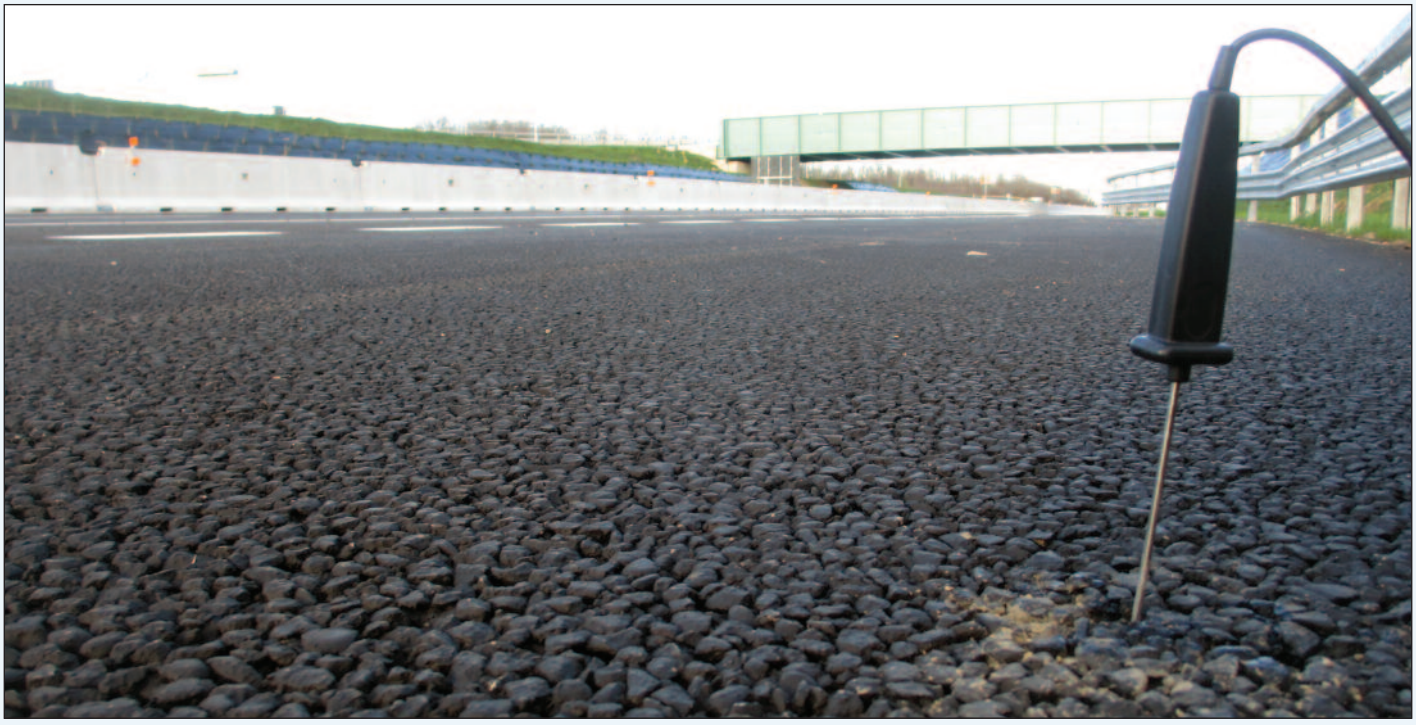
L'aderenza delle pavimentazioni autostradali

IMPLICAZIONI SULLA SICUREZZA E SUI PROCESSI MANUTENTIVI

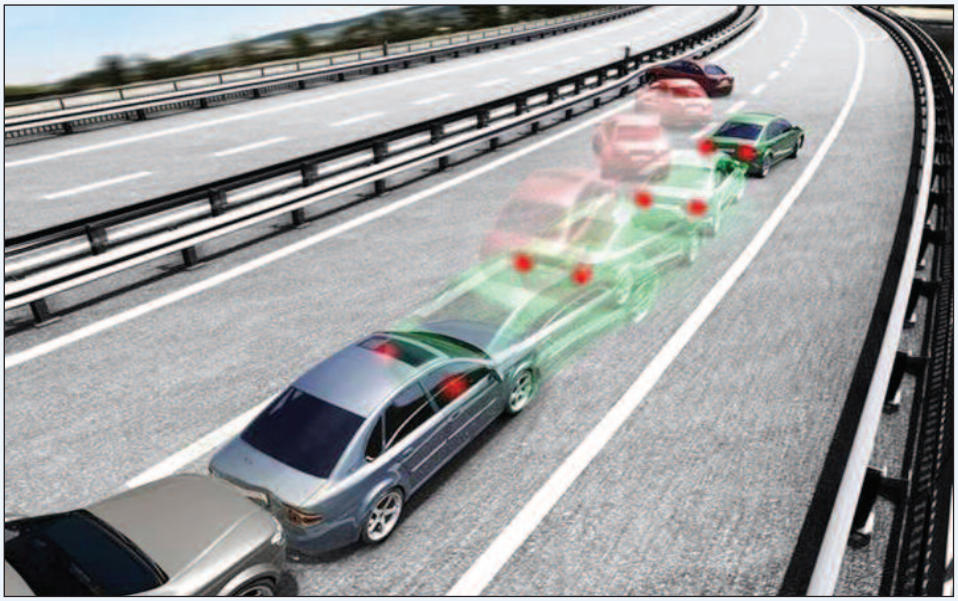
*Enea G. Sogno**
*Ernesto Ruberl**

Leggi i contenuti multimediali su
www.stradeeautostrade.it
Segui le istruzioni di pag. 4.

La velocità in autostrada è un fattore che assume grande rilievo nel momento in cui viene rapportato alle dinamiche con cui si verifica la maggior parte degli eventi incidentali. Infatti, questi sono spesso una conseguenza di comportamenti rischiosi adottati dai guidatori, specialmente a velocità di avanzamento sostenuta e trascurando le caratteristiche della piattaforma stradale.
I fattori coinvolti negli incidenti stradali sono molteplici. Tra tanti, meritano attenzione le proprietà funzionali delle pavimentazioni, e in particolare l'aderenza e la tessitura superficiale, le quali contribuiscono senza dubbio alla riduzione della probabilità di incidenti se gli standard qualitativi in esercizio sono elevati.
Grazie all'analisi di banche dati strutturate Sineco, Società di ingegneria del Gruppo ASTM-SIAS quotidianamente impegnata in attività di controllo e monitoraggio di grandi opere e infrastrutture, ha potuto analizzare l'evoluzione nel tempo delle caratteristiche funzionali di pavimentazioni realizzate con determinate miscele bituminose e valutarne la bontà iniziale rispetto alle raccomandazioni dei riferimenti tecnici e normativi di settore, nonché l'efficienza evolutiva a valle di analisi comparative realizzate su diversi casi studio.
Dai risultati ottenuti emerge che l'efficacia di una specifica soluzione rispetto ad un'alternativa non è legata esclusivamente al target prestazionale X_{t0} ottenibile al tempo di costruzione t_0, ma anche alla velocità con cui l'indicatore X decade nel tempo. È bene però sottolineare che qualsiasi intervento si rivelerebbe vano in mancanza di un corretto utilizzo e di una puntuale manutenzione sia dei veicoli che dell'infrastruttura, relativamente a ciascun elemento potenzialmente coinvolto nei fenomeni incidentali, nonché di un comportamento giudizioso dei conducenti.



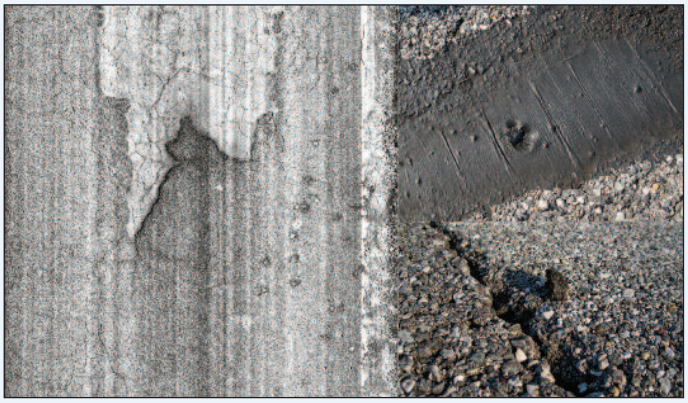
1. *Il dettaglio di una pavimentazione autostradale*



2. *Una simulazione di perdite di aderenza*

Gli elementi di interesse del fenomeno "aderenza"

L'aderenza è l'effetto dell'interazione pneumatico-strada grazie al quale si esplica il movimento relativo fra veicolo ed infrastruttura, con il governo della traiettoria.
I veicoli, per poter percorrere il piano stradale, necessitano di una certa quota di aderenza, che è l'aderenza richiesta.
La superficie della pavimentazione, grazie alla sua specifica struttura, è in grado di offrire una certa quota di aderenza, che è l'aderenza disponibile.
Nel caso in cui l'aderenza necessaria ai fini dell'avanzamento sia superiore a quella disponibile, il rotolamento degli pneumatici è accompagnato da fenomeni di slittamento ed irregolarità che possono condizionare la traiettoria e l'eventuale arresto del veicolo e provocare l'evento incidentale.
Le considerazioni esposte di seguito prendono in esame le proprietà della sovrastruttura stradale, dando per implicite le buone condizioni dei mezzi che la percorrono.
La geometria del tracciato, le condizioni di deflusso del traffico, la planarità e la regolarità della superficie stradale, le caratteristiche della microtessitura e della macrotessitura, la presenza di eventuali discontinuità o detriti, il comportamento dei conducenti e le condizioni del manto stradale: sono tutti fattori in grado di compromettere l'interazione fra pneumatico e strada, con effetti potenzialmente tanto peggiori quanto più è sostenuta la velocità di avanzamento.
Dei fattori anzidetti alcuni sono oggettivamente controllabili e misurabili; altri dipendono fortemente dal comportamento soggettivo dei guidatori.
Pertanto, è naturale comprendere come, anche in autostrada e soprattutto nelle gallerie e in prossimità delle stesse, la congruenza fra l'aderenza richiesta e l'aderenza disponibile - necessaria per un utilizzo in sicurezza dell'infrastruttura - sia una condizione che dipende non solo dagli standard qualitativi assicurati dai Gestori.



3. *I fattori di rischio presenti nella pavimentazione*

Considerazioni sul contesto galleria: l'importanza delle attività di monitoraggio

Allo stato attuale esistono tecnologie e materiali che permettono ai Gestori di innalzare gli standard di aderenza e tessitura delle pavimentazioni sulle autostrade (per esempio, l'impiego di usure ad aderenza migliorata o drenanti, che specialmente in condizioni di pioggia assicurano condizioni più elevate di quanto potrebbero gli strati di usura chiusi tradizionali) e inducono i guidatori ad adottare comportamenti potenzialmente più rischiosi (per esempio, l'aumento di potenza e l'installazione di pneumatici a sezione larga su autoveicoli di serie). Resta ferma, in ogni caso, l'impossibilità di preventivare le conseguenze dovute a fattori quali l'eccesso di velocità e l'esercizio anomalo dei materiali (per esempio, vuoti della miscela per tappeto drenante intasati da polveri e detriti).
In galleria, ambiente che in virtù delle specifiche caratteristiche geometriche è particolarmente esposto in autostrada al rischio di incidenti, le scelte operate dai Gestori per migliorare le condizioni di comfort e sicurezza si esplicano non solo attraverso la messa in opera di uno strato di usura con determinate finalità (per esempio multifunzionale) ma anche nella gestione di diversi elementi accessori della sede stradale, quali ad esempio i marciapiedi.
Così facendo, i Gestori prestano di fatto la massima attenzione nel configurare quella che è la più importante criticità ovvero la zona di imbocco (Figura 4), la quale favorisce il raccordo fra parti del tracciato aventi caratteristiche geometriche e pavimentazioni fra loro dissimili cui corrispondono anche diverse velocità di moto.
Nel supportare i Gestori nelle azioni di controllo e di monitoraggio delle autostrade di competenza, ed in particolare delle caratteristiche strutturali e funzionali delle pavimentazioni, Sineco realizza sia sistematicamente che estemporaneamente misure "globali" di aderenza e di tessitura in condizioni standard (l'aderenza, per esempio, è misurata trasversalmente alla direzione del moto secondo un angolo di deriva prefissa-

4. L'ingresso in galleria rappresentato con nuvola di punti laser

to di 20°), verificando in termini assoluti i livelli prestazionali dell'infrastruttura in fase di realizzazione e in condizioni di esercizio. Grazie a dette misure, è stato possibile costituire ampie banche dati utili anche a controllare l'evoluzione nel tempo dei parametri rilevati e, di conseguenza, stimare i tempi necessari al raggiungimento di livelli minimi accettabili ai fini della sicurezza, in funzione dei quali sono attuate dai Gestori opportune strategie manutentive.

Risultati dalle analisi di decadimento dell'aderenza

Alcuni casi studio sono stati elaborati al fine di evidenziare la potenziale incidenza della variazione delle caratteristiche funzionali delle pavimentazioni sulla sicurezza, considerando i seguenti parametri:

- CAT = coefficiente di aderenza trasversale, misura dell'aderenza [1];
- HS = altezza in sabbia, misura della profondità della macrotessitura superficiale [2];
- IRI = International Roughness Index, indice di regolarità del profilo longitudinale [3].

Nello specifico, sono stati analizzati i parametri di aderenza, tessitura e regolarità di specifiche tratte autostradali, definiti secondo gli standard di riferimento e calcolati con una frequenza spaziale costante sulla base di serie storiche di sei-otto anni.

Le condizioni di rilievo sono normalizzate e tali per cui, nella direzione trasversale al moto, sono state investigate le fasce a ridosso delle due ormaie della corsia più sollecitata (marcia lenta), ipotizzando che la più esterna (ormaia in destra) sia localizzata approssimativamente ad una distanza di circa 50 cm dal margine di bordo della segnaletica orizzontale. Le misure realizzate, in particolare l'aderenza espressa mediante l'indice CAT, sono state preventivamente ricondotte a condizioni termiche (20 °C) e di velocità (60 km/ora) standard grazie all'implementazione di opportune leggi correttive documentate in letteratura [4, 5]. Diverse tipologie di strato di usura sono state considerate: principalmente, usura tradizionale, drenante, multifunzionale e SMA.

L'interpretazione dei risultati sperimentali mostra che è possibile associare un decadimento prestazionale nel tempo ad ognuno degli indicatori considerati, secondo leggi tali per cui è stato verificato il massimo grado di correlazione in termini di coefficiente R^2. Nel dettaglio, si ha che:

$$CAT_t = CAT_{t0} + A*(t-t_0)$$

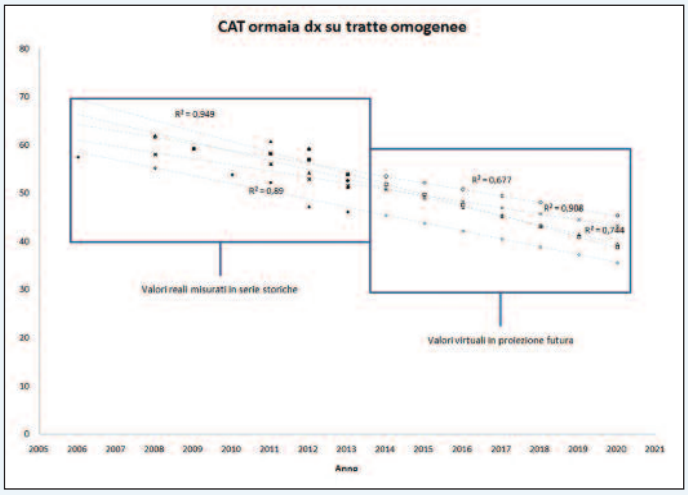
$$HS_t = HS_{t0} + C*\ln(t)$$

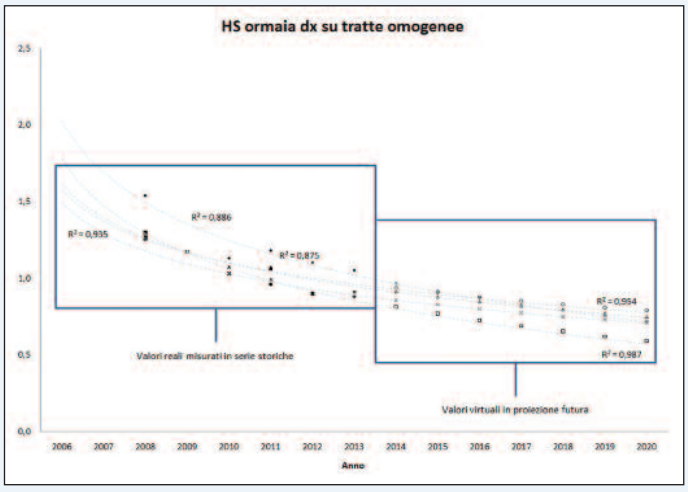
$$IRI_t = IRI_{t0} + E*(t-t_0)$$

Il significato dei termini riportati nelle precedenti è il seguente:

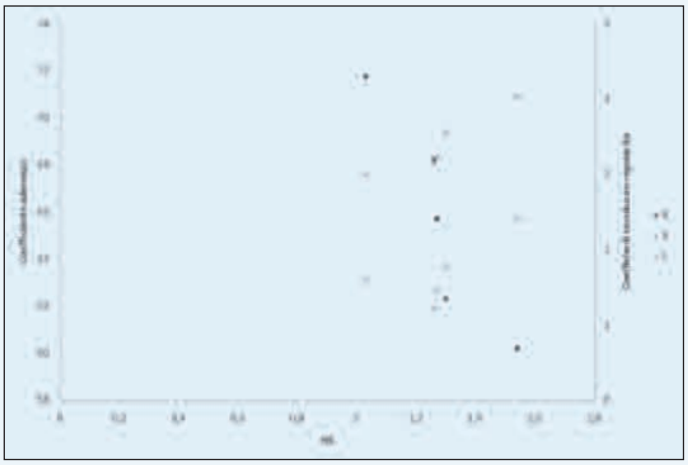
- CAT_{t0}, HS_{t0} e IRI_{t0} sono i valori delle intercette al tempo iniziale t_0 (tempo di intervento);
- CAT_t, HS_t e IRI_t sono le prestazioni al tempo di valutazione t;
- A, C ed E sono dei coefficienti numerici corrispondenti alla pendenza delle curve di decadimento, che a livello pratico rappresentano la velocità con cui le prestazioni iniziali si riducono nel tempo.

Sulla base dei casi studio considerati, è emerso che la velocità di decadimento delle prestazioni di aderenza è partico-





***5A e 5B.** Le leggi di decadimento dei parametri di aderenza e di tessitura per differenti tipi di strato di usura*



6. *I coefficienti A, C ed E calcolati al variare di CAT_{t0} ed HS*

larmente sensibile al valore iniziale associato al parametro CAT ed alla tessitura superficiale dello strato di usura, risultando generalmente maggiore nei tappeti drenanti e macrorugosi rispetto a quelli aventi un contenuto di vuoti ordinario. Si tratta di un risultato piuttosto significativo poiché attesta che la durata utile di intervento t_u, intesa come l'intervallo di tempo a partire dall'intervento di manutenzione entro il quale lo standard prestazionale del parametro considerato è pari o superiore ad una soglia minima accettabile, varia in funzione delle specifiche caratteristiche dell'intervento stesso (tipo di strato costituito, materiali utilizzati, qualità della messa in opera, ecc.).
Così, ad esempio, la durata utile di intervento corrispondente a due soluzioni alternative S1 rispetto a S2 finalizzate al miglioramento delle caratteristiche di aderenza di una pavimentazione risulta nella forma seguente:

$$t_{u,S1} = \frac{A_{S2}}{A_{S1}} \cdot t_{u,S2} + \left(\frac{A_{S1} - A_{S2}}{A_{S1}} \right) \cdot t_0$$

dove:

- A_{S1} e A_{S2} = coefficienti della legge di decadimento del CAT precedentemente definita e calibrata sulle soluzioni S1 ed S2;
- t_0 = tempo iniziale di intervento.

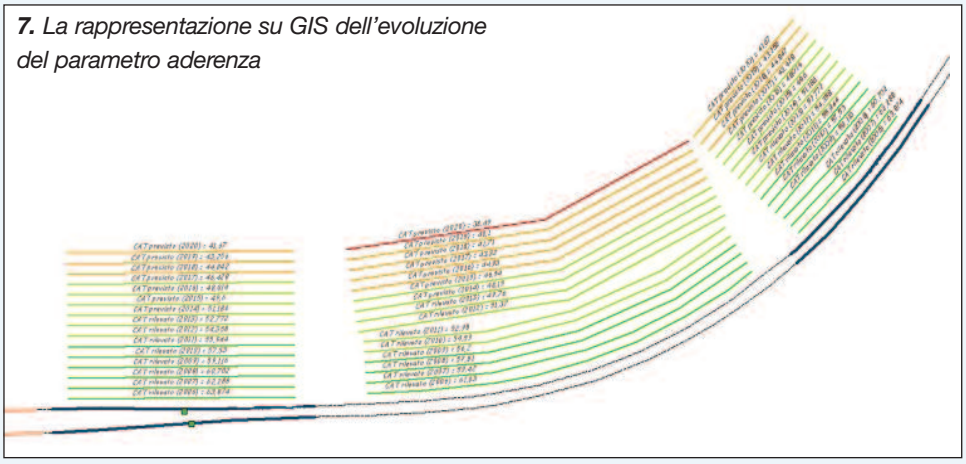
La conoscenza dei coefficienti suggeriti nelle precedenti leggi permette di controllare puntualmente le implicazioni sulla sicurezza e sui processi manutentivi attribuibili alle caratteristiche funzionali delle pavimentazioni.
A titolo di riflessione, si evidenzia l'importanza di valutare il decadimento prestazionale delle pavimentazioni a margine e all'imbocco di una galleria: accettando infatti l'ipotesi che al suo interno sia presente una pavimentazione con strato di usura a basso contenuto di vuoti, ed assumendo invece che immediatamente in prossimità dell'area di imbocco si abbia una pavimentazione con tappeto drenante, è facile intuire come i tempi di ripristino necessari per mantenere uno standard di aderenza superficiale costante e raffrontabile fra le due zone considerate siano diversi fra loro ed implichino la necessità di una specifica programmazione delle manutenzioni. La frequenza di intervento sarà maggiore sul tappeto drenante, proporzionalmente alla differenza di durata utile determinata per i due scenari.

Conclusioni

Il presente articolo focalizza l'attenzione sulla variabilità dei parametri di riferimento adottati per sintetizzare le caratteristiche funzionali delle pavimentazioni autostradali, analizzando le possibili implicazioni relative alla sicurezza di esercizio specialmente nel delicato contesto che è rappresentato dalle tratte in galleria e dai rispettivi approcci.
Sineco, attraverso l'analisi di banche dati opportunamente strutturate, ha potuto determinare per una serie di scenari ricorrenti in autostrada le specifiche leggi di decadimento con cui è rappresentabile l'evoluzione delle prestazioni delle pavimentazioni nel tempo, considerando in particolare l'aderenza, data l'importanza che tale fenomeno riveste ai fini di un esercizio sicuro delle infrastrutture.
I risultati ottenuti mostrano che è importante valutare e modellare le modalità di degrado delle prestazioni delle pavimentazioni, non solo per garantire qualitativamente condizioni di comfort e sicurezza appropriate, ma anche per meglio determinare le necessità di interventi di manutenzione. ■

** Direzione Operativa Sperimentale di Sineco SpA*

BIBLIOGRAFIA

[1]. CNR B.U. n° 147/92.
[2]. CNR B.U. n° 94/83 e UNI EN ISO 13473-1/2004.
[3]. ASTM E 1926-08 e ASTM E950/E950M-09.
[4]. TRRL Laboratory Report n° 738.
[5]. ASTM E1960-98.

7. *La rappresentazione su GIS dell'evoluzione del parametro aderenza*