

SITEBSi srl

Rassegna del bitume

RIVISTA DEL SITEB-ASSOCIAZIONE ITALIANA BITUME ASFALTO STRADE

ESTRATTO DAL N° **04/87**

Durata residua delle pavimentazioni flessibili basata sulla valutazione del livello di degradazione degli strati legati ottenuto con il F.W.D.

Aurelio Marchionna

M.G. Fornaci

Durata residua delle pavimentazioni flessibili basata sulla valutazione del livello di degradazione degli strati legati ottenuto con il F.W.D.

A. Marchionna
M.G. Fornaci

INTRODUZIONE

Questo studio si inquadra nell'ambito di un programma di ricerche che la Società AUTOSTRADE ha intrapreso, con la collaborazione di un ricercatore dell'Università di Roma "La Sapienza" (Dipartimento di idraulica, trasporti e strade), per la messa a punto degli strumenti necessari ad una gestione programmata degli interventi di manutenzione delle pavimentazioni della propria rete.

Una delle linee di ricerca lungo le quali ci si è mossi è quella volta alla messa a punto delle procedure atte a definire con sufficiente precisione sia le condizioni strutturali (portanza) sia la durata iniziale e residua delle pavimentazioni, sulla base dei dati raccolti con il Falling Weight Deflectometer. La prima fase di questa ricerca è stata dedicata alla messa a punto di un metodo per determinare le caratteristiche elastiche delle sovrastrutture flessibili e semi-rigide esistenti sulla rete autostradale italiana. La strada seguita è stata quella di utilizzare le misure di deflessione, ottenute da prove effettuate con il Falling Weight Deflectometer, per calcolare i moduli elastici reali dei materiali costituenti i diversi strati di una pavimentazione. La seconda parte è stata rivolta al calcolo della vita residua secondo uno schema tradizionale ormai collaudato il quale utilizza le caratteristiche elastiche degli strati della pavimentazione e la conoscenza delle condizioni climatiche per arrivare al calcolo delle sollecitazioni all'interno della sovrastruttura. Introducendo tali sollecitazioni nelle curve di fatica dei conglomerati bituminosi o dei misti cementati e conoscendo il traffico già transitato sulla sovrastruttura è possibile per differenza ottenere la durata residua². Particolare attenzione è stata rivolta in questa fase alla messa a punto di un criterio di fatica dei conglomerati bituminosi che tenga conto non solo del numero di cicli di carico necessari per innescare le fessure ma anche del numero di ripetizioni che sono necessarie a propagarle fino alla superficie.

Tramite uno studio del meccanismo che governa la propagazione di una fessura (legge di Paris) si è arrivati a mettere a punto delle curve di fatica che forniscono la durata in relazione a differenti stadi di fessurazione superficiale (inizio, 10%, 45%) nella wheel path. In tali curve il numero di ripetizioni utili è funzione non solo di parametri che esprimono le caratteristiche della miscela ma anche dello spessore complessivo del pacchetto degli strati legati a bitume. È possibile pertanto in tal modo valutare l'effetto dello spessore sulla durata della pavimentazione.

Lo schema così sviluppato ha dimostrato di essere troppo oneroso dal punto di vista del tempo di calcolo sia perché richiede di effettuare il calcolo delle sollecitazioni in ogni punto di misura sia perché è necessario ricostruire la storia della pavimentazione.

La terza fase, di cui si parlerà dettagliatamente nel seguito, ha avuto l'obiettivo di mettere a punto una procedura di valutazione della vita residua che non richieda la conoscenza del traffico già sopportato e preveda l'impiego di semplici diagrammi.

Tale procedura, come si vedrà, permette di definire lo stato di degradazione degli strati legati a bitume della sovrastruttura, il che è essenziale per il calcolo di un eventuale rinforzo.

EVOLUZIONE DEL MODULO DEI CONGLOMERATI BITUMINOSI SOTTO L'EFFETTO DEL TRAFFICO

L'analisi del meccanismo di rottura a fatica degli strati legati a bitume fa prevedere che i moduli di tali strati subiranno un'evoluzione da un valore iniziale ($E^*_{iniz.}$) corrispondente ad un materiale in buone condizioni all'inizio della vita della pavimentazione, fino ad un valore corrispondente alla completa degradazione del materiale alla fine della vita utile ($E^*_{degr.}$).

Tale comportamento è legato al diffondersi della fessurazione all'interno del conglomerato. Si può ragionevolmente prevedere che il modulo rimarrà invariato ed uguale al valore iniziale per un certo numero di ripetizioni e che poi inizi a diminuire mano a mano che si producono le fessure alla base degli strati legati e che queste si allargano e si estendono verso l'alto.

È stato possibile valutare il valore del modulo di uno strato formato da un materiale completamente degradato analizzando i risultati di prove condotte con il F.W.D. nella fascia di passaggio dei veicoli (wheel-path), dove il danno subito dalla pavimentazione è maggiore, su pavimentazioni ormai al termine della vita utile.

In base a questa analisi si può assumere per $E^*_{degr.}$ un va-

lore di 1000 Mpa indipendentemente dalla temperatura.

Analogamente è stato possibile stabilire che mediamente il valore iniziale del modulo, $E^*_{iniz.}$, alla temperatura di riferimento di 20°C è di 8000 Mpa. Pertanto se analizzando una pavimentazione col F.W.D. si trova un conglomerato il cui modulo è diminuito rispetto a quello caratteristico dei materiali sani ($E^*_{iniz.} > E^* > E^*_{degr.}$) è lecito ipotizzare che tale modulo rappresenti il modulo equivalente di uno strato composto da una parte integra ($E^* = E^*_{iniz.}$) e da una parte completamente degradata ($E^* = E^*_{degr.}$). È possibile, usando il metodo di seguito descritto, valutare approssimativamente la quota parte dello spessore iniziale dello strato interessata dalla fessurazione.

VALUTAZIONE DELLO SPESSORE INTEGRO DEGLI STRATI BITUMINOSI

Nella Figura 1 si sono indicati con h_i ed h_d rispettivamente gli spessori incogniti della parte integra ($E^* = E^*_{iniz.}$; $\nu = \nu_{iniz.}$) e della parte degradata ($E^* = E^*_{degr.}$; $\nu = \nu_{degr.}$) di uno strato di spessore totale h_1 caratterizzato da un modulo E^*_m ($E^*_{iniz.} > E^*_m > E^*_{degr.}$) e coefficiente di Poisson_m determinati con il F.W.D.

Se si ipotizza che due strati sono strutturalmente equivalenti quando sono uguali le rigidezze flessionali si ha che ciascuna

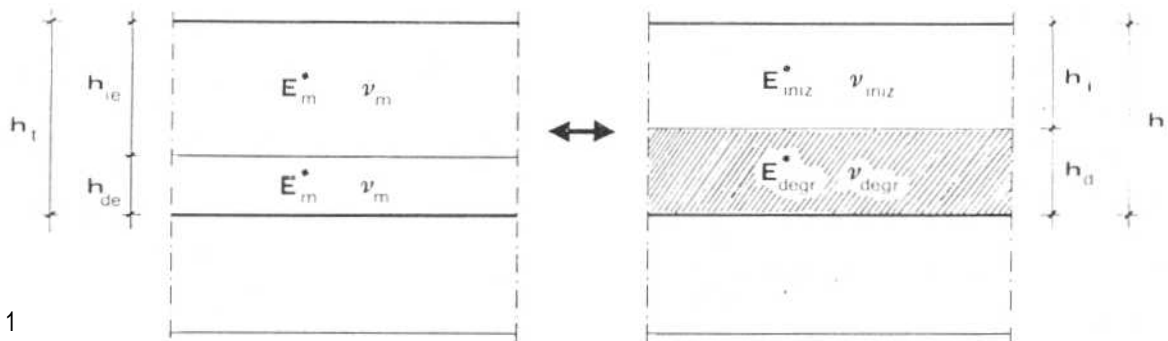


Fig 1

delle due parti (integra e degradata) equivale ad una porzione, rispettivamente dello spessore h_{ie} ed h_{de} , dello strato di modulo E_m^* secondo le seguenti relazioni:

$$\frac{h_i^3 \times E_{iniz}^*}{(1 - \nu_{iniz}^2)} = \frac{h_{ie}^3 \times E_m^*}{(1 - \nu_m^2)} ; \quad (1)$$

$$\frac{h_d^3 \times E_{degr}^*}{(1 - \nu_{degr}^2)} = \frac{h_{de}^3 \times E_m^*}{(1 - \nu_m^2)} ; \quad (2)$$

poichè inoltre deve essere:

$$h_t = h_i + h_d ; \quad (3)$$

e

$$h_t = h_{ie} + h_{de} ; \quad (4)$$

è possibile determinare il valore di h_i ; ed h_d ,

Tale procedura è stata sottoposta a verifica applicandola ad una serie di tronchi autostradali su cui erano state effettuate misure di deflessione con il F.W.D.

In Tabella 1 sono riassunti i risultati relativi all'autostrada A1-IV Tronco.

Nella tabella sono riportate le progressive di inizio di ogni tratta, gli spessori della pavimentazione, gli spessori medi di conglomerato integro e degradato del manto e della base, il tipo di intervento di manutenzione effettuato.

Come si può notare gli interventi di risanamento profondo (demolizione e ricostruzione dell'intera sovrastruttura) sono stati effettuati solo in quei tratti in cui la base si presentava degradata. La profondità degli interventi di fresatura superficiale, effettuati solo nelle zone in cui la base si presentava sana, è stata stabilita controllando con carotaggi lo spessore del materiale degradato; si può notare in questo caso un accordo soddisfacente tra spessore degradato dal manto calcolato e quello valutato dai carotaggi.

Esaminando la tabella risulta anche evidente che non sempre la fessurazione parte dalla base degli strati legati (rottura classica a fatica).

Nel caso della rottura classica a fatica, invece il manto incomincia a fessurarsi solo quando la base è completamente degradata.

I motivi di un comportamento differente possono essere ricercati in tre diverse cause:

- innesco di fessure da fatica anche alla base del manto a causa di un incollaggio difettoso tra gli strati;
- invecchiamento precoce del conglomerato di usura che da luogo ad una fessurazione superficiale;
- fessurazione che parte dalla superficie e procede verso il basso dovuta a contrazione termica.

EVOLUZIONE DELLO SPESSORE DEGRADATO SOTTO L'EFFETTO DEL TRAFFICO

Seguendo la schematizzazione descritta si può ritenere che lo spessore di materiale degradato, h_d , evolverà dal valore $h_d = 0$ all'inizio della vita della pavimentazione (corri-

Tabella I: A1 - IV Tronco;

spessori medi di conglomerato integro e degradato ed interventi realizzati.

ESTENSIONE DELL'INTERVENTO	CORSIA	CARREGG.	*SPESSORI (cm)			SPESSORI MANTO		SPESSORI BASE		INTERVENTO DI MANUTENZIONE REALIZZATO
			H1	H2	H3	INTEGRO	DEGRAD.	INTEGRO	DEGRAD.	
Km 304.40 - 305.00	Marcia	Sud	17	10	35	8.1	8.9	0.0	10.0	Risanamento profondo
Km 321.90 - 324.00	Marcia	Sud	16	10	35	7.0	9.0	2.5	7.5	Risanamento profondo
Km 400.80 - 403.80	Marcia	Sud	22	10	35	8.7	13.3	10.0	0.0	Fresatura da 12 cm.
Km. 385.35 - 383.20	Marcia	Nord	15	10	35	9.8	5.2	10.0	0.0	Fresatura da 9 cm.
Km. 408.70 - 407.80	Marcia	Nord	22	10	35	9.8	12.2	10.0	0.0	Fresatura da 12 cm.

H1 = USURA + BINDER H2 = BASE H3 = FONDAZIONE

spondente ad un modulo $E_m^* = E_{iniz}^*$ al valore $h_d = h_i$ alla fine della vita utile (corrispondente ad un modulo $E_m^* = E_{degr}^*$).

Se è possibile stabilire un legame tra h_d e la durata residua, allora lo spessore degradato, h_d , può essere considerato un parametro rappresentativo della portanza residua della pavimentazione.

Indicando con T_i la durata iniziale della pavimentazione espressa in termini di passaggi ammissibili dell'asse da 12 t e con T_R la durata residua è conveniente rappresentare gli stati di degradazione della pavimentazione su un diagramma avente sull'asse delle ascisse il rapporto h_d / h_i e sull'asse delle ordinate il rapporto T_R / T_i .

Si osservi che h_d incomincia a crescere quando si è innescata la fessurazione alla base degli strati legati e cioè quando è transitato sulla pavimentazione un traffico T_o ; per tale motivo è vantaggioso considerare come T_i la durata totale a meno di T_o :

$$T_i = T_i' \cdot T_o \quad (5)$$

dove T_i rappresenta la durata totale.

Su tale diagramma lo stato iniziale e finale della pavimentazione sono rappresentati rispettivamente dai punti di coordinate:

$$\begin{aligned} h_d / h_i = 0, & \quad T_R / T_i = 1 \\ \text{e} \\ h_d / h_i = 1, & \quad T_R / T_i = 0; \end{aligned}$$

una parte della vita della pavimentazione è rappresentata da un segmento dell'asse delle ordinate con estremi i punti di coordi-

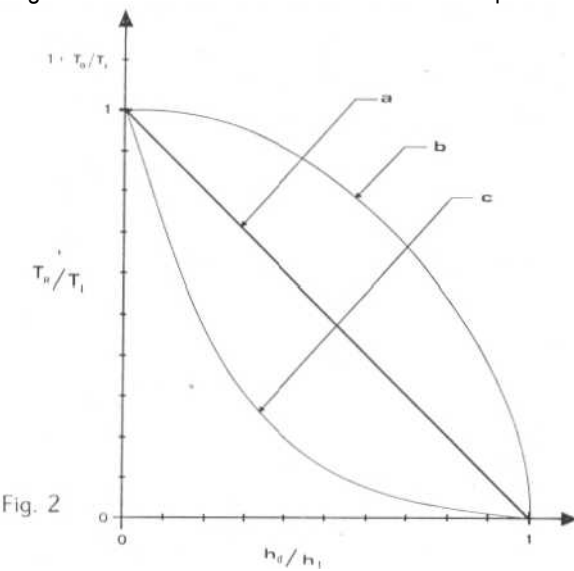
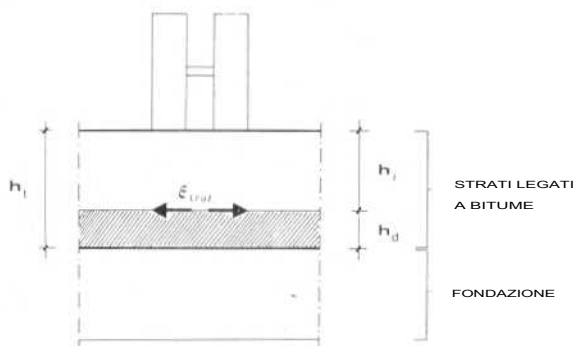


Fig. 2

Fig. 3

D u
r
a
t
a
R
e
s
i
d
u
a:
S
c
h
e
m
a
d
i
C
a
l
c
o



nate: $h_d / h_i = 0$, $T_R / T_i = 1$ e $h_d / h_i = 1$, $T_R / T_i = 1 + T_o / T_i$. I possibili andamenti del legame tra la durata residua e lo spessore degradato sono rappresentati in Figura 2.

Definendo come velocità di degradazione la quantità $d(h_d / h_i) / dT_p$, dove $T_p = T_i - T_R$ rappresenta il numero di assi transitati, la retta "a" di Figura 2 rappresenta una degradazione che si evolve a velocità costante.

La curva "b" rappresenta una situazione in cui la velocità di degradazione diminuisce all'aumentare dello spessore degradato; la curva "c" è rappresentativa del caso in cui all'aumentare dello spessore degradato la velocità di degradazione aumenta. Tra le tre alternative l'andamento rappresentato dalla curva "b" sembra inattendibile dal punto di vista fisico in quanto il progredire del danno si accentua nella fase finale della vita utile; pertanto gli andamenti possibili sono quelli con concavità rivolta verso l'alto ed al di sotto della retta "a".

A questo punto il problema che resta da affrontare è quello della individuazione in termini quantitativi dell'andamento di tale curva.

ANDAMENTO DELLA CURVA: DURATA RESIDUA - SPESSORE DEGRADATO

La ricerca dell'andamento di tali curve è stata limitata in questa fase al caso in cui lo strato degradato incomincia a formarsi alla base del pacchetto di strati legati a bitume (situazione corrispondente all'ipotesi classica di rottura per fatica). Tale curva è stata costruita per punti andando a calcolare le durate T_i e T_R in corrispondenza a diversi stadi di evoluzione della degradazione (h_d crescente da 0 ad h_i).

Per quanto riguarda la valutazione della durata iniziale T_i , la procedura adottata si avvale del modello di calcolo e delle curve di fatica delle miscele bituminose descritte in un precedente lavoro.

Poiché le curve di fatica di cui si dispone, come si è già detto, consentono il calcolo in corrispondenza a tre diversi livelli di fessurazione superficiale, la durata non è univocamente determinata se non si fissa il livello di ammaloramento superficiale. In questo caso ciò che interessa è la durata che corrisponde alla completa degradazione di strati legati ($h_d = h_i$); la durata relativa al 45% di fessurazione superficiale è quella che più si avvicina a questa situazione³.

Per quanto riguarda la determinazione di T_R , si è sfruttata la possibilità che offrono le curve di fatica di valutare la durata come somma di due termini:

$$N_F = N_0 + \Delta N \quad (6)$$

dove N_0 rappresenta il numero di cicli necessari ad innescare la fessurazione e ΔN , il numero di cicli necessari a propagarle fino alla superficie. La procedura seguita consiste nel prendere in considerazione lo strato integro di spessore h_i e nel calcolare le tensioni di trazione indotte dall'asse di riferimento alla sua base (Fig. 3).

Il numero di ripetizioni ΔN corrispondente a questo livello di tensioni e ad uno spessore h_i permette di calcolare la durata residua della pavimentazione. Non si considera N_0 perché le fessure sono già innescate. Il calcolo di tale durata viene effettuato suddividendo l'anno in quattro periodi stagionali ed applicando la legge del danno cumulato ai ΔN ricavati per ciascun periodo.

Tale calcolo è in effetti una approssimazione in quanto la situazione reale è quella di un unico strato in cui le fessure hanno mediamente una lunghezza uguale ad h_d . Tale situazione

viene assimilata a quella di una pavimentazione nuova di spessore h_i appoggiata su uno strato di spessore h_d e modulo $E^* = E^*_{degr.}$

II Tabella : Durate corrispondenti a diversi valori dello spessore degradato h_d .

*SPESSORE DEGLI STRATI	h_d	Modulo medio Fondazione / Modulo medio Sottofondo						
		1000/400	3000/400	3000/1200	3000/2000	5000/400	5000/1200	5000/2000
H1 = 10	0	0.646 **	1.498	1.937	2.181	2.824	3.532	3.933
H2 = 10	6	0.312	0.642	0.736	0.783	1.007	1.096	1.144
H3 = 35	10	0.170	0.309	0.320	0.326	0.433	0.434	0.435
H1 = 15	0	2.139	4.352	5.799	6.616	7.559	9.813	11.110
H2 = 10	6	1.118	2.137	2.597	2.840	3.291	3.822	4.103
H3 = 35	10	0.659	1.133	1.267	1.333	1.575	1.683	1.742
	15	0.286	0.414	0.411	0.411	0.511	0.511	0.511
H1 = 15	0	6.055	11.239	15.333	17.685	18.390	24.600	28.248
	6	3.303	5.759	7.248	8.044	8.448	10.235	11.200
H2 = 15	10	2.123	3.523	4.170	4.503	4.888	5.550	5.900
H3 = 35	15	1.006	1.479	1.584	1.635	1.859	1.920	1.960
	20	0.396	0.490	0.490	0.490	0.545	0.545	0.545

H1 = Spessore del manto (cm.)
H2 = Spessore della base "
H3 = Spessore della fondazione »

Durate espresse in milioni di ripetizioni di passaggi dell'asse di riferimento da 12 t.

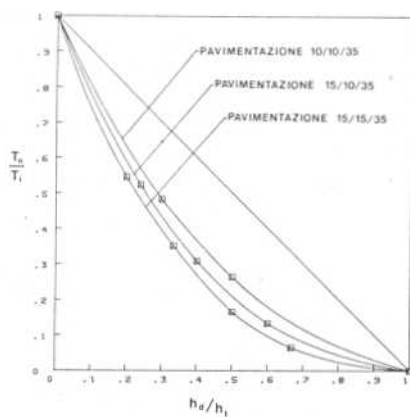


Fig. 4: CURVE DI DEGRADAZIONE RELATIVE A TRE MODULI DELLA FONDAZIONE (Pavimentazione 15/15/35, modulo medio del sottofondo. $E_s = 400 \text{ Kg/cm}^2$)

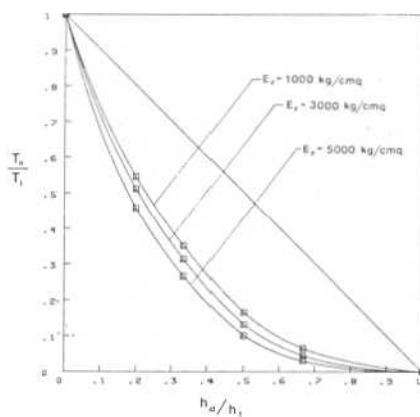


Fig. 5: CURVE DI DEGRADAZIONE RELATIVE A TRE MODULI DEL SOTTOFONDO (Pavimentazione 15/15/35, modulo medio della fondazione, $E_s = 3000 \text{ Kg/cm}^2$)

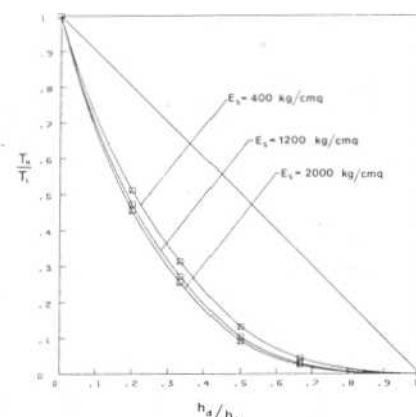


Fig. 6: CURVE DI DEGRADAZIONI RELATIVE ALLE TRE PAVIMENTAZIONI DI TAB. II (Modulo medio della fondazione $E_s = 1000 \text{ Kg/cm}^2$, modulo medio del sottofondo. $E_s = 400 \text{ Kg/cm}^2$)

A questo punto sono state considerate una serie di pavimentazioni diverse per gli spessori degli strati legati e per caratteristiche elastiche della fondazione e del sottofondo per le quali, calcolate le tensioni, sono stati determinati T_i e T_r , per differenti valori di h_d . In Tabella II è riportato un prospetto riassuntivo delle durate ottenute.

I moduli della fondazione e del sottofondo (materiali con comportamento non lineare) sono riferiti al livello di sollecitazione esistente rispettivamente alla metà ed alla sommità dello strato in corrispondenza dell'asse di simmetria del carico.

Come si può notare in corrispondenza di uno spessore intero di 10 cm l'influenza delle caratteristiche del sottofondo e della fondazione nonché dello spessore iniziale sulla durata residua non è troppo marcata. Infatti tali durate sono comprese fra 170.000 e 500.000 ripetizioni dell'asse di riferimento il che corrisponde in alcune situazioni autostradali ad una durata inferiore ad un anno.

Nelle Figure 4, 5 e 6 sono riportate le curve di decadimento ricavate dai dati della tabella.

Il loro andamento è coerente con quelli definiti in precedenza come qualitativamente corretti dal punto di vista fisico.

Si osservi che le pavimentazioni con caratteristiche migliori (spessori più grandi e/o moduli degli strati non legati più elevati) hanno inizialmente una velocità di degradazione minore delle altre; a ciò fa riscontro una velocità maggiore quando si avvicinano al termine della vita utile.

Nella Figura 7 sono rappresentati i risultati di una prima applicazione di questa procedura per la valutazione della durata residua di una sezione dell'autostrada A 14.

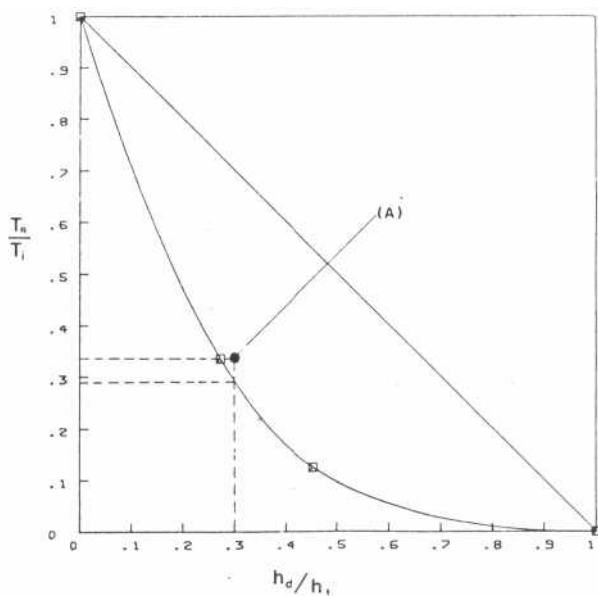


Fig. 7: CURVA DI DEGRADAZIONE DI UN SEZIONE DELLA A14. IL PUNTO "A" CORRISPONDE ALLA DURATA RESIDUA CALCOLATA DAL TRAFFICO EFFETTIVAMENTE TRANSITATO

Nella sezione considerata la pavimentazione, costruita nell'anno 1967 ha le caratteristiche, rilevate con il F.W.D., riportate nella Tabella III; in figura è riportata la curva di decadimento. In corrispondenza dello spessore degradato trovato di 6.6 cm si trova che la durata residua è di 2.380.000 ripetizioni dell'asse di riferimento.

Tabella III:

A14 - Caratteristiche medie della pavimentazione nella sezione considerata, rilevate con il FWD.

STRATO	H (cm)	E (Kg./cmq)	h _i (cm.)	h _d (cm.)
MANTO		82000	12.0	0.0
BASE	10	28000	3.4	6.6
FONDAZIONE	35	6000	—	—
SOTTOFONDO	—	2500	—	—

Dai dati sui transiti disponibili è stato possibile risalire al numero di ripetizioni effettive sopportate dalla pavimentazione che è risultato essere pari a 6.730.000.

Nella Figura 7 è anche riportato il punto corrispondente alla durata residua calcolata a partire dal traffico effettivamente sopportato dalla pavimentazione.

Come si può vedere sembra emergere un buon accordo tra le durate calcolate dalla curva di decadimento e il comportamento effettivo della pavimentazione.

POSSIBILITÀ DI UTILIZZAZIONE DELLA PROCEDURA

La prima applicazione di tale procedura consiste nel calcolo della durata residua delle pavimentazioni senza utilizzare il modello di calcolo che richiede la conoscenza del traffico transitato. Una volta che siano stati sviluppati i diagrammi di degradazione per tutta una serie di combinazioni delle grandezze in gioco (spessori degli strati legati e della fondazione, caratteristiche elastiche di fondazione e sottofondo) è sufficiente conoscere caso per caso gli spessori, i moduli degli strati e gli spessori interi determinati col F.W.D., per poter calcolare, semmai interpolando la durata residua.

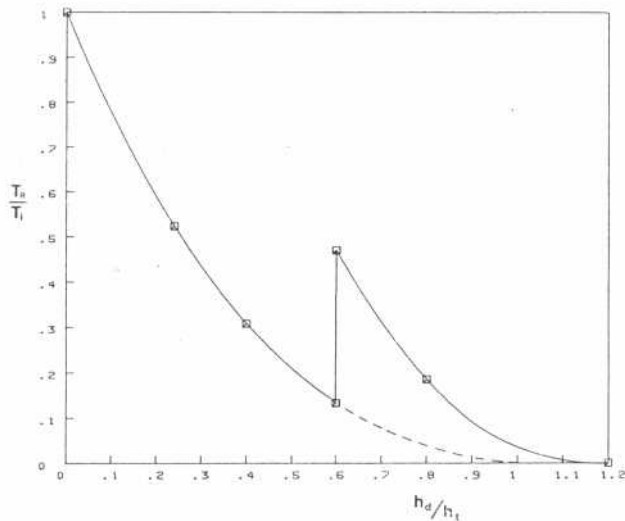
Una ulteriore possibilità è data dal fatto che all'aumentare del rapporto h_d/h_t , la velocità di degradazione aumenta e quindi la curva di degradazione si avvicina con tangente orizzontale all'asse delle ascisse. Sarebbe pertanto possibile definire un punto critico della curva al di là del quale la velocità di degradazione è così elevata da poter dire che la pavimentazione si rompe in breve tempo.

Questo significa individuare un valore del rapporto T_R/T_i ed in corrispondenza a questo un valore di soglia di h_d/h_t al disotto del quale la capacità portante della pavimentazione è praticamente annullata.

A tal proposito si osservi che per le combinazioni di spessori analizzate riferendosi a situazioni di traffico autostradali una durata residua inferiore all'anno corrisponde a valori del rapporto $T_R/T_i \leq 0.25$, ai quali a loro volta corrispondono valori del rapporto $h_d/h_t \geq 0.5$. Si può quindi concludere che un valore di 0.5 per il rapporto fra spessore degradato e spessore totale della pavimentazione può rappresentare il valore di soglia per la capacità portante: quando si raggiunge tale livello di degradazione conviene predisporre ad un intervento di risanamento profondo della pavimentazione.

In ultimo si può dire che la procedura sviluppata consente anche di valutare la durata di uno strato di rinforzo steso su una pavimentazione parzialmente degradata; in questo caso infatti la durata residua si calcola considerando uno strato integro il cui spessore h_i è la somma dello spessore del rinforzo e dello spessore integro della vecchia pavimentazione:

$$h_i = h_i \text{ (vecchia pav.)} + h_r \text{ (rinforzo)} \quad (7)$$



Si tratta di uno strato di 5 cm di spessore di conglomerato steso su una pavimentazione costituita originariamente da 25 cm di conglomerato le cui caratteristiche essenziali sono:

$$H_1 = 10 \text{ cm}, H_2 = 15 \text{ cm}, H_3 = 35 \text{ cm}, \\ E_F = 1000 \text{ Kg/cm}^2, E_S = 400 \text{ Kg/cm}^2.$$

La durata inizialmente prevista è $T_i = 2.14$ milioni di assi da 12 tonn.; il rinforzo interviene nel momento in cui lo spessore degradato è di 15 cm ($h_d/h_i = 0.6$) ed il rapporto T_R/T_i è pari a 0.13. La parte del diagramma di degradazioni relativa alla pavimentazione rinforzata è stata ottenuta conservando come h_i e T_i i valori della pavimentazione originaria; con tale convenzione il valore del rapporto h_d/h_i al momento del rinforzo resta lo stesso della pavimentazione iniziale ma alla fine della vita utile raggiunge un valore maggiore di 1 e cioè $h_d/h_i = (h_1 + h_r) / h_i$. All'atto di rinforzo il valore di T_R/T_i aumenta da 0.13 a 0.47.

Fig. 8: CURVE DI DEGRADAZIONE DI UNA SEZIONE DELLA A14. IL PUNTO "A" CORRISPONDE ALLA DURATA RESIDUA CALCOLATA DAL TRAFFICO EFFETTIVAMENTE TRANSITATO

CONCLUSIONI

La procedura qui delineata permette di determinare in maniera rapida la durata residua di una pavimentazione dal punto di vista della rottura per fatica degli strati legati a bitume.

Tale risultato è particolarmente vantaggioso quando c'è la necessità di esaminare annualmente le condizioni di una rete stradale notevolmente estesa. Gli strumenti che sono stati messi a punto a questo scopo sono da una parte un sistema per valutare la quota parte di uno strato legato a bitume affetta da fessurazione, dall'altra delle curve di degradazione da cui si può desumere l'evoluzione della fessurazione degli strati per effetto del traffico. La procedura è stata sottoposta ad una prima verifica sia controllando le rispondenze fra spessore dello strato degradato previsto teoricamente e spessore riscontrato su carote estratte dalla strada, sia andando a confrontare per una sezione autostradale il traffico transitato, desunto dalla curva di degradazione, con quello effettivamente passato. Soltanto una applicazione su vasta scala di questa procedura potrà offrire ulteriori indicazioni sulla sua affidabilità, in particolare sulla possibilità di individuare con buona approssimazione lo spessore medio della parte degradata degli strati legati.

Si è anche visto che le curve di degradazione sviluppate possono essere impiegate per individuare un valore di soglia del rapporto tra spessore degradato e spessore totale degli strati legati a bitume raggiunto il quale è necessario attuare un intervento di risanamento radicale della pavimentazione. In ultimo si è potuto vedere che la procedura sviluppata consente di valutare la durata di uno strato di rinforzo annicato ad una navimptazinnp nii nar7ialmpntp dannennata

BIBLIOGRAFIA

- 1) A. MARCHIONNA, M. CESARINI, M.G. FORNACI, M. MALGARINI: "Caratteristiche meccaniche effettive delle sovrastrutture". Autostrade, novembre 1983.
- 2) A. MARCHIONNA, M. CESARINI, M.G. FORNACI, M. MALGARINI: "Modello di degradazione strutturale delle pavimentazioni - Fatica degli strati legati". Autostrade, gennaio e marzo 1986.
- 3) H.J. TREYBIG ET AL.: "Design of asphalt concrete overlays using layer theory". Proc. Fourth International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements, Ann Arbor, agosto 1977.