



RILIEVI INTERLABORATORIO REALIZZATI CON TECNOLOGIE AD ALTO RENDIMENTO

La flotta impiegata per le indagini

L'ESPERIENZA DI ANAS SPA (SOCIETÀ DEL POLO INFRASTRUTTURE DEL GRUPPO FS ITALIANE), AUTOSTRADE PER L'ITALIA SPA E SINA SPA NEL 2023

Il monitoraggio di una pavimentazione è un'azione fondamentale che permette di valutarne lo stato di degrado e pianificare i necessari interventi di manutenzione nel tempo. Molti dei parametri rappresentativi delle caratteristiche funzionali e strutturali della pavimentazione, grazie al progresso tecnologico degli ultimi anni, sono oramai determinati in velocità di traffico con sistemi ad alto rendimento, che forniscono un gran numero di informazioni approfondite e precise, ad elevatissima frequenza e senza interferire con l'esercizio dell'infrastruttura.

Lo sviluppo di sistemi di misura così avanzati offre l'opportunità di descrivere in misura estremamente dettagliata, fra le tante, anche alcune caratteristiche fondamentali per la sicurezza degli utenti: l'aderenza, la tessitura della superficie della pavimentazione (nelle sue componenti macro e micro) e la regolarità longitudinale, sovente riconosciuta come una delle concause che possono provocare la perdita di controllo dei veicoli in avanzamento a velocità sostenuta.

In questo contesto si inserisce la prima importante esperienza congiunta che hanno avuto gli operatori di maggior rilievo in Italia per ciò che attiene all'esercizio e al controllo delle infrastrutture stradali e autostradali, organizzata nel mese di Marzo del 2023 con lo scopo di confrontare qualitativamente - e su basi oggettive (round robin test o prove interlaboratorio) - le misure realizzate su pavimentazioni con tecnologie ad alto rendimento in regime di accreditamento secondo la Norma UNI CEI EN ISO/IEC 17025.

FINALITÀ DEI RILIEVI, MEZZI COINVOLTI E ORGANIZZAZIONE DELLE MISURE

La realizzazione dei rilievi interlaboratorio è stata programmata, anche in considerazione dei protocolli definiti da Accredia nell'ambito della certificazione dei laboratori di prova alla Norma 17025, con lo scopo di analizzare primariamente i risultati ottenuti in termini assoluti, per poi poter trattare anche su basi statistiche le informazioni ad essi riconducibili. Nel caso specifico delle indagini ivi descritte, sono state ricercate le caratteristiche di riproducibilità (misurazione realizzata nel medesimo tempo da operatori diversi) e ripetibilità (misurazione realizzata in tempi successivi dallo stesso operatore) proprie di ciascuno dei parametri rilevati: l'aderenza trasversale (CAT) [1, 3], la macro-tessitura (MPD) [4] e la regolarità longitudinale (IRI) [6] della superficie della pavimentazione.

Gli organizzatori dei rilievi hanno messo a disposizione complessivamente sei sistemi ad alto rendimento, tutti fabbricati da WDM Limited e dotati dei dispositivi necessari alla misurazione dei parametri di interesse: tre veicoli (Ermes) sono stati portati da ANAS (Società del Polo Infrastrutture del Gruppo FS Italiane), due (Summs) da Autostrade per l'Italia ed uno (Scrim) da SINA. Con ognuno dei mezzi impiegati, la cui calibrazione è stata preventivamente verificata da un soggetto esterno supervisore delle attività e garante della corretta messa a punto dei sistemi di misura (VRS), sono state realizzate sei ripetizioni con la finalità di determinare il CAT e 13 ripetizioni con la finalità di acquisire i



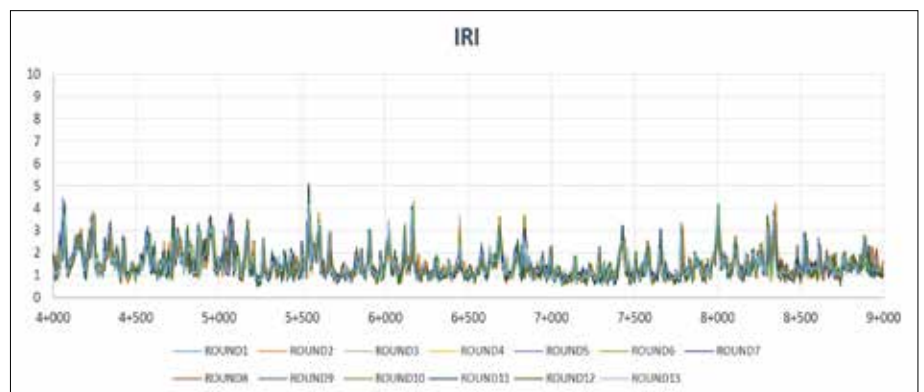
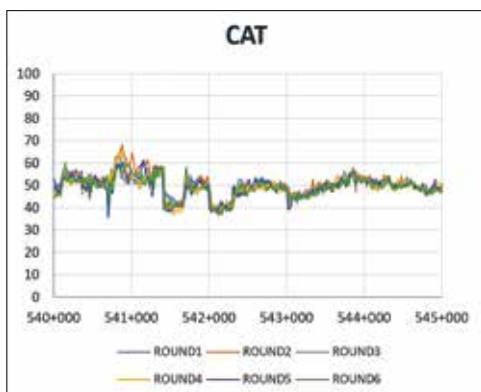
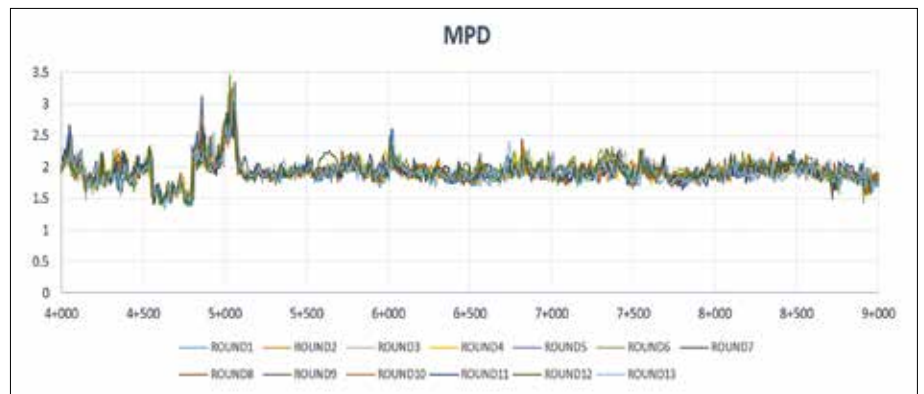
1. I tracciati di riferimento per le misure di CAT, MPD e IRI



2A e 2B. Le pavimentazioni rilevate in A1 (2A) e in A1 dir (2B)

profili longitudinali (propedeutici al calcolo dei parametri MPD e IRI), in condizioni meteorologiche idonee allo scopo. Dal momento che il rilievo dell'aderenza trasversale presuppone il rilascio di acqua in prossimità dell'area di contatto dei ruotini di misura con la pavimentazione, è stato scelto di operare su due differenti siti di indagine ed utilizzarne uno esclusivamente per l'acquisizione dei profili longitudinali in modo che la superficie rilevata fosse sempre asciutta. L'ordine di avanzamento ed il distanziamento dei mezzi sono stati prestabiliti e mantenuti invariati per l'intera durata dei rilievi, al pari della velocità che è stata impostata pari a 60 km/ora. Allo stesso modo, le traiettorie sono state replicate in

modo che il primo equipaggio della flotta prendesse a riferimento sempre gli stessi elementi di margine laterale e gli equipaggi successivi seguissero quanto più fedelmente possibile la

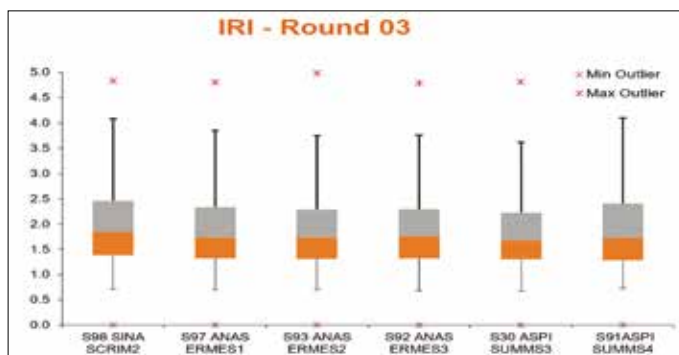
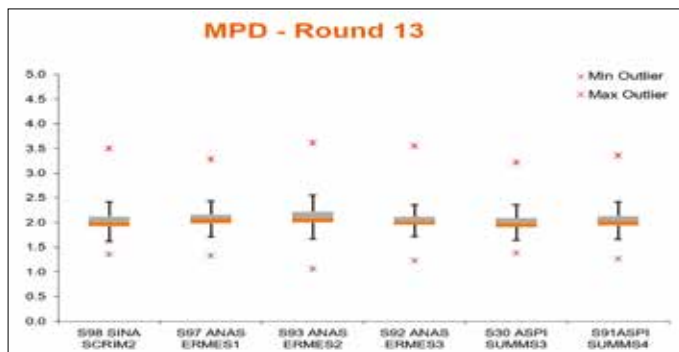
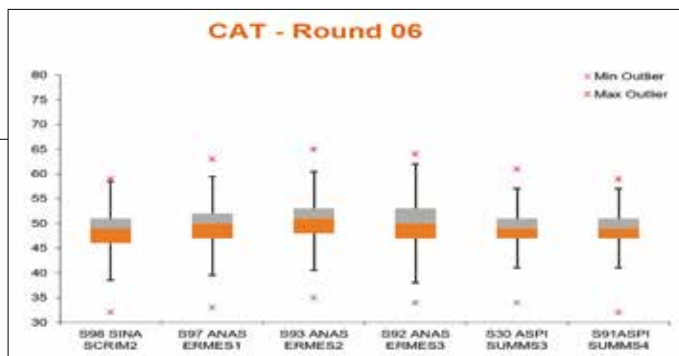
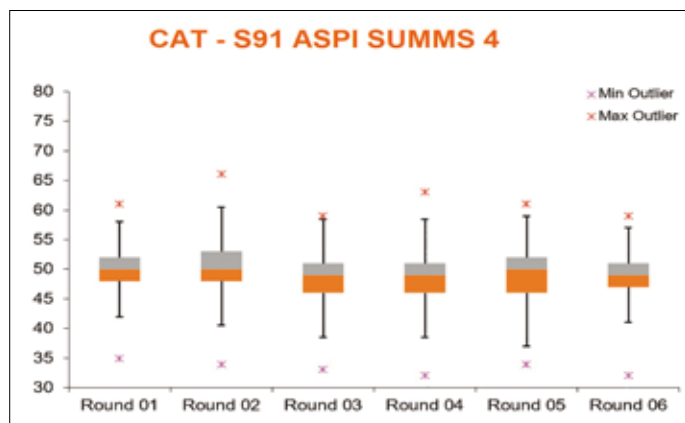


3A, 3B e 3C. Gli andamenti dei parametri CAT (3A), MPD (3B) e IRI (3C) rilevati dal medesimo dispositivo

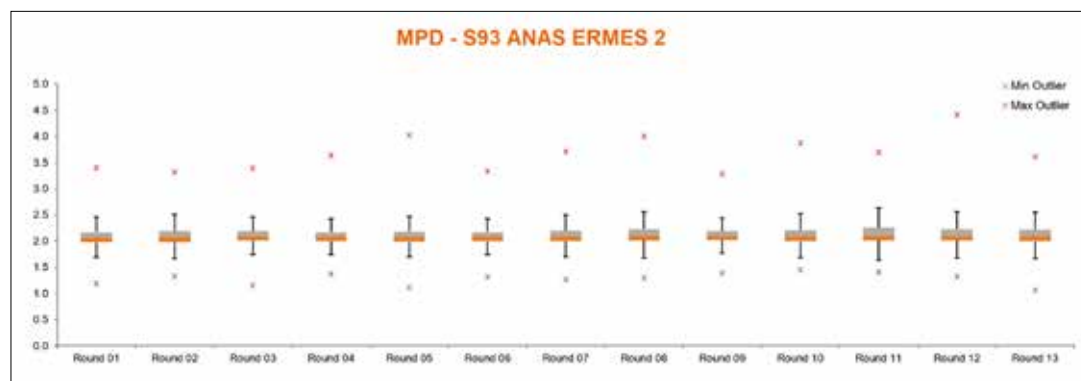
traiettorie impostate dal primo. In questo modo, è stato possibile collocare la totalità delle misure realizzate in corrispondenza delle wheelpaths di destra e di sinistra della corsia percorsa.

LE CARATTERISTICHE DEI SITI DI INDAGINE

I siti di indagine selezionati per la realizzazione dei rilievi sono due tratti autostradali situati nei dintorni di Roma, a tre corsie per senso di marcia e di 5 km di lunghezza ciascuno. In particolare, ai fini delle indagini sull'aderenza è stato percorso il tratto di Autostrada A1 in direzione sud compreso fra i caselli di Roma Nord e Guidonia Montecelio, corrispondente alle progressive di tracciato che vanno dal km 540 al km 545. Le indagini di macrotestitura e regolarità sono invece state realizzate sul tratto di diramazione autostradale di Roma Nord in direzione sud compreso fra i caselli di Fiano Romano e Castelnuovo di Porto,



4A, 4B e 4C. La distribuzione statistica dei parametri CAT, MPD e IRI misurati da dispositivi differenti



5A, 5B e 5C. La distribuzione statistica dei parametri CAT, MPD e IRI misurati in tutte le ripetizioni dai medesimi dispositivi

corrispondente alle progressive di tracciato che vanno dal km 4 al km 9. Ai fini delle indagini in trattazione, è stata rilevata la sola corsia di marcia lenta, in ambedue le tratte prese a riferimento. Nel caso dell'autostrada A1, lo strato di usura delle pavimentazioni rilevate è di tipo drenante con la sola eccezione di un tratto di circa 60 m su viadotto ed un tratto di circa 300 m in galleria, realizzati con miscele aventi un contenuto di vuoti ordinario. Per quanto riguarda invece la diramazione autostradale di Roma Nord, lo strato di usura delle pavimentazioni rilevate è di tipo drenante lungo l'intero sviluppo della sezione percorsa.

I PARAMETRI RILEVATI

I risultati dei rilievi sono stati espressi innanzitutto con riferimento agli andamenti dei parametri misurati: sia in termini di riproducibilità, e quindi mettendo a confronto le misure provenienti da dispositivi differenti, sia in termini di ripetibilità, ovvero mettendo a confronto più ripetizioni dello stesso dispositivo.

A titolo esemplificativo, sono rappresentati nelle Figure 3A, 3B e 3C gli andamenti dei parametri CAT, MPD e IRI rilevati dal Summs 4 di ASPI.

Nelle Figure 4A, 4B, 4C, 5A, 5B e 5C è invece fornita una rappresentazione dei parametri misurati, a parità di estensione dell'asse delle ordinate, arricchita con alcuni indicatori statistici grazie ai quali è possibile riconoscere la consistenza dei risultati dei rilievi anche in relazione al contesto. Oltre ai valori medi di ogni parametro, infatti, sono indicati per mezzi e ripetizioni differenti anche i quartili e gli outlier ricavati sulla base dell'ampiezza dell'intervallo IQR (Inter Quartile Range), grazie ai quali le caratteristiche di correlazione delle misure sono apprezzabili in diversa misura a seconda del parametro di volta in volta considerato.

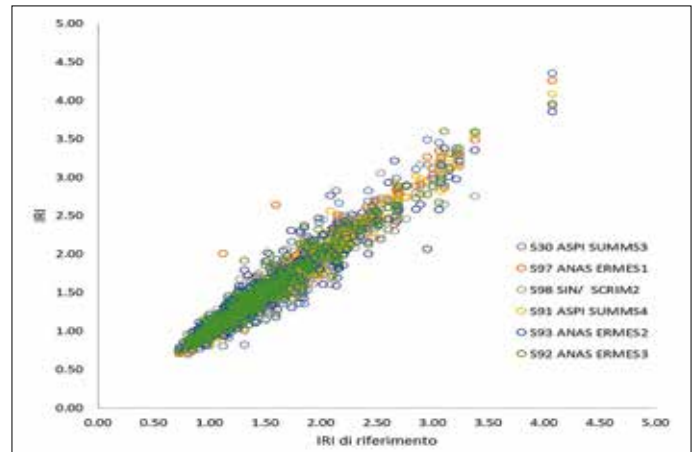
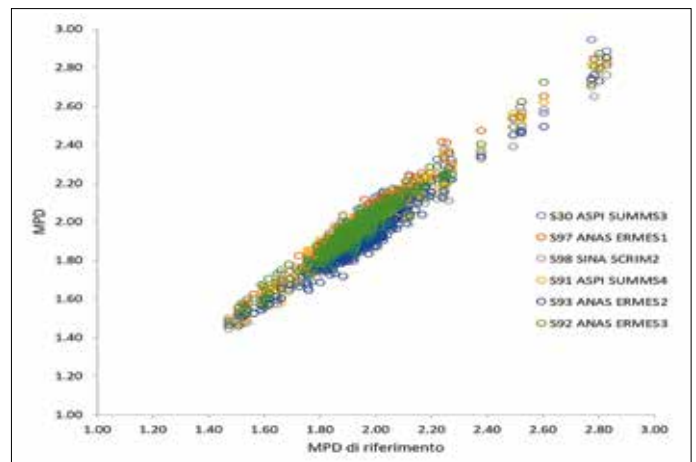
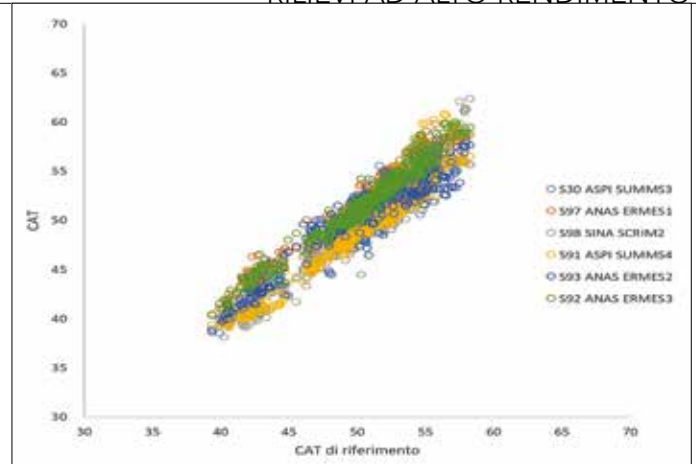
LE VERIFICHE DI CORRELAZIONE DEI RISULTATI OTTENUTI

Sulla base dei suggerimenti relativi all'analisi delle misure descritti in letteratura ed elencati nei riferimenti bibliografici insieme ai protocolli di prova [5, 8] ed ai limiti stabiliti per il riconoscimento della riproducibilità e della ripetibilità dei risultati [1, 2], sono state calcolate alcune caratteristiche delle distribuzioni dei parametri ottenute a valle dei rilievi interlaboratorio per meglio descriverne il grado di correlazione.

In questa fase sono stati determinati, inoltre, i valori medi e le deviazioni standard di ogni parametro rispetto al dispositivo (s_R o BESD) e rispetto alla ripetizione (s_r o BRSD), nonché i limiti di accettazione espressi rispetto al risultato $3xs_R$ [7].

Rappresentando i valori dei parametri CAT, MPD e IRI ottenuti come medie delle misure di ciascun dispositivo nelle ripetizioni effettuate, rispetto ai valori di riferimento dei siti di indagine, si ottengono delle distribuzioni chiaramente centrate rispetto agli assi cartesiani e rappresentabili con una funzione lineare del tipo: $y = ax + b$.

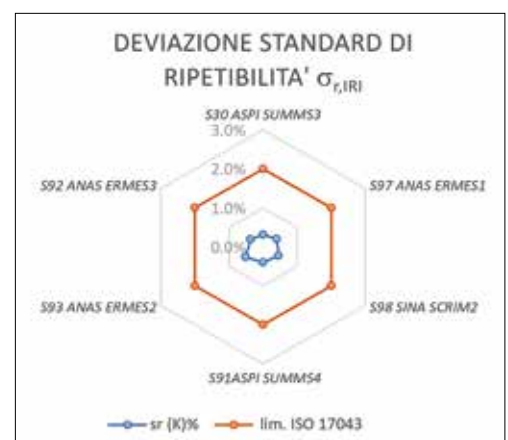
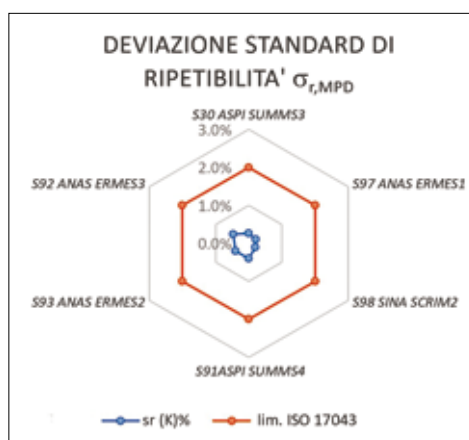
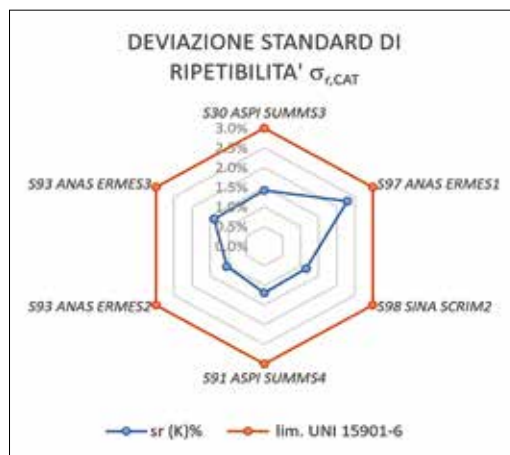
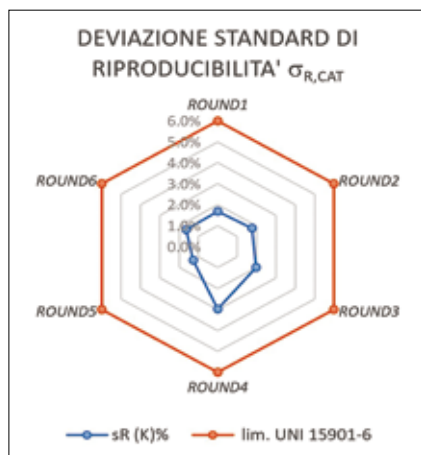
I valori dei coefficienti a, b e il grado di correlazione R^2 di ciascuna funzione rispetto alla serie di riferimento sono elencati in Figura 7.



6A, 6B e 6C. Le distribuzioni dei valori di ciascun parametro misurato rispetto ai valori di riferimento

DISPOSITIVO	CAT			MPD			IRI		
	A	B	R2	A	B	R2	A	B	R2
S30 ASPI SUMMS3	0.9533	13.055	0.9399	10.440	-0.0630	0.9500	10.737	-0.1096	0.9540
S97 ANAS ERMES1	10.061	10.401	0.9586	10.131	0.0207	0.9687	10.311	-0.0375	0.9592
S98 SINA SCRIM2	10.920	-51.791	0.9420	0.9528	0.0484	0.9635	0.9587	0.0586	0.9362
S91 ASPI SUMMS4	10.476	-36.121	0.9406	10.109	-0.0278	0.9675	10.226	0.0442	0.9717
S93 ANAS ERMES2	0.9149	46.025	0.8905	0.9831	-0.0115	0.9531	0.9354	0.0996	0.9017
S92 ANAS ERMES3	0.9990	12.871	0.9637	0.9958	0.0357	0.9540	0.9768	0.0357	0.9465

7. I parametri descrittivi delle funzioni di correlazione



8A, 8B, 8C, 8D, 8E e 8F. Le deviazioni standard di riproducibilità e di ripetibilità

Le misure sono fortemente correlate fra loro, denotando un coefficiente di determinazione medio di 0,9392 per il parametro CAT, 0,9595 per il parametro MPD e 0,9449 per il parametro IRI. Il calcolo delle deviazioni standard di riproducibilità e di ripetibilità realizzato con un intervallo di confidenza del 95% permette anche di collocare qualitativamente le misure rispetto ai limiti delle Norme di riferimento (UNI CEN TS 15901-6 e UNI CEI EN ISO/IEC 17043), come rappresentato nelle Figure 8A, 8B, 8C, 8D, 8E e 8F nell'ordine per il parametro CAT (a), MPD (b) e IRI (c).

In base a quanto mostrato, si può affermare che sono stati raggiunti in termini assoluti risultati molto soddisfacenti per i parametri rilevati (in blu) rispetto ai limiti di norma (in arancione) e che, inoltre, sussiste una diversa sensibilità di ciascun indice alle condizioni al contorno registrate durante i rilievi ed alle traiettorie percorse. ■

⁽¹⁾ Responsabile Studi Specialistici e Laboratorio Alto Rendimento di Sina SpA

⁽²⁾ Responsabile Laboratorio e Alto Rendimento di ASPI - Autostrade per l'Italia SpA

⁽³⁾ Responsabile Laboratorio Alto Rendimento ERMES del CRSS di ANAS SpA

⁽⁴⁾ Tecnico Specialista Laboratorio Alto Rendimento ERMES del CRSS di ANAS SpA

Bibliografia

- [1]. UNI CEN TS 15901-6: 2010 "Caratteristiche superficiali delle pavimentazioni stradali ed aeroportuali - Procedura per determinare l'aderenza della pavimentazione mediante misurazione del coefficiente di aderenza trasversale (SFCS): SCRIM".
- [2]. UNI CEI EN ISO/IEC 17043: 2010 "Valutazione della conformità - Requisiti generali per prove valutative interlaboratorio".
- [3]. CNR BU n. 147: 1992 "Norme per la misura delle caratteristiche superficiali delle pavimentazioni - Metodo di prova per la misura del coefficiente di aderenza con l'apparecchiatura SCRIM".
- [4]. UNI EN ISO 13473-1: 2019 "Caratterizzazione della tessitura delle pavimentazioni mediante analisi dei profili - Determinazione del MPD (profondità media della macro-tessitura)".
- [5]. UNI ISO 5725-2: 2020 "Accuratezza (giustezza e precisione) dei risultati e dei metodi di misurazione - Metodo base per la determinazione della ripetibilità e riproducibilità di un metodo di misurazione normalizzato".
- [6]. ASTM E1926: 2008 "Standard Practice for Computing International Roughness Index of Roads from Longitudinal Profile Measurements".
- [7]. UK Roads Liaison Group: Wright, A. and Brittain, S. "Accreditation and Quality Assurance of Sideway force Skid Resistance Survey Devices".
- [8]. TRL Limited: Roe, P.G. and Sinhal, R. "How do you compare? Correlation and calibration of skid resistance and road surface friction measurements devices".