



MONITORAGGIO DELLE PAVIMENTAZIONI IL CONFRONTO FRA SISTEMI

SINA VALIDA L'EFFICACIA DEL SISTEMA LARAN NEL ROUND ROBIN TEST DI COLONIA, REGISTRANDO LIVELLI DI ACCURATEZZA E RIPETIBILITÀ PROSSIMI AL 100% PER I PARAMETRI IRI, MPD E PROFONDITÀ ORMAIE. L'IMPIEGO DI SENSORI LCMS E LIDAR IN REGIME ISO 17025 GARANTISCE DATI AD ALTA PRECISIONE PER L'OTTIMIZZAZIONE DEI PIANI DI MANUTENZIONE STRADALE



L'utilizzo delle più avanzate tecnologie laser, dei dati massivi generati da sensori installati sugli autoveicoli e degli strumenti fotografici ad altissima definizione oggi disponibili ha permesso di superare quello che storicamente è stato il più importante limite del monitoraggio delle pavimentazioni, ovvero la disponibilità di dati discreti nel tempo, in quantità limitata e di dubbia localizzazione all'interno del contesto di riferimento. Anche con il supporto dell'Intelligenza Artificiale, il monitoraggio delle pavimentazioni oggi può essere realizzato in modo concreto e capillare su qualsiasi porzione di una rete, definendo quantitativamente e qualitativamente le caratteristiche cui sono deputati il comfort e la sicurezza degli utenti, a prescindere dal fatto che si tratti di strade di servizio ad arterie di collegamento in ambito extraurbano ovvero di strade ubicate nelle aree metropolitane. Grazie al monitoraggio sistematico delle pavimentazioni, i gestori stradali hanno la possibilità di aggiornare sistematicamente lo stato di degrado della rete di loro competenza e identificare con un approccio razionale i necessari interventi di manutenzione da attuare nel tempo.

In questa prospettiva, assume una notevole rilevanza la corrispondenza dei dati registrati rispetto allo stato di fatto riscontrabile sul campo con metodi di indagine tradizionali. Sina, operatore leader in Italia per quanto attiene al monitoraggio di grandi opere e infrastrutture grazie all'impiego di tecnologie in regime di accreditamento secondo la norma UNI CEI

EN ISO/IEC 17025, da tempo sottopone sistematicamente il proprio parco mezzi a controlli rigorosi, sia in relazione alle componenti meccaniche e tecnologiche che in relazione ai dati misurati. Ormai da diversi anni, inoltre, annovera la partecipazione a confronti interlaboratorio di vario genere con diversi dei sistemi posseduti. Si desidera mostrare, in queste pagine, i risultati ottenuti nell'ambito di un round robin test che ha visto la partecipazione di oltre 25 player da tutto il mondo ed ha avuto come obiettivo il confronto di una serie di indicatori riconducibili alla famiglia delle irregolarità longitudinali e trasversali della pavimentazione stradale.

LE OPPORTUNITÀ OFFERTE DAI CONFRONTI INTERLABORATORIO

La necessità di conoscere in maniera tangibile la bontà delle grandezze misurate scaturisce innanzitutto dallo sviluppo di sempre più numerosi sistemi di misura dichiaratamente ad altissima risoluzione e precisione. In alcune parti del mondo la buona pratica di mettere a confronto quanto misurato da sistemi differenti, promuovendo occasioni di incontro in cui tutti i partecipanti possano verificare in un contesto oggettivo i dati da loro registrati, è diffusa già da qualche decennio. Per quanto riguarda l'ambito specifico delle misure su strada, esistono organizzazioni che periodicamente promuovono esperienze rilevanti di questo genere, coinvolgendo numerosi partecipanti da diversi continenti. Si pensi, a titolo esemplificativo ma non esaustivo, ai circuiti organizzati negli Stati Uniti

dalla Federal Highway Administration (FHWA), dal National Center of Asphalt Technology (NCAT) o dai vari Dipartimenti dei Trasporti, come ad esempio l'Illinois Certification and Research Track (ICART) del IDoT, nonché a quelli attuati in Europa già nel secolo passato dal Transportation Research Laboratory (TRL) e dal Belgian Road Research Center (BRRC). I risultati di simili esperienze sono spesso stati divulgati in occasione di eventi e simposi del settore ed articolati nell'ambito di progetti complessi che hanno visto il coinvolgimento anche di organizzazioni afferenti ad aree geografiche eterogenee: per citarne solo un paio, sono rilevanti i programmi FILTER (promosso dal FERHL) e ROSANNE (patrocinato dal BRRC e MIRIAM sostenuto da 12 partner europei e nordamericani).

La più recente esperienza del settore in Europa si è tenuta al termine del 2024 in Germania, in un circuito realizzato alle porte di Colonia, ed è stata documentata nel mese di dicembre 2025 in un report a firma di una delle organizzazioni che hanno promosso l'evento, il VTI (Swedish National Road and Transport Research Institute).

L'ESPERIENZA DURABAST: ORGANIZZAZIONE DELLE MISURE E SISTEMI COINVOLTI

I confronti interlaboratorio (ILC o RRT, round robin tests) di cui trattasi sono stati organizzati congiuntamente da BAST e da VTI (Istituti di Ricerca dei dipartimenti dei Trasporti rispettivamente di Germania e Svezia) e promossi nell'ambito del European Road Profile Users' Group (ERPUG), forum itinerante dedicato agli operatori del settore delle tecnologie e della profilometria che da oltre un decennio promuove la condivisione di conoscenza su questi temi nel continente europeo.

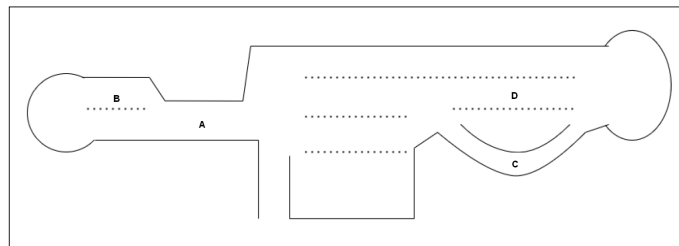
La realizzazione dei rilievi RRT è stata programmata con lo scopo di analizzare i risultati sia in termini assoluti che su basi statistiche, calcolando le caratteristiche di accuratezza (precisione delle misure rispetto ai valori di riferimento), di riproducibilità (misurazione realizzata nel medesimo tempo da operatori diversi) e di ripetibilità (misurazione realizzata in tempi successivi dallo stesso operatore) proprie di ciascuno dei parametri rilevati in relazione alle caratteristiche della superficie della pavimentazione.

Gli organizzatori dei rilievi hanno messo a disposizione di ciascun operatore il circuito su cui realizzare le misure per un tempo congruo, riservando altresì la possibilità di registrare più serie di dati rispetto al numero minimo richiesto (10 ripetizioni) per sopperire a imprevisti dovuti alle condizioni meteorologiche o all'occorrenza di guasti tecnici.

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 in ciascuna parte del circuito è stata impostata secondo i limiti preventivamente stabiliti dagli organizzatori. Allo stesso modo, le traiettorie sono state replicate in modo identico e coerente con le richieste esplicitate nel protocollo di prova trasmesso a ciascun partecipante prima che avessero luogo i RRT. In questo modo, è stato possibile collocare la totalità delle misure realizzate in corrispondenza di linee di avanzamento aventi caratteristiche note.

I sistemi di misura partecipanti alla sessione di RRT sono riconducibili fondamentalmente alle seguenti tre macrocategorie:

- sistemi profilometrici (a scansione puntuale o lineare);



Schematizzazione del circuito di prova

- sistemi LiDAR (con singolo o doppio sensore rotazionale);
- sistemi di misura basati su sensori (veicoli connessi).

Il sistema utilizzato da Sina è il LARAN (LAsER Road ANalyzer), tecnologia che combina due sensori Pavemetrics LCMS con un laser scanner 3D ad alta precisione Zoller Frolich, un complesso di camere sferiche HD Ladybug, un misuratore elettronico di distanza DMI ed un sistema inerziale Applanix POS LV 420.

CONFIGURAZIONE DEL CIRCUITO

Il sito di indagine selezionato per la realizzazione dei rilievi è un circuito che si trova in prossimità di Colonia (D), in corrispondenza dell'intersezione fra le autostrade BAB 3 e BAB 4.

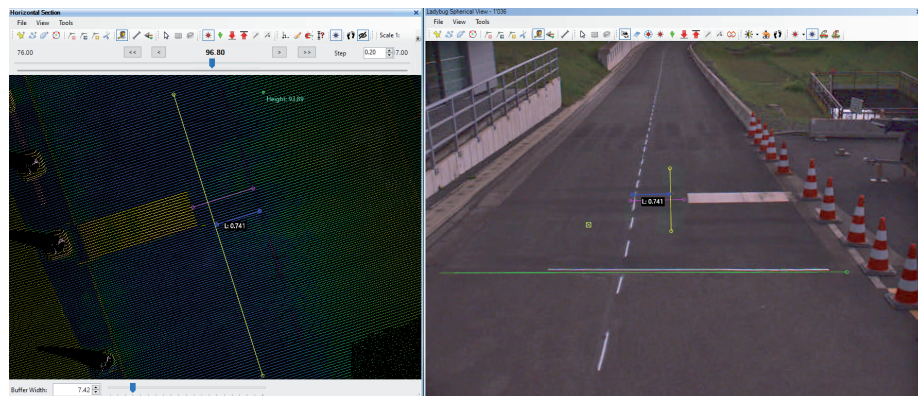
Ai fini dei rilievi, il circuito è stato suddiviso in quattro sezioni (A, B, C, D) per facilitare il riconoscimento e la quantificazione di caratteristiche della pavimentazione ben precise (superficie in conglomerato bituminoso a masse chiuse). Su ciascuna sezione, per poter limitare il più possibile l'effetto che la varia-



Sezione A rappresentata tramite nuvola di punti



Sezione B rappresentata tramite nuvola di punti



Rappresentazione fotografica e tramite nuvola di punti di un dosso

bilità del contesto di misura avrebbe prodotto sul confronto dei risultati, è stata individuata una traiettoria appropriata ed una velocità di percorrenza costante, in ragione degli specifici parametri della pavimentazione ricercati.

CARATTERISTICHE INVESTIGATE

Le caratteristiche ricercate nelle diverse sezioni del circuito sono riconducibili a tre ambiti principali: comfort, geometria e sicurezza. L'approfondimento documentato in queste pagine riguarda il primo dei tre ambiti menzionati, all'interno del quale sono incluse la presenza di fessure e di ormaie, la macrotestitura superficiale della pavimentazione, l'irregolarità longitudinale e la sensibilità a dispositivi collocati lungo il percorso con lo scopo di alterare la planarità della superficie in misura nota (dossi artificiali).

CRITERI PER LA VALUTAZIONE DEI RISULTATI DELLE MISURE E LIMITI DI PROVA

La valutazione dei risultati delle indagini è stata orientata ad evidenziare due caratteristiche delle misure: l'accuratezza (1) e la ripetibilità (2).

Il calcolo dell'accuratezza ha permesso di confrontare i risultati delle misure registrate da tutti gli operatori partecipanti con due diverse serie di riferimento: la prima, la determinazione ottenuta in condizioni standardizzate da un operatore terzo, certificabile in tutte le sue parti; la seconda, la media delle misure di tutte le ripetizioni prodotte dagli operatori partecipanti alla sessione di confronti RRT. Ai fini delle analisi statistiche, eventuali serie o valori anomali sono state escluse a priori dai computi. Per ogni operatore sono state determinate le differenze rientranti in un fuso di accettazione prestabilito, quindi si è proceduto a calcolare il rapporto fra il totale ottenuto e il numero di valori registrati, che rappresenta quantitativamente l'accuratezza (espressa in percentuale) delle misure realizzate dal dispositivo di misura nella totalità delle ripetizioni eseguite, rispetto alla serie di misure di riferimento, al netto della tolleranza espressa attraverso l'intervallo di accettazione prestabilito.

Il calcolo della ripetibilità ha permesso invece di valutare la variabilità dei risultati ottenuti da ogni operatore rispetto ai limiti propri di ciascun parametro misurato. Ai fini dell'implementazione del test di ripetibilità, è stata calcolata innanzitutto la deviazione standard di tutte le misure registrate da ogni

operatore nelle varie ripetizioni. La misura di ripetibilità per ciascun parametro è stata ipotizzata corrispondere al terzo quartile di tutte le deviazioni standard calcolate ed è stata confrontata con un valore limite specificamente assegnato. Il rapporto fra il valore del terzo quartile e il valore limite di riferimento (specifico per ciascuno dei parametri misurati), laddove inferiore all'unità, indica che le specifiche misure analizzate rientrano nel campo della ripetibilità.

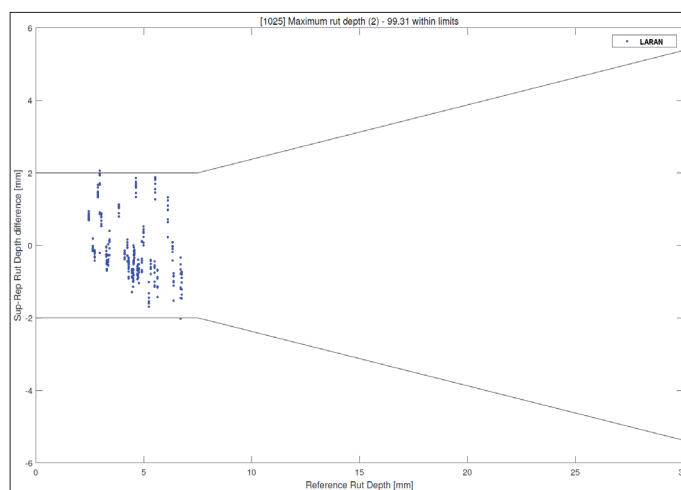
I valori limite di riferimento considerati per i parametri di interesse hanno permesso negli anni di orientare anche gli

stessi standard tecnici di molti Stati nordeuropei sulla base proprio di esperienze di RRT. A titolo esemplificativo, si richiamano in [tabella 1] i valori limite considerati per i test di accuratezza (livello I) e di ripetibilità (livello II) dei parametri IRI e MPD (TV = veicolo testato, Ref = riferimento).

RISULTATI OTTENUTI DA SINA E CONSIDERAZIONI FINALI

Con specifico riferimento alle misure finalizzate alla quantificazione delle ormaie (laddove presenti), della macrotestitura (MPD) e dell'irregolarità longitudinale (IRI), i risultati ottenuti da Sina denotano una buona affidabilità del sistema LARAN, essendo risultati i parametri investigati piuttosto fedeli alla realtà e pertanto ben confrontabili con i valori di riferimento forniti dagli organizzatori dei RRT. È possibile esprimere un quadro di sintesi relativo alle verifiche di accuratezza e ripetibilità realizzate attraverso le tabelle 2 e 3 a pagina seguente.

In [tabella 2] sono indicati i risultati ottenuti da Sina, in relazione a ciascun parametro calcolato, prendendo a riferimento i valori veri certificati dagli organizzatori dei RRT (serie di riferimento). In [tabella 3] sono invece indicati i risultati ottenuti da Sina, in relazione a ciascun parametro calcolato, prendendo a riferimento i valori medi ottenuti sulla base delle misure realizzate da tutti gli operatori partecipanti al circuito.



Verifica di accuratezza, profondità dell'ormaia

	IRI		MPD	
	$\leq 2,00 \text{ mm/m}$	$> 2,00 \text{ mm/m}$	$\leq 1,20 \text{ mm}$	$> 1,20 \text{ mm}$
Livello I	$ \text{TV-Ref} \leq 0,35 \text{ mm/m}$	$ \text{TV-Ref} \leq 0,35 + (\text{Ref}-2,00) \times 10\% \text{ mm/m}$	$ \text{TV-Ref} \leq 0,10 \text{ mm}$	$ \text{TV-Ref} \leq 0,10 + (\text{Ref}-1,20) \times 10\% \text{ mm}$
Livello II	Percentile 75% $\leq 0,20 \text{ mm/m}$		Percentile 75% $\leq 0,10 \text{ mm}$	

TABELLA 1. Esempio di valori limite per i test di accuratezza e ripetibilità

LARAN SINA VS REF	ACCURATEZZA			RIPETIBILITÀ		
	Ref1	Ref2	Requisito	RRT	Sina	Requisito
Profilo longitudinale	96%	100%	$> 80\%$	n.a.	n.a.	n.a.
IRI	59%	87%	$> 75\%$	0,21	0,20	$< 0,20$
RD	76%	99%	$> 80\%$	0,22	0,20	$< 0,50$
RD mobile	49%	92%	$> 80\%$	0,28	0,26	$< 0,50$
MPD	19%	44%	$> 70\%$	0,07	0,06	$< 0,10$

TABELLA 2. Sintesi dei risultati di accuratezza e ripetibilità in relazione alle serie di riferimento

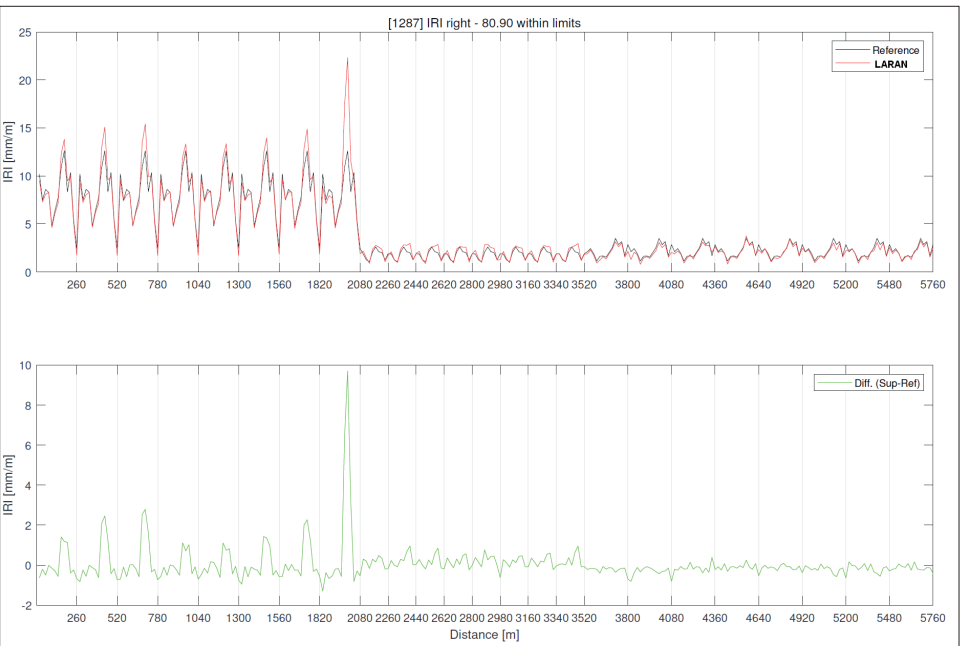
LARAN SINA VS AVG	ACCURATEZZA			RIPETIBILITÀ		
	Ref1	Ref2	Requisito	RRT	Sina	Requisito
Profilo longitudinale	82%	92%	$> 80\%$	n.a.	n.a.	n.a.
IRI	83%	94%	$> 75\%$	0,21	0,20	$< 0,20$
RD	79%	91%	$> 80\%$	0,22	0,20	$< 0,50$
RD mobile	92%	100%	$> 80\%$	0,28	0,26	$< 0,50$
MPD	47%	65%	$> 70\%$	0,07	0,06	$< 0,10$

TABELLA 3. Sintesi dei risultati di accuratezza e ripetibilità in relazione alle misure medie di tutti gli operatori

È significativo rilevare che la maggior parte dei parametri documentati nelle tabelle soddisfa le soglie identificative dei requisiti minimi di riferimento stabiliti sulla base delle norme

adoperate dagli organizzatori dei RRT. In aggiunta a ciò, si osserva anche che per uno dei parametri, la profondità delle ormaie determinata in corsia su una larghezza di 3,2 m, i valori rilevati da Sina sono risultati aderenti alla realtà al 99,3% (il 100% se si considera la verifica dell’accuratezza rispetto alla media delle misure prodotte da tutti gli operatori). In ragione di quanto mostrato si può concludere che i dati prodotti dal LARAN nell’ambito dei RRT di Colonia sono risultati mediamente piuttosto fedeli alla realtà, sulla base dei criteri di valutazione proposti dagli organizzatori, e che per la maggior parte dei parametri calcolati le verifiche di accuratezza e ripetibilità sono risultate molto soddisfacenti e di prim’ordine considerando la totalità delle tecnologie messe a confronto.

⁽¹⁾ Ingegnere Project Manager, Responsabile Pavimentazioni e Studi specialistici, Asset Monitoring & Management - Sina SpA



IRI Sina vs IRI di riferimento