA SPERIMENTALE DELL’AFFIDABILITA’ NEL CALCOLO DELLE PAVIMENTAZIONI FLESSIBILI

Carmela Garofalo

Dipartimento di Pianificazione Territoriale - Università degli Studi della Calabria
Via P. Bucci, cubo 46b,87036 Rende(CS)
Tel:+39 0984.496786-Fax:+39 0984.838931
E-mail: dipiter@ unical.it

Rodolfo Grossi

Dipartimento di Pianificazione Territoriale - Università degli Studi della Calabria
Via P. Bucci, cubo 46b,87036 Rende(CS)
Tel:+39 0984.496786-Fax:+39 0984.838931
E-mail: dipiter@ unical.it

VERIFICA SPERIMENTALE DELL’AFFIDABILITA’ NEL CALCOLO DELLE PAVIMENTAZIONI FLESSIBILI

PROF. RODOLFO GROSSI- Dipartimento di Pianificazione Territoriale –Università degli Studi della Calabria

DOTT.CARMELA GAROFALO - Dipartimento di Pianificazione Territoriale –Università degli Studi della Calabria

SOMMARIO

Lo studio eseguito riguarda la verifica delle leggi probabilistiche, che definiscono l’affidabilità delle pavimentazioni nel metodo “AASHTO GUIDE”, attraverso l’analisi sperimentale di un tronco dell’autostrada A3 ricadente nella provincia di Cosenza.

L’affidabilità è la probabilità che le applicazioni di carico a cui una pavimentazione può essere sottoposta per raggiungere un prefissato grado di ammaloramento (PSI) non siano superate dalle applicazioni di carico reali, ed è funzione sia delle prestazioni della pavimentazione (rappresentate dallo structural number, spessori degli strati, caratteristiche dei materiali impiegati, ...) che dei valori di traffico che la sovrastruttura dovrà sopportare durante il periodo di vita utile per il quale è progettata.

Attualmente in Italia, le pavimentazioni stradali sono progettate utilizzando i risultati ottenuti da prove condotte negli Stati Uniti (AASHTO GUIDE), dove la realtà delle infrastrutture viarie deve ritenersi diversa da quella italiana. Nasce da questa considerazione la necessità di controllare l’applicabilità, alla realtà stradale italiana, delle leggi probabilistiche che definiscono l’affidabilità delle sovrastrutture stradali americane.

Tale lavoro è stato reso possibile grazie ai lavori di ammodernamento dell’ autostrada SA-RC, durante i quali sono stati rilevati gli spessori degli strati della pavimentazione smantellata tra lo tra lo svincolo di Cosenza Nord e quello di Tarsia, e ai dati di traffico forniti dalla società ANAS di Cosenza.

Dalla sperimentazione condotta sono emersi risultati interessanti sia per la progettazione che per la pianificazione degli interventi di manutenzione.

ABSTRACT

The research carried out deals with the testing of the probabilistic laws that define the reliability of surfacing in the “AASHTO GUIDE” method, by means of the experimental analysis of a stretch of the A3 motorway found in the province of Cosenza. Reliability is the probability that the load applications to which surfacing can be subjected to reach a pre –established degree of wear (PSI) are not exceeded by the application of real loads, and is a function both of the efficiency of the surfacing (represented by the structural number, thickness of the layers and the characteristics of the material used) and of the amount of traffic that the superstructure has to cope with during the useful lifespan planned for it.

Currently in Italy, road surfacing is planned using results obtained from testing carried out in the United States (AASHTO GUIDE), where the highway infrastructure is very different from the Italian. Given this fact, checking the applicability of the probabilistic laws that define the reliability of American highway superstructures against Italian roads would seem necessary.

This work was made possible thanks to modernisation work on the Salerno-Reggio Calabria motorway, during which thickness was measured from the various

surfacing layers removed between the Cosenza North and Tarsia exits and to traffic data supplied by ANAS of Cosenza. Interesting results emerged from the experiments carried out, both for the projecting and the planning of maintenance work.

1. INTRODUZIONE

La validità del metodo empirico “*AASHTO GUIDE FOR DESIGN OF PAVEMENT STRUCTURES*“, scaturisce fundamentalmente dalla molteplicità dei fattori che sono considerati nella progettazione delle pavimentazioni stradali, tra cui: l’affidabilità, la capacità strutturale (“structural number”) ed il comportamento viscoelastico del terreno (modulo resiliente).In particolare l’affidabilità, che è di introduzione relativamente recente, scaturisce dall’elaborazione di dati rilevati su strade americane. Nel contempo l’A.A.S.H.T.O., suggerisce di continuare a ricercare sperimentalmente tali valori, osservando le variazioni delle previsioni di traffico e le variazioni delle prestazioni reali delle pavimentazioni in esame. Seguendo tale suggerimento si è voluto effettuare una prima verifica delle grandezze utilizzate per garantire una prefissata affidabilità, attraverso dei dati locali.

Il lavoro di ricerca svolto è articolato in due fasi:

- Nella prima fase si è analizzata l’intera procedura adottata nell’AASHTO GUIDE per calcolare l’affidabilità ;
- Nella seconda fase è stato eseguito, attraverso dati sperimentali, il controllo dell’applicabilità alla realtà stradale italiana delle leggi probabilistiche utilizzate per valutare l’affidabilità delle sovrastrutture stradali americane.

Tale studio sperimentale è stato reso possibile grazie ai dati di traffico dall’ ANAS di Cosenza, ed ai lavori di ammodernamento della A3 (SA- RC) , durante i quali sono stati rilevati gli spessori degli strati smantellati, tra lo svincolo di Cosenza Nord e quello di Tarsia.

2. AFFIDABILITA’ NEL CALCOLO DELLE PAVIMENTAZIONI STRADALI SECONDO L’AASHTO GUIDE.

L’affidabilità è definita come :

“la probabilità con cui le applicazioni di carico, a cui la pavimentazione è sottoposta per raggiungere un prefissato grado di ammaloramento (o PSI), previste in fase di progetto, non siano superate dalle applicazioni di carico reali”.[1]

Da tale definizione si evince che l’affidabilità delle sovrastrutture stradali dipende sia dalle variazioni delle applicazioni di carico a cui la pavimentazione è sottoposta durante la vita utile, che dalle prestazioni della stessa, rispetto a quelle previste.

Nella valutazione dell’affidabilità è quindi necessario considerare le variazioni che si possono avere nelle previsioni delle prestazioni e del traffico :

1.variazione di previsione del traffico durante la fase di progettazione:

$$\log W_T - \log N_T = \delta (N_T, W_T) ;$$

2.variazione di previsione della prestazione della pavimentazione:

$$\log N_t - \log W_t = \delta (W_t, N_t) ;$$

Dove :

W_T = valore del traffico previsto,

W_t = valore delle prestazioni previste ;

N_t = valore delle prestazioni reali ;

N_T = valore del traffico reale.

Nella figura 1 è possibile individuare i valori poc' anzi definiti.

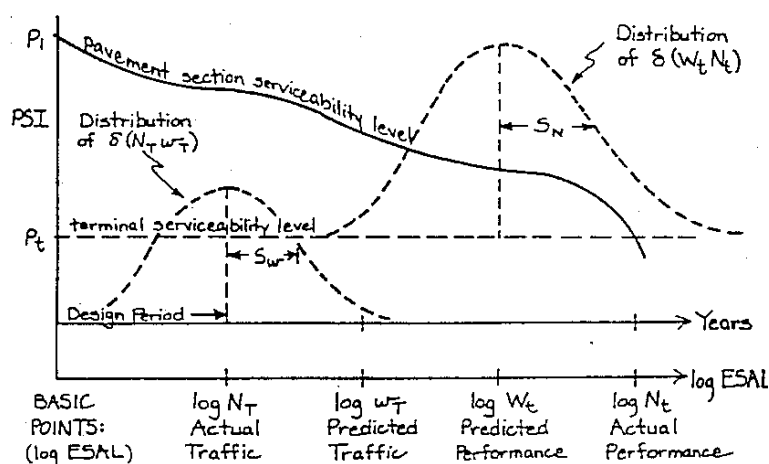


Figura 1-Distribuzione di probabilità delle prestazioni e del traffico AASHTO GUIDE
[1]

Nel primo grafico, sull'estremo sinistro, è rappresentata la distribuzione di probabilità del traffico previsto caratterizzata da una deviazione standard S_w .

A destra dello stesso grafico è riportata la distribuzione di probabilità delle prestazioni della pavimentazione caratterizzata da una deviazione standard S_N . In modo particolare soffermiamo la nostra attenzione sul fattore di affidabilità:

$$\log Fr = \log W_t - \log W_T$$

Utilizzando correttamente tale fattore si cercherà di garantire che le prestazioni reali siano maggiori del traffico reale con una predefinita probabilità (affidabilità).

Tale concetto può essere chiarito attraverso la seguente riflessione.

Nell'equazione di progetto (1) per il calcolo delle pavimentazioni flessibili il termine che dipende dall'affidabilità è il prodotto $Z_r \cdot S_o$. Applicando tale equazione, si determinano le prestazioni previste per una pavimentazione caratterizzata da un valore predefinito di affidabilità X% e da uno spessore Y determinato. Se lo stesso valore di affidabilità deve essere utilizzato per il calcolo di una nuova pavimentazione che sopporti un numero di prestazioni maggiori, sarà necessario aumentare lo spessore di tale struttura. Il termine $Z_r \cdot S_o$ quindi funziona come un riduttore delle prestazioni se non varia il valore del traffico, altrimenti funziona come un moltiplicatore del traffico fermo restando i valori delle prestazioni.

Durante la fase di progettazione, non è possibile stabilire i valori delle variazioni da cui dipende il fattore di affidabilità, di conseguenza l'AASHTO GUIDE ha assunto la seguente ipotesi:

“Il valore della prestazione prevista ($\log W_t$) coincide con il valore della prestazione reale della pavimentazione”, cioè la variabile δ definita dalla relazione:

$$\delta = \delta(N_T, W_T) + \log Fr + \delta(W_t, N_t)$$

si assume pari a:

$$\delta = 0$$

A tal proposito si analizza la figura 2 nella quale è rappresentata la distribuzione di probabilità della variazione generale delle prestazioni δ_o .

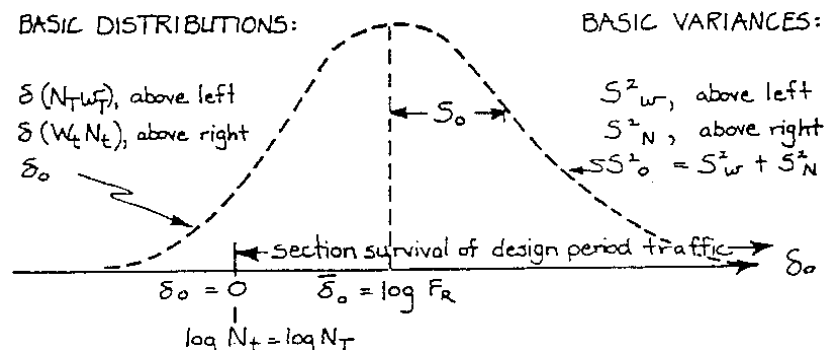


Figura 2- Distribuzione di probabilità dell'affidabilità delle pavimentazioni AASHTO GUIDE [1]

L'area a destra del punto $\delta_o = 0$, al di sotto della curva normale, indica che per un valore di $\delta_o > 0$ si ha la probabilità che le prestazioni reali della pavimentazione siano maggiori del traffico reale, per cui la pavimentazione considerata sarà capace di sopportare il traffico per l'intero periodo per cui è stata progettata.

Tale probabilità permette di definire il livello di affidabilità R attraverso la seguente relazione:

$$R (\%) = 100 \times \text{PROB} [N_t \geq N_T]$$

$$R (\%) = 100 \times \text{PROB} [\delta_o > 0].$$

L'area posta a sinistra del punto $\delta_o = 0$, al di sotto della curva normale, rappresenta la probabilità che la prestazione reale della pavimentazione sia minore del traffico reale. Tale condizione è espressa dalla relazione:

$$\text{Prob}(\delta_o < 0) = \text{Prob}(N_t < N_T);$$

In termini di affidabilità, l'espressione diventa:

$$(100-R)(\%) = 100 \times \text{Prob}(\delta_o < 0).$$

Il metodo su menzionato completa la trattazione dell'affidabilità fornendo una serie di tabelle in cui riporta, per i diversi livelli di affidabilità R prefissati, i valori delle variabili Z_r e S_o .

3.DETERMINAZIONE SPERIMENTALE DELLA DISTRIBUZIONE DELLA VARIABILE "PRESTAZIONE" DELLA PAVIMENTAZIONE DI UN TRONCO DELL'A3 RICADENTE NELLA PROVINCIA DI COSENZA

Analizzando l'equazione di progetto (1), per il calcolo delle pavimentazioni flessibili:

$$\log W_{18} = Z_r \times S_o + 9.36 \times \log(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log \left[\frac{\Delta PSI}{(4.2 - 1.5)} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \times \log(M_r) - 8.07 \cdot (1)$$

è evidente che i fattori che influenzano le prestazioni di una pavimentazione sono :

- structural number;
- spessori degli strati ;
- caratteristiche dei materiali utilizzati,
- coefficienti strutturali degli strati,
- coefficienti di drenaggio ;
- indice di idoneità o PSI;
- Modulo resiliente.

Queste prestazioni sono ridotte numericamente attraverso il termine $Z_r \cdot S_o$ a secondo dell'affidabilità che si vuole ottenere.

In questa prima fase della ricerca, tra i vari fattori su menzionati, è stato possibile eseguire solo il rilievo degli spessori degli strati della pavimentazione smantellata durante i lavori di ammodernamento dell'A3, tra lo svincolo di Cosenza Nord e quello di Tarsia, mentre il valore del PSI, del modulo resiliente e degli altri dati necessari, sono stati assunti in base ai valori forniti dal metodo stesso. Sulla base di questi valori, sono state individuate le distribuzioni di probabilità dello structural number (SN), e delle prestazioni previste della pavimentazione ($\log W_{18}$) le quali sono state confrontate con le leggi probabilistiche dell'AASHTO GUIDE.

3.1 Calcolo dello structural number

La capacità strutturale della pavimentazione (o structural number) [4] si calcola attraverso la seguente espressione:

$$SN = a_1 \cdot S_1 + a_2 \cdot S_2 \cdot m_2 + a_3 \cdot S_3 \cdot m_3.$$

dove:

- S_1 = spessore del manto superficiale ;
- S_2 = spessore dello strato di base;
- S_3 = spessore dello strato di fondazione;
- a_1 = coefficiente strutturale del manto superficiale;
- a_2 = coefficiente strutturale dello strato di base;
- a_3 = coefficiente strutturale dello strato di fondazione;
- m_2 = coefficiente di drenaggio dello strato di base;
- m_3 = coefficiente di drenaggio dello strato di fondazione.

Per ciò che concerne i coefficienti strutturali degli strati e i coefficienti di drenaggio, sono stati assunti, sulla base dei dati forniti dall'AASHTO, i seguenti valori:

strato	"ai"
usura	0.44
collegamento	0.42
Base	0.14
Fondazione	0.13

Tab.1 Coefficienti strutturali [1]

Per ciò che concerne i coefficienti di drenaggio, è stato assunto un valore medio pari a uno. Ricordiamo che nelle pavimentazioni italiane lo spessore superficiale si suddivide in due strati:

- S'1 = strato di usura
- S1 = strato di collegamento.

Nella tabella 2 sono riportati i valori dei rilievi eseguiti, con il corrispettivo calcolo dello structural number.

S3	a3	S2	a2	S1	a1	S'1	a'1	SN	SN(cm)
35	0,1235	16	0,133	10	0,42	4	0,44	12,4105	4,88602
35	0,1235	15	0,133	11	0,42	4	0,44	12,6975	4,99902
35	0,1235	15,5	0,133	10	0,42	3,5	0,44	12,124	4,77323
35	0,1235	14,5	0,133	10,5	0,42	3	0,44	11,981	4,71693
35	0,1235	15	0,133	11	0,42	3,5	0,44	12,4775	4,9124
35	0,1235	14,5	0,133	10,5	0,42	4	0,44	12,421	4,89016
35	0,1235	14	0,133	11	0,42	4	0,44	12,5645	4,94665
35	0,1235	14	0,133	11,5	0,42	3,5	0,44	12,5545	4,94272
35	0,1235	15	0,133	11	0,42	4	0,44	12,6975	4,99902
35	0,1235	13	0,133	10,5	0,42	4,5	0,44	12,4415	4,89823
35	0,1235	14,5	0,133	11	0,42	4,5	0,44	12,851	5,05945
35	0,1235	14	0,133	11,5	0,42	3,5	0,44	12,5545	4,94272
35	0,1235	13	0,133	11,5	0,42	4	0,44	12,6415	4,97697
35	0,1235	13,5	0,133	11	0,42	4,5	0,44	12,718	5,00709
35	0,1235	14	0,133	11	0,42	4	0,44	12,5645	4,94665
35	0,1235	14,5	0,133	10,5	0,42	4,5	0,44	12,641	4,97677
35	0,1235	15	0,133	10	0,42	4	0,44	12,2775	4,83366
35	0,1235	15,5	0,133	10,5	0,42	3,5	0,44	12,334	4,85591
35	0,1235	16	0,133	10	0,42	4	0,44	12,4105	4,88602
35	0,1235	15	0,133	10,5	0,42	3,5	0,44	12,2675	4,82972
35	0,1235	16	0,133	10,5	0,42	3,5	0,44	12,4005	4,88209
35	0,1235	16	0,133	11,5	0,42	3,5	0,44	12,8305	5,044
35	0,1235	15	0,133	10,5	0,42	4,5	0,44	12,7075	5,00295
35	0,1235	15,5	0,133	10	0,42	4,5	0,44	12,564	4,94646
35	0,1235	16	0,133	10	0,42	3	0,44	11,9705	4,7128
35	0,1235	15	0,133	10,5	0,42	3,5	0,44	12,2675	4,82972
35	0,1235	15	0,133	11	0,42	4	0,44	12,6975	4,99902
35	0,1235	17	0,133	10,5	0,42	3,5	0,44	12,5335	4,93445
35	0,1235	16	0,133	11	0,42	4	0,44	12,8305	5,05138
35	0,1235	16	0,133	10,5	0,42	3,5	0,44	12,4005	4,88209
35	0,1235	15,5	0,133	10,5	0,42	3,5	0,44	12,334	4,85591
35	0,1235	15	0,133	10,5	0,42	4,5	0,44	12,6975	5,003
35	0,1235	16	0,133	10,5	0,42	4	0,44	12,6305	4,9687
35	0,1235	15	0,133	10	0,42	4	0,44	12,2775	4,83366

Tab.2 –Determinazione dello structural number

Calcolato il valore dello structural number per le 34 sezioni in cui è stato eseguito il rilievo, è stato possibile individuarne la distribuzione di frequenza.

SN (cm)	frequenze
4.70-4.80	3
4.80-4.85	4
4.85-4.90	8
4.90-4.95	7
4.95-5.00	6
5.00-5.05	4
5.05-5.10	2

Tabella 3-frequenze dello structural number

Distribuzione di probabilità dello " STRUCTURAL NUMBER"

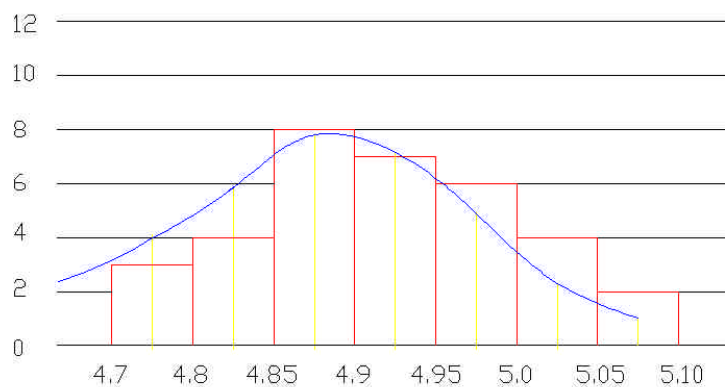


Figura 3-legge di distribuzione dello structural number

3.2 Calcolo delle prestazioni della pavimentazione

Per applicare l'equazione fondamentale (1), è stato necessario fissare i valori dei parametri che non sono stati valutati sperimentalmente, così come riportato in tabella 4:

R (%)	PSIiniz.	PSIfin.	CBR	Mr (psi)
95	4.5	2.5	5	7500

Tabella 4

sezione di rilievo	log W18	W18
1	6,9298	8506482,3
2	6,9246	8404270,1
3	6,857	7193661,5
4	6,8203	6610738,8
5	6,947	8850748,5
6	6,9327	8565249,1
7	6,9688	9307842
8	6,9663	9552306,3
9	7,0021	10047083
10	6,9359	8626805,4
11	7,04	10967812
12	6,9663	9552306,3
13	6,988	9729936,4
14	7,0071	10163657
15	6,9688	9307627,6
16	6,988	9726352,4
17	6,8964	7876984,7
18	6,9107	8141979,4
19	6,93	8512360,4
20	6,8938	7830869,7
21	6,9276	8463811,8
22	7,03	10726302
23	7,004	10098340
24	6,9687	9304863,4
25	6,8175	6569767,5
26	6,8938	7830689,4
27	7,0015	10035754
28	6,961	9142184,9
29	7,035	10842015
30	6,9275	8463500
31	6,9107	8141604,5
32	7,0043	10990038
33	6,9846	9652726,5
34	6,8963	7876614,8

Tabella 5-Prestazioni della pavimentazione

Noto i valori di $\log W_{18}$, è stato possibile ricavare la distribuzione di tali valori,

classi	frequenze
6.5-7.5	3
7.5-8.5	9
8.5-9.5	11
9.5-10.5	8
10.5-11.5	3

Tabella 6- Frequenze delle “prestazioni”

ed approssimare i dati sperimentali con una gaussiana:

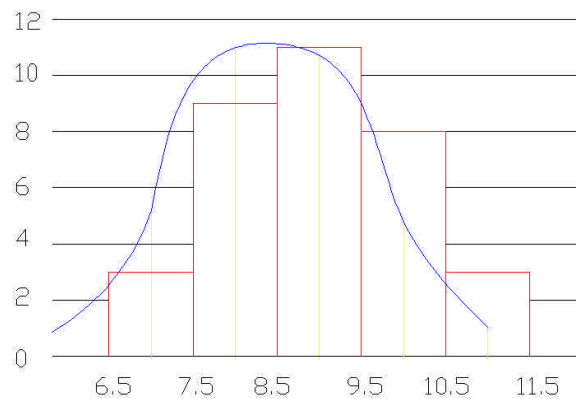


Figura 4-Legge di probabilità delle “prestazioni”

4.AFFIDABILITA' DEI DATI DI TRAFFICO [5]

Per studiare le leggi di probabilità dei dati di traffico, bisognerebbe avere a disposizione una banca dati per conoscere i valori del traffico giornaliero annuale medio per un N numero di anni. Attualmente la conoscenza dei dati a disposizione è relativa al periodo ottobre 1998/1999, per cui non è stato possibile individuare le leggi di probabilità del traffico, però grazie alla procedura di calcolo proposta da Wiley D. Cunagin e Perry M.Kent. [5] è stato determinato ugualmente il valore del termine S_w^2 , che ricordiamo è legato al fattore di affidabilità attraverso le seguenti relazioni:

$$S_o^2 = S_w^2 + S_N^2$$

$$F_R = 10^{-Z_R * S_o}$$

La previsione del traffico per la vita utile delle sovrastrutture stradali, è espressa dalla seguente relazione:

$$w_T = 365 * AADT / 2 * (2 + GF * T) * PCT * A * D * LF * E_{18} \quad (2)$$

dove :

w_T = numero di assi da 18-kip per il periodo di vita utile (n anni);

AADT = traffico giornaliero annuale medio;

T = numero anni del periodo di progetto;

GF = fattore di crescita del traffico;

PCT = % di traffico pesante in 24 ore;

A = fattore di conversione assi;

D = fattore di distribuzione direzionale;

LF = fattore di corsia;

E₁₈ = fattore di equivalenza in assi da 18-kip.

Nel periodo di progetto, per tenere conto che il traffico giornaliero medio è una variabile tempo-dipendente, si considera un fattore di crescita GF_{AADT}, per cui l'equazione (2), diventa:

$$w_T = 365 * T * (AADT_0 / 2) * (2 + GF_{AADT} * T) * PCT * EF * LF * D \quad [5]$$

dove AADT₀ è il valore del traffico giornaliero medio riferito all'inizio del periodo di progetto.

Tenendo conto del fattore di crescita del traffico GF, il traffico giornaliero medio totale è dato dalla seguente espressione :

$$AADT(\text{totale}) = (0.5) * (AADT_0 + AADT_0 * (1 + GF_{AADT} * T)) * T ;$$

mentre il valore medio è :

$$AADT(\text{medio}) = (AADT_0 / 2) * (2 + GF_{AADT} * T).$$

Supponendo uno sviluppo lineare dei fattori di crescita l'equazione (2) assume la seguente espressione:

$$w_T = 365 * T * (AADT_0 / 2) * (2 + GF_{AADT} * T) * (PCT_0 / 2) * (2 + GF_{PCT} * T) * (EF_0 / 2) * (2 + GF_{EF} * T) * (LF_0 / 2) * (2 + GF_{LF} * T) * D. \quad (3)$$

A tal proposito si definisce la seguente funzione:

- $f_1 = \log_{10}(w_T)$
- $f_2 = \log_{10}(365/16)$
- $f_3 = \log_{10}(T)$
- $f_4 = \log_{10}(AADT_0)$
- $f_5 = \log_{10}(PCT_0)$
- $f_6 = \log_{10}(EF_0)$
- $f_7 = \log_{10}(LF_0)$
- $f_8 = \log_{10}(2 + GF_{AADT} * T)$
- $f_9 = \log_{10}(2 + GF_{PCT} * T)$
- $f_{10} = \log_{10}(2 + GF_{EF} * T)$
- $f_{11} = \log_{10}(2 + GF_{LF} * T)$
- $f_{12} = \log_{10}(D)$

L'equazione (3) può essere scritta nella forma più semplice:

$$f_1 = \log_{10}(w_T) = f_2 + f_3 + f_4 + f_5 + f_6 + f_7 + f_8 + f_9 + f_{10} + f_{11} + f_{12} \quad (4)$$

Per poter valutare il contributo dei dati di traffico all'affidabilità (S_w^2), è necessario considerare la media e la varianza per ogni termine che compare nell'equazione (4), ovvero:

$$\bullet \quad E(\log_{10}(w_T)) = E(f_2 + f_3 + f_4 + f_5 + f_6 + f_7 + f_8 + f_9 + f_{10} + f_{11} + f_{12}) = \\ = \log_{10}(22.813) + \log_{10}(T) + \log_{10}(AADT_0) * (0.2172) * CV^2(AADT_0) + \log_{10}(PCT_0)$$

.....
dove con $CV^2(Y) = \frac{SD^2(Y)}{Y^2}$;

mentre l'espressione della varianza diventa:

$$\text{Var}(\log_{10}(w_T)) = \text{Var}(f_2) + \text{Var}(f_3) + \dots + \text{Var}(f_{12}).$$

$$\text{Var}(\log_{10}(Wt = (0.4343)^2 * [CV^2(AADT_0) + CV^2(PCT_0) + CV^2(EF_0) + CV^2(LF_0)])) \quad (5)$$

Tale equazione rappresenta il termine S_w^2 .

4.1 Applicazione dei dati di traffico

Per quanto riguarda i dati di traffico (tab.6) l'ANAS disponeva per il periodo compreso tra ottobre 1998 e ottobre 1999, di tre stazioni di rilevamento di cui una manuale e due di tipo automatico.

La stazione di rilevamento manuale, localizzata in corrispondenza dello svincolo di Cosenza Sud, ha fornito i dati relativi a particolari giorni dell'anno distinti per senso di marcia.

Le stazioni in automatico sono state posizionate in località Corsopato (Km 258+800) per rilevare il traffico in direzione Sud, e in corrispondenza della galleria Laria (Campotenesse Km 159+900) per il rilievo del traffico in direzione Nord.

Nelle tabelle 7 e 8 sono riportati una parte dei dati di traffico registrati.

Codice Strada	Data	Progressiva (km)	Direzione	Ora 0	Ora 1	Ora 2	Ora 3	Ora 4	Ora 5	Ora 6	Ora 17	Ora 18	Ora 19	Ora 20	Ora 21	Ora 22	Ora 23
A3	21/01/1999	278,800	S	112	94	82	60	74	58	71	421	415	454	388	316	225	156
A3	22/01/1999	278,800	S	127	115	86	76	86	53	77	514	506	498	426	363	238	178
A3	23/01/1999	278,800	S	131	97	69	63	59	62	79	394	343	307	261	226	195	140
A3	24/01/1999	278,800	S	110	121	94	54	55	41	34	344	358	372	317	235	190	134
A3	25/01/1999	278,800	S	109	66	57	72	98	50	75	400	403	281	228	222	165	104
A3	26/01/1999	278,800	S	105	68	58	56	40	40	54	433	437	0	0	0	0	0
A3	27/01/1999	278,800	S	0	0	0	0	0	0	0	405	441	0	0	0	0	0
A3	28/01/1999	278,800	S	0	0	0	0	0	0	0	529	438	0	0	0	0	0
A3	29/01/1999	278,800	S	0	0	0	0	0	0	0	414	325	0	0	0	0	0
A3	30/01/1999	278,800	S	0	0	0	0	0	0	0	226	52	0	0	0	0	0
A3	31/01/1999	278,800	S	0	0	0	0	0	0	0	179	170	0	0	0	0	0

Tabella 7: Dati di traffico registrati da stazione di rilevamento manuale(veic/h)

Data	Ora 0	Ora 1	Ora 2	Ora 3	Ora 4	Ora 5	Ora 6	Ora 7	Ora 8	Ora 9	Ora 10	Ora 11	Ora 12	Ora 13	Ora 14	Ora 15
29-ott-98	169	121	117	81	79	84	81	321	346	451	557	509	392	360	437	485
30-ott-98	176	125	140	83	73	93	117	327	368	502	544	512	456	440	483	516
31-ott-98	227	144	98	108	107	108	120	329	420	411	488	466	442	438	503	481
1-nov-98	176	129	118	99	73	59	61	159	131	216	276	357	372	380	302	297
02-nov-98	162	113	70	79	86	69	70	251	285	406	464	431	401	376	410	390
03-nov-98	148	102	89	73	79	64	86	291	343	446	516	493	429	381	425	441
04-nov-98	140	128	120	79	76	65	86	296	307	482	560	523	443	373	406	454
05-nov-98	162	124	124	64	87	81	114	315	337	472	548	521	412	361	384	433
06-nov-98	176	137	137	86	104	75	92	312	334	473	519	521	414	387	441	488
07-nov-98	145	119	87	73	54	64	80	24	247	262	327	372	350	392	360	430
08-nov-98	112	99	79	71	51	48	53	145	122	132	161	291	278	295	268	1465
09-nov-98	169	115	92	106	115	99	84	247	360	481	532	531	475	426	376	413
10-nov-98	148	110	100	72	84	69	70	289	366	516	465	522	391	356	394	418
11-nov-98	143	121	101	69	67	71	90	313	373	454	529	550	402	340	366	397
12-nov-98	124	117	74	55	69	63	79	260	407	436	578	519	362	365	391	327
13-nov-98	163	116	97	67	76	60	60	267	412	449	486	520	447	373	447	511
14-nov-98	136	101	121	109	77	53	72	179	264	240	309	357	313	377	350	376
15-nov-98	79	76	61	48	35	35	261	322	477	106	134	215	244	273	263	277
16-nov-98	140	82	77	88	102	72	57	226	395	478	500	541	588	428	458	806
17-nov-98	158	120	74	41	49	58	70	255	462	459	545	541	388	379	349	451
18-nov-98	166	107	93	67	70	57	93	213	385	461	553	522	380	334	402	423
19-nov-98	143	106	83	74	86	52	65	236	407	459	522	478	362	345	371	319
20-nov-98	133	124	46	38	57	62	61	212	490	394	419	410	330	369	483	475
21-nov-98	151	141	92	71	68	63	71	109	500	550	343	367	330	450	32	189
22-nov-98	29	30	11	5	23	7	20	313	1000	47	77	111	121	163	171	161

Tabella 8- Traffico registrato da stazioni automatiche

Tra i termini che compaiono nell'equazione (5), non è stato possibile analizzare sperimentalmente il coefficiente di variazione del fattore di corsia (CV(LF), per mancanza dei dati relativi, mentre tutti gli altri termini sono stati stimati come si può evincere dalle tabelle seguenti.

Nelle tabelle 9, 10 sono riportati i valori di media, deviazione standard e varianze del traffico giornaliero AADT, del traffico pesante e dei fattori di equivalenza.

Media e deviazione standard dei dati di traffico rilevati nelle stazioni automatiche.	
AADT	6684
SD(AADT)	2849,75
PCT	16,4
SD(PCT)	4,94
EF	0,75
SD(EF)	0,713

Tabella 9

Varianze parziali	
$CV^2(AADT)$	0,1817
$CV^2(PCT)$	0,0907
$CV^2(EF)$	0,8961
$CV^2(LF)$	0,027

Tabella 10

Il coefficiente di varianza $CV^2(LF)$ relativo al fattore di corsia, è stato assunto in base ai valori proposti dal metodo, cercando di tenere in considerazione le caratteristiche della strada in esame. A questo punto sono noti tutti gli elementi necessari per determinare la varianza totale dei dati di traffico:

$$S_w^2 = Var(\log_{10}(W_T)) = (0.4343)^2 \times [CV^2(AADT) + CV^2(PCT) + CV^2(EF) + CV^2(LF)] \\ = 0.2474$$

CONCLUSIONI

Il primo obiettivo, raggiunto attraverso l'analisi sperimentale condotta, è di aver verificato che la distribuzione di frequenza delle prestazioni della pavimentazione in esame può essere approssimata con una gaussiana. Tale risultato consente di affermare che le leggi probabilistiche proposte dall'AASHTO GUIDE, per la definizione dell'affidabilità nella progettazione delle pavimentazioni flessibili, sono valide anche per la realtà viaria italiana. Sia per i dati di traffico rilevati che per lo structural number determinato per 34 sezioni autostradali, sono stati determinati i valori delle varianze S_w^2 , S_N^2 , necessari per determinare il valore della deviazione standard globale S_0 . Nella tabella 11 si riportano i valori delle varianze e delle deviazioni standard ottenute sperimentalmente, mentre nella tabella 12 sono riportati i valori di riferimento.

Variabili esaminate	S_N^2
Structural number	0.020
Spessore strato superficiale	0.02395
Spessore strato base	0.0055
	S_W^2
Traffico	0.2474

Tabella 11- Valori sperimentali delle varianze

Variabili esaminate	S_N^2
Structural number	0.0818
Spessore strato superficiale	0.0148
Spessore strato base	0.0060
	S_W^2
Traffico	0.21

Tabella 12-Valori delle varianze di prestazione assunte nell'AASHTO GUIDE [2] e per il traffico [5]

Dal confronto dei dati risulta che i valori delle varianze parziali, ottenute sperimentalmente per lo spessore dello strato di base e di superficie, si discostano di poco rispetto ai valori proposti, mentre la varianza dello structural number assume un valore sensibilmente più basso (0.020 contro 0.0818). Per ciò che concerne la varianza dei dati di traffico rilevati sull'A3, è stato ottenuto un valore di poco più alto (0,2474 contro 0,21) rispetto a quello proposto da Willey e Perry [5].

Considerando che la varianza parziale di SN contribuisce per il 70% alla varianza S_N^2 complessiva delle prestazioni, e che S_W^2 assume un valore simile a quello teorico, né consegue che si potrebbero adottare dei fattori di affidabilità sensibilmente inferiori rispetto a quelli attualmente in uso. Bisogna far presente però che questi risultati sono stati ottenuti per una pavimentazione autostradale, dove i controlli in fase di esecuzione sono stati molto elevati, viceversa da una indagine ancora in fase di sviluppo eseguita su strade comunali, il valore dell'affidabilità subisce una riduzione elevata a causa della diversità con cui viene realizzata la pavimentazione, cioè per progettare una pavimentazione per tipologie stradali diverse da quelle autostradali, ma caratterizzate dalla stessa affidabilità è necessario aumentare gli spessori degli strati.

BIBLIOGRAFIA

- [1] American Association of State Highway and Transportation Officials, Aashto guide for design of pavement structures, volume 1, 1986.
- [2] American Association of State Highway and Transportation Officials, Aashto guide for design of pavement structures, volume 2, 1986.
- [3] Probabilistic design concepts applied to flexible pavement system design, Research Report 123-18, 1973.

- [4] C. Caliendo ,” Il dimensionamento delle pavimentazioni flessibili secondo l’AASHTO GUIDE”, Quaderno di dipartimento di Ingegneria dei Trasporti N. 16, Napoli 1991.
- [5] Wiled D. Cunagin and PerryM. Kent,”Reliability of Traffic Data”, Transportation Research Record 1625