



UNIVERSITÀ DI PISA

Corso di Laurea Magistrale in
Ingegneria Idraulica, dei Trasporti e del Territorio

Tesi di Laurea Magistrale

**Application of Fast-FWD for Accelerated
Pavement Testing**

Relatori:

Prof. Ing. Alessandro Marradi

Prof. Ing. Per Ullidtz

Candidato:

Marco Francesconi

ANNO ACCADEMICO 2014/2015

Durante la loro vita le pavimentazioni stradali sono continuamente attaccate da diversi fattori che degradano le loro caratteristiche.

La manutenzione e la riabilitazione hanno lo scopo di far fronte a tale degrado, mantenendo l'infrastruttura stradale in condizioni operative sufficientemente buone e sicure per gli utenti della strada.

Inizialmente, il tasso di degradazione presenta una crescita piuttosto limitata, ma da un certo punto in poi, se il problema non viene adeguatamente affrontato, diventa esponenziale.

Ciò significa che più le condizioni dell'infrastruttura sono degradate, più interventi sono necessari, con un inevitabile aumento del costo.

Per ottimizzare le risorse, spesso molto basse, è essenziale trovare il giusto tempismo per effettuare gli interventi di manutenzione e ripristino durante la vita utile dell'infrastruttura.

Questo è possibile solo attraverso l'uso di strumenti efficaci per il monitoraggio della condizione di salute della pavimentazione, come i *Pavement Management System* (PMS).

Gli interventi di manutenzione che possono essere eseguiti sulle pavimentazioni bituminose includono i trattamenti superficiali, i risanamenti superficiali ed i risanamenti profondi.

Gli aspetti che devono essere presi in considerazione per la scelta degli interventi riabilitativi sono principalmente due: il tipo di problema da risolvere, e l'efficacia temporale del trattamento.

Per tener conto del tipo di problema è necessario identificare il genere e l'entità di deterioramenti propri del pavimento esaminato, collocandoli nella parte più superficiale o più in profondità.

Questi aspetti devono essere attentamente considerati in modo da scegliere l'intervento riabilitativo che presenti il miglior rapporto costo/beneficio.

La possibilità concreta di spendere molti soldi per un intervento riabilitativo superiore a quello che sarebbe potuto essere necessario, mette in evidenza l'importanza di un attento studio sui danni a cui il pavimento è sottoposto durante il suo utilizzo.

Per far ciò, è indispensabile prevedere le conseguenze delle azioni del traffico nel tempo.

Per stimare la vita utile di una pavimentazione e prevederne il deterioramento nel tempo, un modo per condurre *Accelerated Pavement Testing* (APT), simulando carichi di traffico e portando a rottura in un breve periodo di tempo, è stato cercato per lungo tempo.

Con l'*Heavy Vehicle Simulator* (HVS), i carichi veicolari sono riprodotti attraverso una ruota pesante che sollecita continuamente lo stesso punto della pavimentazione. L'HVS, da 54 tonnellate

di peso, è in grado di produrre l'effetto che autovetture e autoarticolati pesanti hanno sulle pavimentazioni stradali.

Grazie ai test APT, è possibile costruire modelli di calcolo in grado di predire il comportamento strutturale della pavimentazione. Attraverso i dati raccolti, è poi possibile calibrare opportunamente le leggi di fatica che governano la risposta meccanica della pavimentazione, permettendo di prevedere tutta la vita della struttura.

Tuttavia, ci sono molti vantaggi nell'uso di un dispositivo mobile rispetto ad una alternativa fissa. Un dispositivo mobile può essere utilizzato in remoto e senza il bisogno di personale sul posto, con la conseguente possibilità di lavorare 24 ore su 24. Inoltre, un dispositivo mobile può essere spostato facilmente durante i test.

Un dispositivo di prova più piccolo e compatto potrebbe essere auspicabile, sia per testare sezioni di dimensioni ridotte che per affrontare i limiti in budget e personale.

Lo scopo di questa ricerca è quello di dimostrare come il *Fast Falling Weight Deflectometer* (FFWD), normalmente utilizzato per misurare le deformazioni che un carico impulsivo produce in diversi punti della superficie situati a distanze diverse dal carico stesso, possa essere utilizzato come APT.

Con questa nuova, più veloce versione del *Falling Weight Deflectometer* (FWD), con cui è possibile eseguire fino ad un colpo ogni 1,5 secondi, sono state misurate le deflessioni alle quali è soggetta la pavimentazione.

Il software utilizzato per la registrazione e memorizzazione dei dati è *Dynatest Data Collection* (DDC). La backcalculation con cui sono stati stimati i moduli dei vari strati è stata eseguita tramite il software *ELMOD* (*Evaluation of Layer Moduli and Overlay Design*).

In particolare, ci sono due principali cause del degrado strutturale: la fessurazione a fatica e la deformazione permanente.

Il fenomeno della fessurazione a fatica è limitato agli strati legati e, una definizione di rottura spesso usata, si verifica quando il modulo dello strato in conglomerato bituminoso si riduce del 50% rispetto al valore iniziale.

Per quanto riguarda la deformazione permanente, un limite spesso utilizzato è definito da una profondità dell'ormaia che supera i 10-12 mm.

Durante i test effettuati, in particolare dopo l'installazione di un sistema di raffreddamento che ha la funzione di impedire il surriscaldamento del motore, il Fast-FWD è stato in grado di funzionare

senza interruzioni ad una velocità di 2600 colpi/ora, superando le aspettative di fabbricazione di produrre un carico ogni 1,5 secondi.

La rottura della pavimentazione definita dal raggiungimento di una deformazione permanente di 10-12 mm viene conseguito durante il Test 1 dopo soli 185000 applicazioni di carico.

Inoltre, è da sottolineare come un dato modello può seguire precisamente l'evoluzione delle deformazioni permanenti misurate con l'incremento del numero di applicazioni.

La rottura della pavimentazione definito come una riduzione di oltre il 50% nel modulo dello strato di conglomerato, è stato raggiunto più volte durante gli esperimenti.

Il fenomeno di autoriparazione che ha luogo per effetto delle proprietà viscoso del bitume durante i periodi di riposo si verifica costantemente in tutti i test di fatica.

Durante test APT è praticamente impossibile evitare i periodi di riposo, anche se l'installazione di un sistema di raffreddamento ha consentito un notevole passo avanti.

La riduzione e il recupero del modulo degli strati legati possono essere simulati utilizzando una combinazione di modelli di danno e tixotropia, entrambi completi di relazioni che tengono conto del fenomeno di autoriparazione nel tempo.

E' impossibile aspettarsi che un solo set di parametri possa essere utilizzato per tutte le prove, ma l'obiettivo è quello di ottenere un modello valido cambiando pochi parametri da prova a prova.

Lo scopo finale per esperimenti futuri sarà quello di ottenere fessurazioni visibili in superficie e ciò potrebbe richiedere cambiamenti climatici e di temperatura, l'invecchiamento dello strato legato, penetrazione di acqua o detriti nelle micro fessure.

Tutte le prove APT eseguite utilizzando il Fast-FWD sono state eseguite ad una temperatura pressoché costante. È prevedibile che la temperatura abbia un effetto sia sul danno che sulla autoriparazione, dato che il coefficiente di espansione termica del bitume è tipicamente $40-50 \mu\text{strain}/^{\circ}\text{C}$.

Un obiettivo futuro sarà quello di eseguire un confronto tra i test APT effettuati con il Fast-FWD e quelli realizzati utilizzando un dispositivo rotante, al fine di determinare le differenze di risposta tra le due modalità di carico.

I risultati dei test presentati in questa ricerca indicano che il Fast-FWD può essere utilizzato come strumento intermedio tra le prove di laboratorio su piccola scala (bending beam tests, shear tests, triaxial) e test APT in larga scala.