

Dipartimento del territorio
Divisione delle costruzioni

**Analisi di gestione ottimizzata (PMS)
delle opere di conservazione stradale
PMS-TI 2022**

Rapporto del 12 gennaio 2023

Indice

Pagina

RIASSUNTO	5
1 INTRODUZIONE.....	8
1.1 Incarico	8
1.2 Scopo	8
1.3 Struttura del rapporto	9
2 STRUTTURA DEI DATI	10
2.1 Struttura dati in VIAPMS	10
2.1.1 Scopo della banca dati in VIAPMS	10
2.1.2 Dati messi a disposizione dal committente	10
2.1.3 Prospettive	10
2.1.4 Attributi	12
2.2 Definizione della rete	12
2.2.1 Cambiamenti rispetto al rapporto precedente	12
2.2.2 Chilometraggio virtuale	14
2.3 Aggregazione di dati	15
2.3.1 Dati di base del rilievo dello stato della pavimentazione.....	15
2.3.2 Determinazione dei valori caratteristici degli elementi della prospettiva PMS.....	15
2.4 Determinazione di valori derivati (calcolati)	16
2.5 Trasferimento dati da una prospettiva all'altra	16
3 ANALISI DELLA RETE	17
3.1 Definizione di classi di qualità	17
3.2 Definizione del tipo di strada (concetto di "strada principale").....	17
3.2.1 Tipologia di strade secondo nomenclatura cantonale e norme VSS.....	17
3.2.2 Dimensionamento stradale della rete viaria cantonale	18
3.3 Analisi dei dati di base	18
3.3.1 Analisi dei dati del rilievo visivo secondo norma	19
3.3.2 Analisi dei dati del rilievo visivo (indice I_1) secondo formula modificata (I_1-C1)	30
3.3.3 Analisi dei dati della regolarità longitudinale e trasversale	32
3.4 Analisi dei dati per gli oggetti PMS.....	36
3.5 Conseguenze del processo di aggregazione sui valori medi di stato della pavimentazione...	39
3.6 Evoluzione dal 2010 al 2022 dei dati di base e commento	39
3.6.1 Premesse	39
3.6.2 Evoluzione dei valori di base	40
3.6.3 Evoluzione dei valori aggregati.....	41
3.6.4 Commento sull'evoluzione dei valori di stato	42
3.7 Necessità di misure d'urgenza.....	43
4 ELEMENTI DEL SISTEMA DI GESTIONE	44
4.1 Principi di funzionamento di un sistema di gestione	44
4.2 Definizione degli elementi della rete	44
4.2.1 Procedura di segmentazione in oggetti PMS	44
4.2.2 Statistiche sulla suddivisione della rete.....	45
4.3 Variabili d'analisi.....	45
4.4 Modelli d'evoluzione	47
4.4.1 Modelli di degrado dei parametri dello stato della pavimentazione	47
4.4.2 Evoluzione dell'età e del traffico	48

4.4.3	Definizione delle modalità di calcolo dell'indice I_1 e di un indice globale	48
4.4.4	Determinazione dei costi	49
4.4.5	Determinazione dei benefici	49
4.5	Catalogo degli interventi	50
4.5.1	Tipologia degli interventi	50
4.5.2	Costi degli interventi	51
4.5.3	Effetti degli interventi	52
4.5.4	Condizioni d'applicazione degli interventi	52
5	RISULTATI DELL'ANALISI	53
5.1	Tipologia dei risultati	53
5.2	Criterio di ottimizzazione, periodo di analisi e scenari di budget	54
5.2.1	Criterio di ottimizzazione	54
5.2.2	Periodo di analisi	54
5.2.3	Scenari di budget	54
5.3	Progetti vincolati e assicurazione di una dotazione minima per settore	55
5.3.1	Progetti vincolati eseguiti/da eseguire entro fine 2023	55
5.3.2	Dotazione minima per settore	56
5.4	Impostazione dell'analisi	56
5.5	Risultati a livello di rete	57
5.5.1	Evoluzione valore medio	57
5.5.2	Evoluzione del ritardo di conservazione (backlog)	63
5.5.3	Risultati relativi alla determinazione del fabbisogno di conservazione	65
5.5.4	Distribuzione dello stato della pavimentazione	66
5.5.5	Tipologia degli interventi	68
5.6	Risultati per singoli segmenti	70
5.6.1	Proposte di intervento "ottimale"	70
5.6.2	Varianti possibili	70
6	CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI	71
6.1	Stato della rete sulla base dei dati del rilievo 2022	71
6.2	Fabbisogno di conservazione/manutenzione	72
6.3	Raccomandazioni	73

ALLEGATI

- 1 Conservazione stradale – Provvedimenti e costi (Divisione delle costruzioni)
- 2 Definizione dei criteri dei provvedimenti di conservazione stradale (Divisione delle costruzioni)
- 3 Lista dei file di dati e di risultati (su supporto digitale)
- 4 Analisi dei dati del rilievo 2022 in vista dell'ottenimento di leggi di degrado dello stato della pavimentazione

Riassunto

Lo scopo di questo rapporto è un'analisi aggiornata (rispetto agli studi analoghi eseguiti nel 2010, 2014 e 2018) e approfondita dello stato attuale della rete stradale cantonale. A tal proposito è stato adattato e ulteriormente affinato il concetto di conservazione da inserire in un modello che permette di determinare il fabbisogno di conservazione, di fare una serie di proposte per la scelta degli interventi "ottimali" e finalmente di dimostrare le conseguenze della scelta fra vari scenari di mezzi finanziari disponibili.

La **disponibilità dei dati** contenuti nella banca dati LOGO ha costituito una premessa essenziale per lo svolgimento di questo studio. Le informazioni necessarie sono state importate nella banca dati VIAPMS. Le funzioni specifiche di VIAPMS hanno poi permesso, in una prima fase, il calcolo di diversi valori derivati, indici, indici aggregati, classi di dimensionamento, ecc. e la determinazione di valori rappresentativi in una segmentazione adeguata ("oggetti PMS"), diversa da quella dei dati originali. Nella seconda fase è stato possibile introdurre in VIAPMS l'insieme dei parametri e delle regole che costituiscono il modello del concetto di conservazione e far poi eseguire le diverse analisi di programmazione ottimizzata degli interventi di conservazione.

L'analisi dello stato attuale della rete stradale cantonale è stata elaborata su due livelli distinti. Da una parte in considerazione dei valori di base dello stato della rete, rilevati su singoli segmenti di 50 metri di lunghezza e d'altra parte, dopo l'elaborazione di una suddivisione della rete in singoli elementi omogenei ("oggetti PMS"), che potrebbero rappresentare futuri cantieri di conservazione, in considerazione dei valori di stato rilevati. In analogia alla procedura di calcolo utilizzata nell'ambito dell'analisi delle misure di deflessione per la valutazione della capacità portante (SN 40 733b) – secondo cui il valore determinante della deflessione di un tronco di strada omogeneo è rappresentato dalla media di tutti i singoli valori più il doppio valore della loro deviazione standard, il tutto poi eventualmente maggiorato da un fattore di ponderazione – anche per la determinazione dei valori di stato rappresentativi degli "oggetti PMS" è stata adottata una procedura di calcolo con la somma del valore medio e della deviazione standard. Questo modo di procedere corrisponde inoltre alla prassi sviluppata nell'ambito dello studio STRADA-PMS e già utilizzata dall'USTRA e da altri cantoni e conduce a valori "peggiori" di stato della pavimentazione se confrontati con i valori medi ottenuti dai dati di base. Si ricorda inoltre che tutti gli elementi di valutazione – dipendenti dalla tipologia di strade - utilizzati nell'analisi corrispondono alla pratica delle norme VSS applicate su scala nazionale.

L'evoluzione dello stato della rete stradale cantonale mostra che negli ultimi quattro anni l'inversione di tendenza del ritardo di conservazione per l'indice I_1 (calcolato secondo norma) si è stabilizzato e corrisponde a circa il 36% della lunghezza della rete.

L'analisi dettagliata dei dati di stato delle pavimentazioni (valido per i valori di base), mostrano un **miglioramento rispetto ai valori rilevati nel 2018**. Il miglioramento varia a dipendenza degli indici fra il 6.5 e il 11.3%.

Lo stesso scenario si osserva con il ritardo di conservazione (% di segmenti in condizione critica o pessima) con un miglioramento degli indici I_2 e I_3 fra il 2.6 e il 14.9% per i valori di base e fra l'10.9 e il 14.4% per i valori aggregati. Per quanto riguarda l'indice I_1 il ritardo di conservazione è invece aumentato per i valori base (30.0%).

Al medesimo tempo è anche stato possibile constatare che il divario di qualità fra i singoli settori sta diminuendo, tendenza già rilevata nelle precedenti analisi.

Il **modello del concetto di conservazione** è stato elaborato in stretta collaborazione con l'Ufficio del tracciato che ha fornito – con i debiti adattamenti rispetto allo studio del 2018 - i parametri iniziali per la definizione del catalogo degli interventi, in particolare la tipologia degli interventi, la determinazione dei loro costi e la definizione delle condizioni di applicazione e degli effetti dei singoli interventi. Per valutare il comportamento futuro delle pavimentazioni sono stati utilizzati dei modelli di degrado o di evoluzione elaborati sulla base dei dati di stato della rete stradale cantonale associati alle indicazioni sull'età della pavimentazione in modo da poter ottenere modelli validi per la rete considerata. Sebbene i modelli utilizzati per l'analisi PMS restino quelli elaborati nel 2014, nella presente analisi è stato attuato un aggiornamento delle curve di tendenza (allegato 4) che verranno impiegate in futuro.

Un certo numero di analisi preliminari di gestione della rete ha portato alla scelta definitiva del criterio di ottimizzazione (indice globale I_G) e dei fattori di ponderazione per la definizione dei benefici.

È opportuno ricordare che il processo di ottimizzazione mira a individuare – a livello di rete stradale cantonale – la combinazione di interventi (dove, quando, cosa e quanto) che offre il beneficio maggiore per i mezzi finanziari disponibili (investimenti più efficaci a livello di rete).

Il rapporto presenta in modo dettagliato e trasparente tutti gli elementi del modello del concetto di conservazione. Le analisi servono in primo luogo a mettere a disposizione del gestore tutte le informazioni necessarie per una presa di decisione a livello di rete stradale cantonale. Per quanto riguarda le proposte di intervento per i singoli oggetti, bisogna tenere conto del fatto che il modello adottato utilizza un numero di informazioni limitato e con un grado di dettaglio e di precisione inferiori a quanto disponibile nell'ambito dello studio di un singolo progetto stradale.

Per una valutazione finale dei risultati ottenuti sarà finalmente importante tener presente che la loro plausibilità dipende anche, oltre che dal modello presentato, dall'affidabilità dei dati utilizzati.

Il fabbisogno di conservazione della rete stradale cantonale – visto unicamente dal punto di vista dello stato della pavimentazione – è dettato essenzialmente dalle mancanze di qualità riguardanti l'aspetto superficiale delle pavimentazioni (indice I_1) e la regolarità longitudinale (indice I_2).

In considerazione dell'evoluzione degli indici considerati più critici (I_1 , I_2 , e indirettamente anche l'indice globale I_G), la spesa media annuale per il mantenimento della rete ai livelli di indici medi attuali si situa vicino ai 18 milioni, mostrando però a lungo termine un aumento del gruppo dei segmenti in condizioni “sufficienti”. Per mantenere il ritardo di conservazione attorno ai 400 km, il fabbisogno medio annuo è invece di 16 milioni.

A parità di obiettivo (mantenimento almeno degli indici attuali) la spesa di 18 milioni risulta superiore del 28.6%, rispetto a quella del quadriennio precedente, pari a 14 milioni. Questo aumento è causato principalmente dall'aggiornamento dei costi di riferimento dei singoli interventi, che variano dal 29.4% al 53.1%. Applicando questa percentuale all'importo determinato durante l'analisi del 2018, la spesa annua risulterebbe essere tra 18 e 21 milioni.

Si osserva inoltre che questa analisi tiene in conto di un aumento delle migliorie di pavimentazioni nell'ambito di altri lavori stradali, previsti all'infuori della conservazione. Sarà infatti importante verificare nel tempo l'effettivo influsso (miglioramento) dato dalla realizzazione dei progetti previsti a carico di altri crediti (ad esempio di costruzione o di risanamento fonico stradale) e rifare il punto della situazione in occasione del prossimo programma di rilievo dello stato delle pavimentazioni.

Finalmente, si segnala che i grafici sull'impatto degli investimenti di conservazione (capitoli 5.5 e 5.6) sono stati elaborati su cinque scenari di budget e possono servire a determinare la scelta dei mezzi finanziari da mettere a disposizione delle attività di conservazione in funzione di obiettivi concreti che si vogliono raggiungere.

1 Introduzione

1.1 Incarico

L'incarico per lo studio presentato nel presente rapporto – denominato "Analisi di gestione ottimizzata (PMS) delle opere di conservazione stradale" – è svolto in collaborazione con ing. Ivan Scazziga e PMS-Consult, è stato conferito dal Dipartimento del territorio, rispettivamente dalla Divisione delle costruzioni tramite contratto del 4 maggio 2022 sulla base della decisione della Divisione delle Costruzioni dell'11 aprile 2022 e dell'offerta del 29 marzo 2022.

1.2 Scopo

Lo strumento d'analisi per la gestione ottimizzata delle opere di conservazione stradale si prefigge diversi obiettivi generali, e ciò a dipendenza dell'orizzonte temporale:

- A corto termine (orizzonte fino a 4 anni): proporre una serie di opere che fungono da base di discussione per la scelta di quelle da inserire nel prossimo messaggio di conservazione (quadriennio 2024-2027).
- A medio-lungo termine (orizzonte fino a 12 anni): mettere in relazione la progressione del degrado strutturale stradale in rapporto a diversi budget finanziari.

A livello più dettagliato lo scopo dello studio si orienta su tre finalità diverse:

- l'analisi dei dati della campagna di rilievo di stato della pavimentazione 2022
- l'adattamento del concetto di conservazione utilizzato nello studio 2018
- l'elaborazione di un piano di interventi ottimizzato.

L'analisi statistica della campagna di rilievo 2022 per evidenziare lo stato attuale della rete comprende:

- il calcolo dei valori medi degli indici I_{A1} a I_{A5} , risp. I_{B1} a I_{B6} , dell'indice I_1 e degli indici I_2 e I_3 a livello di rete totale, a livello di settore e di tipo di pavimentazione.
- la determinazione delle parti di tracciato da verificare laddove si riscontrassero necessità di misure d'urgenza.

L'elaborazione (modellizzazione) di un concetto di conservazione parte dalle premesse seguenti:

- suddivisione della rete in "sezioni omogenee" (oggetti PMS), a partire dalla prima elaborazione dell'Ufficio del tracciato in base ai dati del rilievo dello stato della pavimentazione (segmenti aggregati);
- adattamento della suddivisione in "sezioni omogenee" per tener conto dei cantieri in esecuzione o previsti nel prossimo quadriennio e dei manufatti importanti;
- aggregazione di tutti i dati a livello degli oggetti PMS;
- definizione e applicazione di un catalogo degli interventi tipo con costi ed effetti;
- una serie di "filtri" per definire le condizioni di applicazione dei singoli tipi di intervento (diagnosi). Questi filtri (o criteri) potranno essere modificati alla luce dei risultati dei primi processi di analisi ottimizzata
- leggi di degrado applicabili alla rete considerata (nella presente analisi si applicano i modelli elaborati negli studi precedenti).

L'elaborazione di proposte per un piano di intervento ottimizzato fornirà le seguenti indicazioni per oggetto PMS: tipo di intervento ottimale, anno di realizzazione e costi a partire dall'introduzione degli elementi del sistema di gestione (catalogo degli interventi tipo, definizione delle condizioni di applicazione degli interventi e leggi di degrado) nel software VIAPMS. Il sistema produrrà i risultati richiesti sulla base della definizione di diversi scenari di budget annui valutando nel frattempo le conseguenze strutturali del patrimonio stradale cantonale. Per ogni scenario sono presentate le proposte di soluzioni ottimali che dovranno poi venire confermate nell'ambito di considerazioni generali sulle necessità prioritarie di intervento e a dipendenza dei risultati di progettazioni dettagliate.

1.3 Struttura del rapporto

La struttura dei dati creata all'interno del sistema VIAPMS è presentata al capitolo due. Questa banca dati è stata "popolata" tramite importazione di dati provenienti da banche dati del Cantone. Nel capitolo sono descritte le regole generali per la definizione della struttura dei dati, le differenze apportate nella definizione della rete, le diverse trasformazioni ed elaborazioni eseguite.

Il terzo capitolo riassume alcuni punti chiave per la definizione delle classi di qualità e la suddivisione della rete in strade principali e secondarie. Inoltre, presenta una panoramica dello stato della rete sulla base dei dati originali del rilievo di stato della pavimentazione 2022 e sulla base della loro proiezione ed aggregazione a livello dei segmenti definiti per l'analisi PMS (valori aggregati che tengono in considerazione tramite debite correzioni anche i lavori eseguiti nel corso dell'anno 2022 dopo il rilievo). Questo capitolo comprende pure un'analisi dell'evoluzione dei valori di base e dei valori aggregati con un commento.

Il quarto capitolo presenta un'introduzione al concetto di sistema di gestione e illustra in modo dettagliato tutti gli elementi necessari alla modellizzazione o simulazione del processo di presa di decisione sulla scelta degli interventi di conservazione. Sono spiegate in particolare le diverse variabili d'analisi, le curve di evoluzione utilizzate nel sistema ed il catalogo degli interventi, con lo studio sui costi unitari, i criteri di applicazione e gli effetti ipotizzati per i vari interventi.

I risultati dell'analisi sono presentati nel quinto capitolo. Questi inizia con delle spiegazioni sui tipi di risultati disponibili ed evidenzia le condizioni quadro legate all'analisi, in particolare, la definizione dei parametri di ottimizzazione (criteri e benefici), la creazione di scenari di budget che fissano l'ammontare dei mezzi disponibili e la presa in considerazione di vari oggetti vincolati. I risultati presentati mostrano le conseguenze delle scelte di budget a livello di rete stradale cantonale in merito all'evoluzione della condizione media delle pavimentazioni, dello sviluppo del volume della percentuale di rete nelle peggiori condizioni (categorie "critico" e "pessimo"), anche designate come "ritardo di conservazione", della distribuzione della condizione della rete stradale in diverse classi di qualità e indicano anche le interrelazioni fra la scelta degli interventi e la somma di mezzi disponibili.

Le conclusioni presentate al sesto capitolo comprendono la valutazione dello stato iniziale della rete, analizzando da una parte i valori dettagliati del rilievo di stato della pavimentazione 2022 (valori di base su segmenti di rilievo di 50 m) e d'altra parte i valori aggregati della segmentazione PMS. L'altro elemento delle conclusioni è la valutazione dei risultati dell'analisi dello stato delle pavimentazioni a medio/lungo termine. Il capitolo è poi completato dalla raccomandazione di proseguire con l'aggiornamento tempestivo delle informazioni contenute nella banca dati, in particolare gli interventi effettuati.

2 Struttura dei dati

2.1 Struttura dati in VIAPMS

2.1.1 Scopo della banca dati in VIAPMS

La creazione di una banca dati separata è necessaria per poter impostare un sistema di gestione specifico al software VIAPMS. Il modo di funzionare di questa applicazione esige l'organizzazione dei dati nel proprio sistema di banca dati di tipo relazionale e con riferimento spaziale lineare.

Tutti i dati utilizzati di definizione e descrizione della rete provengono da banche dati del Cantone Ticino, estratti sotto forma di file EXCEL (indicazioni dettagliate all'allegato 2). Le diverse funzionalità di elaborazione dati di VIAPMS hanno poi permesso tutta una serie di calcoli e di trasformazioni che hanno condotto alla creazione di un file di analisi con i valori rappresentativi di diversi parametri per ogni segmento di analisi (oggetto PMS). Le diverse tipologie di calcolo e di trasformazione saranno descritte più avanti in questo capitolo.

2.1.2 Dati messi a disposizione dal committente

Il committente ha fornito le indicazioni seguenti:

- Definizione della rete stradale: nomenclatura delle strade, settori, lista nodi, punti di riferimento e lunghezze degli assi;
- Larghezza della carreggiata di tutti gli assi;
- Estensione e severità dei gruppi principali di dissesto secondo la norma SN 40 925b (determinazione degli indici individuali I_{A1} a I_{A5} e I_{B1} a I_{B6});
- Coefficiente di regolarità longitudinale s_w (indice I_2), profondità di ormaia (indice I_3) e profondità teorica d'acqua;
- Suddivisione della rete in "sezioni omogenee" (oggetti PMS) in funzione delle condizioni di stato rilevate;
- Età e tipo dello strato d'usura;
- Localizzazione delle parti di percorso in zona urbana (interno degli abitati, sulla base delle indicazioni della segnaletica);
- Condizioni di traffico: TFM₂₀₁₇ e uso da parte di trasporto pubblico su gomma;
- Catalogo degli interventi tipo di conservazione e dei costi;
- Elenco ubicazione dei manufatti di proprietà cantonale;
- Lista dei progetti stradali vincolati: oggetti di costruzione previsti nel programma esecutivo fino al 2024 ed interventi con priorità fonica (stato al 07.09.2022).

2.1.3 Prospettive

Il termine "prospettiva" designa, all'interno dell'applicazione VIAPMS, un certo tipo di segmentazione della rete stradale in singoli elementi puntuali o lineari, generalmente associati a una tipica "famiglia di dati". Per esempio, i dati di rilievo dello stato della pavimentazione sono stati gestiti all'interno della prospettiva "Rilievo_2022", costituita da una successione continua di elementi di lunghezza corrispondente a quella del sezionamento del rilievo di stato, ossia di normalmente 50 metri. Queste prospettive possono anche essere interpretate, nell'ottica delle applicazioni informatiche per le rappresentazioni cartografiche come singoli "layer". All'interno di ogni prospettiva sono poi gestiti i vari attributi dei dati (vedi capitolo 2.1.4).

Le diverse tipologie di prospettive disponibili in VIAPMS sono state descritte in dettaglio nel rapporto di "Analisi di gestione ottimizzata (PMS) delle opere di conservazione stradale PMS-TI 2014", mentre le prospettive create nell'applicazione attuale (2022) per la gestione dei dati della rete stradale cantonale sono indicate alla Tabella 1.

Tabella 1: Prospettive definite in VIAPMS per l'analisi delle strade cantonali 2022

Prospettiva	Dati contenuti e utilizzo
BASE_Strade	La prospettiva di base contiene la definizione della rete stradale e definisce gli elementi di base per tutte le altre definizioni di segmentazioni per gruppi di dati. Il modo di definizione di questa prospettiva di base esige delle indicazioni di riferimento spaziale in termini di chilometraggio continuo e permette anche di gestire delle lacune nel chilometraggio ed un eventuale inizio da un punto chilometrico differente da 0.0. Questa prospettiva contiene oltre al nome degli assi (= ElementID) anche la descrizione del tracciato e l'indicazione della lunghezza totale dell'elemento di base (asse stradale).
PR_STRADA	Questa prospettiva serve a raccogliere ed a gestire le indicazioni sulla posizione dei punti di riferimento lungo l'asse stradale. L'inserimento della posizione dei punti di riferimento lungo ogni singolo asse permette poi di referenziare tutti i dati oltre che con un chilometraggio continuo anche con il sistema di base secondo norma, quindi con punto di riferimento e distanza. I due sistemi di riferimento spaziale possono essere utilizzati anche per l'importazione e l'esportazione di dati.
Larghezze	Questa prospettiva contiene i valori di larghezza della carreggiata e dei marciapiedi. Delle larghezze medie per dei segmenti di lunghezza uguale alla distanza fra i singoli punti successivi con indicazione di un valore di larghezza sono state calcolate a partire dai valori a carattere "puntuale" (= valore di larghezza della carreggiata al punto x) contenuti nelle banche dati STRADA/MISTRA della Divisione delle costruzioni. Le indicazioni di larghezza della carreggiata sono necessarie per il calcolo dei costi degli interventi.
Anno_usura	La segmentazione di questa prospettiva corrisponde allo stato attuale di conoscenza sulla tipologia delle strutture esistenti, in particolare la data (anno) di posa dello strato di usura ed eventualmente la tipologia di materiale impiegata. Per la presente analisi si è proceduto ad aggiornare tutta la rete considerando anche i tratti di strada eseguiti prima del 2000, introducendo le categorie di posa: <90 / 90-94 / 95-99.
Ponti	In questa prospettiva sono stati importati come elemento a carattere lineare i manufatti di tipo "ponte" con le seguenti designazioni nella lista dei manufatti del Cantone: ponte, ponticello, semiponte, soprapasso e viadotto (circa 1'100 elementi). Gli elementi con una lunghezza superiore a 100 m hanno poi portato a definire un segmento separato di tipologia "ponte" nella prospettiva PMS_2.
Rilievo_2022	Questa prospettiva raccoglie l'insieme dei dati del rilievo di stato della pavimentazione effettuata nel 2022 secondo la segmentazione originaria di 50 m. I dati importati si sono limitati a quelli di base mentre tutti gli indici sono stati calcolati all'interno di VIAPMS tenendo conto della definizione di strade principali e secondarie indicata al capitolo 3.2 (per il calcolo degli indici I_2 e I_3). Questa prospettiva contiene anche le informazioni sull'appartenenza dei singoli segmenti ai 7 "settori" (ispettorati) tradizionali della rete stradale cantonale e sul tipo di pavimentazione (asfalto, calcestruzzo o selciato).
Rotonde	Prospettiva a carattere puntuale per rilevare la presenza di rotonde e le loro dimensioni.
Traffico_2022	Questa prospettiva riporta le condizioni di traffico TFM ₂₀₁₇ e l'uso da parte di trasporto pubblico su gomma su tutta la rete. I valori di traffico per il 2022 sono stati calcolati a partire da questi valori ammettendo un incremento annuo dell'1.0%. I dati di questa prospettiva (in particolare le classi di dimensionamento T1 a T5) determinano la suddivisione fra le categorie di strade principali (classi T4 e T5) e secondarie (T1 a T3, vedi capitolo 3.2). Il volume di traffico TGM è poi anche considerato nella formula di calcolo dei benefici (vedi cap. 4.4.5).

Zone_urbane	Questa prospettiva differenzia, sulla base delle indicazioni della segnaletica, la rete stradale in zone di passaggio in agglomerato urbano e zone interurbane.
SEG_AGGR	La segmentazione della rete considerata per questa prospettiva corrisponde alla definizione di segmenti aggregati per l'analisi PMS proposta dalla Divisione delle Costruzioni sulla base dell'analisi dei dati del rilievo 2022 e dell'applicazione di una procedura semplificata per una definizione "automatizzata" di zone omogenee corrispondenti ai futuri singoli cantieri. Questa suddivisione è stata utilizzata per l'analisi statistica della distribuzione dei valori di stato a livello di rete per i segmenti aggregati presentata al capitolo 3.6.
PMS	La segmentazione di questa prospettiva corrisponde a quella dei segmenti aggregati. La prospettiva è stata utilizzata per un'analisi PMS preliminare allo scopo di determinare sommariamente il fabbisogno finanziario di conservazione totale e di verificare, tramite successivi controlli sul terreno l'affidabilità dei criteri per la scelta del tipo di intervento.
PMS_2	La segmentazione di questa prospettiva è il risultato di un certo numero di modifiche per la definizione dei punti di inizio e di fine di un segmento fatte al fine di poter tener conto in particolare dei segmenti vincolati previsti per gli anni 2022 e 2024. Questa segmentazione è stata utilizzata per l'analisi PMS definitiva.

2.1.4 Attributi

I tipi di attributo disponibili nell'applicazione VIAPMS sono stati descritti in dettaglio nel rapporto "Analisi di gestione ottimizzata (PMS) delle opere di conservazione stradale PMS-TI 2014".

La lista dettagliata di tutti gli attributi definiti per l'applicazione PMS-TI 2022 con i relativi dati figura in un file all'allegato 3 del rapporto.

2.2 Definizione della rete

2.2.1 Cambiamenti rispetto al rapporto precedente

Lista degli assi

Rispetto alla lista degli assi considerato per lo studio PMS 2018 vi sono stati diversi cambiamenti nella definizione della rete. Queste variazioni riguardano aggiunte o eliminazioni di assi, modifiche della lunghezza o cambiamenti di nome. Questi assi e la natura del cambiamento sono riportati nella tabella seguente.

Tabella 2: Modifiche degli assi comprendenti la rete stradale cantonale (stato: aprile 2022)

Asse	Itinerario	Lunghezza (m)	Osservazioni
P13 +/-	Rotonda Piazza Castello Locarno	185.00	asse accorciato di 973 m e rinominato
P2	Motto Bartola-Airolo-Chiasso	115'000.00	asse accorciato di 6'457 m
P2.1	Bretella Pasquerio	213.00	asse accorciato di 97 m
P2.5	Svincolo A2-Rotonda ex Macello	470.00	asse accorciato di 139 m
P394	Stabio Est-Dogana Gaggiolo	0.00	asse ceduto
P394.1	Accesso camionale	0.00	asse ceduto
P403	Bissone-Confine Campione	1'012.00	asse accorciato di 175 m
P404	Paradiso-Grancia-Figino	4'497.00	asse accorciato di 715 m
P406.1	Bretella Cadenazzo-Mte Ceneri	567.00	asse accorciato di 34 m
P412	Airolo-Nante	3'219.00	asse accorciato di 60 m
P561	Confine Uri-Motto Bartola	10'909.00	asse accorciato di 415 m
PA13	Ascona-Brissago	9'786.50	asse accorciato di 5'922 m
PA13 +/-	Rotonda Aeroporto-Mappo	0.00	asse ceduto
PA13MA	Allacciamento di Mappo	0.00	asse ceduto
PA13MOR	Allacciamento di Morettina	0.00	asse ceduto
PA13SMA	Disimpegno San Materno	426.00	asse accorciato di 866.5 m
PA13TE	Allacciamento di Tenero	0.00	asse ceduto
PA394	Stabio Est - Gaggiolo	0.00	asse ceduto
PA394ME	Svincolo Mendrisio	0.00	asse ceduto
PA394PI	Svincolo Pizzolo	0.00	asse ceduto
PA413	Confine VS-Airolo	23'173.00	asse accorciato di 580 m
PA416	Confine GR-Biasca	41'303.00	asse accorciato di 705 m
PT406	Rotonda Aeroporto-Riazino	750.00	asse accorciato di 7'075 m
S106.5	Rot Breggia-Morbio Inf-Sta Lucia	948.00	asse accorciato di 57 m
S107	Stabio Est-Bivio Ligornetto-Coldrerio	3'456.00	asse accorciato di 105 m
S113	Stabio Est-S Pietro-dog Clivio	2'016.00	asse accorciato di 24 m
S208.4	Sessa bretella Cimitero	294.00	correzione lunghezza di 100 m
S215	Carso-Pazzallo-Carona-V. Morcote	13'747.00	asse accorciato di 25 m
S216	Figino-Morcote-Melide	8'901.00	asse accorciato di 35 m
S219	Bretella Fornaci	0.00	asse ceduto
S313.1	Accesso Bidogno-Carusio	0.00	asse ceduto
S413.3	Accesso Piazza della Trinita	0.00	asse ceduto
S413.4	Muralto via Sempione	377.00	nuovo asse
S704	Ambri Sotto-Varenzo	2'940.00	asse accorciato di 287 m

Tipologie di pavimentazione ed estensione del rilevamento

I tratti con pavimentazione in selciato sono stati rilevati come tali, tuttavia senza dati di rilievo veri e propri per l'insieme degli indicatori di stato.

Un altro genere di cambiamento riguarda la presenza di pavimentazioni in calcestruzzo e in selciato e l'estensione delle tipologie di rilievo ai tipi di pavimentazione. Le pavimentazioni in calcestruzzo sono diminuite, rispettivamente state ricoperte sulla lunghezza di circa 5 km. Nel caso delle pavimentazioni in selciato si rileva invece una differenza complessiva di circa mezzo km, che è verosimilmente riconducibile a imprecisioni o lacune del rilievo precedente.

Tabella 3: Lunghezze di pavimentazioni in calcestruzzo o selciato.

Tipo pavimentazione	Asse	Lunghezza 2018 [km]	Lunghezza 2022 [km]	Differenza [km]
Calcestruzzo	P13	1.173	1.140	-0.033
Calcestruzzo	P2	14.591	11.432	-3.159
Calcestruzzo	P561	0.737	0.734	-0.003
Calcestruzzo	PA413	10.767	10.770	+0.003
Calcestruzzo	PA416	8.475	7.520	-0.955
Calcestruzzo	PT406	1.036	0.000	-1.036
Calcestruzzo	S303	0.000	0.008	+0.008
Calcestruzzo	S616	0.000	0.009	+0.009
Calcestruzzo	Totale	36.779	31.613	-5.166
Selciato	P2	1.178	1.050	-0.128
Selciato	P561	8.652	8.443	-0.209
Selciato	S106.1	0.149	0.100	-0.049
Selciato	S702	0.081	0.000	-0.081
Selciato	S704	0.059	0.050	-0.009
Selciato	S708.1	0.060	0.078	+0.018
Selciato	Totale	10.179	9.721	-0.458

2.2.2 Chilometraggio virtuale

L'applicazione VIAPMS è in grado di gestire diversi metodi di riferimento spaziale e pertanto certi gruppi di dati sono stati importati con un riferimento spaziale connotato dall'indicazione del punto di riferimento PR e dalla distanza, rispettivamente dai nodi.

Il sistema di riferimento spaziale di base dell'applicazione è però un metodo di chilometraggio (il termine "chilometraggio" è utilizzato qui in senso generico, l'unità di misura della distanza è il metro) continuo che è stato utilizzato per l'importazione della definizione della rete (lista degli assi stradali con lunghezza complessiva e descrizione del tracciato). L'unità di misura utilizzata per questo metodo è il metro (non il km) e nella stragrande maggioranza dei casi la lunghezza complessiva e le distanze cumulate dei singoli punti finali di ogni asse sono stati determinati dalla somma di ogni singolo segmento (intervallo fra punti di riferimento successivi). In alcuni casi particolari, contraddistinti da discontinuità del tracciato, si è optato per l'assegnazione in VIAPMS di una distanza cumulativa "forzata". Taluni assi presentano quindi delle "lacune" nelle distanze cumulate e la misura delle lunghezze totali non tiene in conto queste "lacune" di tracciato, che possono essere anche considerate come asse fittizio.

2.3 Aggregazione di dati

Con aggregazione si intende una procedura di determinazione di valori rappresentativi a partire da più dati iniziali. La necessità di un processo di aggregazione si presenta essenzialmente su due livelli diversi nell'ambito dei compiti legati alla gestione dei dati delle pavimentazioni:

- i dati di base del rilievo dello stato delle pavimentazioni;
- la segmentazione in oggetti di gestione (prospettiva PMS).

2.3.1 Dati di base del rilievo dello stato della pavimentazione

A livello dei dati di base del rilievo di stato della pavimentazione occorre determinare per ogni singolo elemento di base (solitamente lungo 50 m) il valore rappresentativo laddove il rilievo ha prodotto più risultati del medesimo parametro di misura per uno stesso elemento, per esempio:

- coefficiente di regolarità longitudinale s_w nelle tracce delle ruote sul lato sinistro e destro del veicolo di misura;
- profondità di ormaia sul lato destro e sinistro di una corsia;
- profondità teorica d'acqua sul lato destro e sinistro di una corsia.

La procedura di aggregazione a questo livello (aggregazione trasversale) consiste nel prendere in considerazione il dato peggiore (valore massimo). Questo tipo di approccio è stato utilizzato nel caso dei valori di profondità di ormaia e di profondità teorica d'acqua.

Nel rapporto PMS-TI 2010 erano stati introdotti i motivi per la scelta del valore medio delle due tracce di ruota del coefficiente s_w per la determinazione dell'indice di regolarità longitudinale I_2 . Il presente studio riprende il medesimo approccio (come già anche per lo studio 2014 risp. 2018), anche per mantenere la continuità e la comparabilità dei dati. Questi calcoli vengono eseguiti nell'applicazione VIAPMS secondo la procedura della determinazione di valori derivati descritta al capitolo 2.4. Per alcune tabelle dell'analisi dei dati presentata al capitolo 3 sono comunque stati calcolati degli indici I_2 anche a partire dal valore s_w massimo delle due tracce di ruote (I_{2Max}). In questi casi, per contraddistinguere meglio le due procedure di calcolo, i valori dell'indice I_2 calcolati a partire dal valore medio del coefficiente s_w sono invece indicati come I_{2Med} .

2.3.2 Determinazione dei valori caratteristici degli elementi della prospettiva PMS

La definizione spaziale dei segmenti aggregati (asse, PR inizio e fine) è stata effettuata secondo l'impostazione riportata al cap. 4.2.1.

I valori aggregati (aggregazione longitudinale) per gli indicatori di stato della pavimentazione corrispondono alla media di tutti i singoli valori presenti sulla lunghezza dell'oggetto PMS (media ponderata secondo la lunghezza del singolo elemento di base) più la loro deviazione standard.

La determinazione dei valori aggregati degli indici è stata eseguita in tre fasi:

- nella prima fase si definisce una procedura di estrazione di dati a partire dai valori nella prospettiva di origine (Rilievo_2022) che determina sia il valore medio che la deviazione standard rispetto ad una segmentazione secondo la prospettiva di destinazione (per esempio PMS); il risultato di questa prima fase è un file esterno con i risultati richiesti;

- nella seconda fase si calcolano nel file esterno le somme di valore medio e di deviazione standard per i singoli indici e si procede alla correzione se il risultato dovesse eccedere da quello limite del singolo attributo (la somma del valore medio e della deviazione standard non può infatti risultare maggiore a 5.0 che corrisponde al limite superiore della scala dei valori dell'indice);
- nella terza fase si procede all'importazione dei valori aggregati degli indici nelle prospettive di destinazione.

Nel caso degli indici del rilievo visivo delle pavimentazioni in asfalto l'indicatore globale per lo stato di superficie adottato nel processo di aggregazione è stato l'indice I_1-C1 , diverso rispetto a quanto fatto nelle analisi del 2014 e 2018 dove era stato impiegata la trasformazione d'indice I_1-C2 .

La decisione di impiegare la formula modificata I_1-C1 è data dal fatto che è stata evidenziata una migliore corrispondenza con la situazione rilevata in situ dall'Ufficio del tracciato (sempre secondo quanto previsto dalla VSS 40 925b) rispetto al risultato del rilievo ARAN 2022.

Per la determinazione dei valori rappresentativi di ogni oggetto PMS per tutti gli altri dati si veda la procedura di trasferimento dati da una prospettiva all'altra secondo il cap. 2.5.

2.4 Determinazione di valori derivati (calcolati)

La determinazione di valori derivati, per esempio il calcolo degli indici a partire dai valori di base, può essere eseguita all'interno di VIAPMS tramite due funzioni diverse:

- la trasformazione tramite formula e
- la trasformazione tramite tabella incrociata.

Per ambedue le funzioni vengono indicati l'attributo da calcolare, le condizioni da applicare alla trasformazione (filtro) ed il valore di "default" da inserire se le condizioni non sussistono.

2.5 Trasferimento dati da una prospettiva all'altra

Il processo della determinazione di valori derivati a partire da una certa segmentazione di dati a una diversa deve tener conto di certe regole per la scelta rispettivamente il calcolo del valore determinante. Questo tipo di procedura è stato essenzialmente applicato per "popolare con dati rappresentativi" la prospettiva PMS di tutti gli attributi all'infuori degli indici di stato (per questi ultimi è stato applicato il procedimento di "aggregazione"). Per la maggior parte dei valori numerici il dato determinante è costituito dal valore medio, con la dovuta considerazione di eventuali lunghezze diverse degli elementi "fonte" sotto forma di una ponderazione secondo la lunghezza di ogni singolo elemento. In altri casi si è invece considerato il dato preponderante fra diversi valori o caratteristiche possibili (per esempio per l'anno di posa od il tipo di struttura). In altri casi particolari (il numero di rotonde ad esempio) è stata considerata la somma delle presenze e per quanto concerne l'appartenenza ad un settore il codice del primo settore incontrato sull'elemento "destinazione".

3 Analisi della rete

3.1 Definizione di classi di qualità

Le classi di qualità utilizzate per caratterizzare lo stato della pavimentazione si orientano alle norme della VSS. Le cinque categorie sono definite nel modo seguente:

buono:	da 0.0 a 1.0
medio:	da 1.01 a 2.0
sufficiente:	da 2.01 a 3.0
critico:	da 3.01 a 4.0
pessimo:	da 4.01 a 5.0

3.2 Definizione del tipo di strada (concetto di "strada principale")

3.2.1 Tipologia di strade secondo nomenclatura cantonale e norme VSS

La denominazione delle strade cantonali usa le seguenti convenzioni di nomenclatura:

- P... (per esempio: P2), per "strada principale" ai sensi della classificazione cantonale,
- PT... (per esempio: PT 406), per "strada principale svizzera di pianura (Talstrasse)",
- PA... (per esempio PA 413), per strada principale svizzera di montagna (Alpenstrasse)",
- S ... (per esempio S101), per "strada secondaria" ai sensi della classificazione cantonale.

Questo concetto "storico/amministrativo" di classificazione delle strade può condurre a raggruppare assi viari dalle caratteristiche e dai volumi di traffico ben diversi. Nell'ambito del presente studio e su proposta della Divisione delle costruzioni la definizione del tipo di strada (ai sensi della norma SN 40 040b) è legata alla tipologia del tracciato e alla categoria di traffico di dimensionamento T_i (determinata dalla Divisione delle costruzioni) come riportato qui di seguito:

- RGD (route à grand débit/Hochleistungsstrasse HLS): strada di tipologia "autostrada"; in questa categoria figuravano unicamente gli assi PA13+ e PA13- (fra la rotonda dell'aeroporto e Mappo), ceduti ad USTRA a partire dal 1.1.2020 nell'ambito del decreto NEB (neuen Netzbeschluss).
- RP (Route principale/Hauptverkehrsstrasse HVS): tutte le strade con una classe di traffico di dimensionamento T4 o T5. In questa categoria rientrano anche alcuni assi con una nomenclatura di "strada secondaria" (Sxxx).
- RL (route de liaison/Verbindungsstrasse VS/Sammelstrasse SS/Erschliessungsstrasse ES): tutte le strade con una classe di traffico di dimensionamento T1 a T3. In questa categoria rientrano anche diversi assi con una nomenclatura di "strada principale" (Pxxx).

La ripercussione pratica di questa suddivisione sussiste nell'applicazione di diverse curve di trasformazione fra il valore rilevato e l'indice di stato per la pianeità longitudinale (indice I_2) e la pianeità trasversale (indice I_3).

Fino all'analisi PMS del 2014 compresa, il criterio considerato per distinguere una strada principale (RP) da una secondaria (RL) era il carico di traffico (TGM). In presenza di un TGM > 10'000 veicoli si considerava la strada quale principale, in caso contrario secondaria. Questo approccio è da considerarsi approssimativo ed è stato migliorato dal 2016 basandosi sui dati restituiti dal dimensionamento stradale della rete viaria cantonale.

3.2.2 Dimensionamento stradale della rete viaria cantonale

La redazione di una carta del dimensionamento stradale della rete viaria cantonale ha avuto luogo in due fasi ben distinte. In una prima fase (2011-2014) si è determinato il dimensionamento alla portanza, secondo la norma vigente all'epoca (SN 640 430), applicando ai valori del traffico giornaliero medio (TGM) un'ipotetica aliquota dei veicoli pesanti in funzione del TGM medesimo. Tuttavia, è chiaramente emerso che su parecchi e lunghi tratti vi era una divergenza tra il risultato di dimensionamento scaturito dal calcolo rispetto alle impressioni soggettive degli ispettorati stradali.

Trattandosi di segmenti stradali estesi è evidente che modifiche della classe di traffico verso l'alto incidono notevolmente sui futuri impegni finanziari. Siccome il risultato finale del dimensionamento resterà sostanzialmente valido per i prossimi 20-30 anni, ad eccezione di mutazioni puntuali o regionali che possono avvenire, l'Ufficio del tracciato (Utrac) ha optato e proceduto da fine 2014 ad un conteggio preciso dei veicoli pesanti (numero e tipologia) così da poter attuare il calcolo di dimensionamento secondo la citata norma e con parametri maggiormente attendibili.

Con l'aggiornamento della rete stradale e l'applicazione del criterio della classe di traffico (di dimensionamento), l'estensione delle strade cantonali principali è aumentata da 101 a 118 km. Si osserva invece una riduzione di 62 km della rete delle strade secondarie cantonali che passa da 954 a 891 km rispetto al 2016.

Tabella 4: Lunghezze di strade principali e secondarie (base: assi e PR 50 m)

Classe stradale	TGM	Classe di traffico	Fino all'anno 2016		Anno 2022	
			Lunghezza	ripartizione	Lunghezza	ripartizione
	[-]	[-]	[km]	[%]	[km]	[%]
Strada principale	≥ 10'000	T4-T5	100.7	9.6	118.4	11.7
Strada secondaria	< 10'000	T1-T2-T3	953.7	90.4	891.4	88.3
	Totale		1'054.4		1'009.8	

3.3 Analisi dei dati di base

Questo capitolo presenta le analisi statistiche sulla distribuzione dei vari indici di stato secondo una suddivisione per tipo di pavimentazione (asfalto, calcestruzzo e selciato), per settore (nel caso delle pavimentazioni in asfalto), per asse stradale (nel caso di pavimentazioni in calcestruzzo) e per l'intera rete. Gli indici di stato analizzati sono stati calcolati secondo le prescrizioni di norma a partire da ogni singolo segmento di base del rilievo dello stato della pavimentazione 2022 con generalmente una lunghezza unitaria di 50 m.

3.3.1 Analisi dei dati del rilievo visivo secondo norma

I dati analizzati degli indici del rilievo visivo sono presentati in una suddivisione per settori e per l'intera rete nel caso delle pavimentazioni in asfalto (indici I_{A1} a I_{A5}). Per le pavimentazioni in calcestruzzo (indici I_{B1} a I_{B6}), presenti su un totale di soli sei assi stradali, è stata data la preferenza ad una suddivisione per asse e per l'intera rete non ritenendo interessante il riferimento ai settori. I valori dell'indice I_1 sono pure stati calcolati separatamente per tipo di pavimentazione.

Per le pavimentazioni in selciato, per le quali non è (ancora) definita una modalità di rilievo e di valutazione, non sono stati presentati risultati riguardanti il rilievo visivo (indice I_1).

I dati delle tabelle riassuntive dei risultati sono completati da grafici con la distribuzione percentuale delle diverse categorie di qualità per i vari settori/singoli assi stradali.

Tabella 5: Distribuzione per settore degli indici dei gruppi del rilievo visivo in km, pavimentazioni in asfalto.

<i>Indice</i>	<i>Settore</i>	<i>Buono</i>	<i>Medio</i>	<i>Sufficiente</i>	<i>Critico</i>	<i>Pessimo</i>	<i>Totale</i>
I _{A1}	1	54.782	74.862	4.577	2.456	0.000	136.677
	2	62.096	74.107	7.346	5.710	0.000	149.259
	3	62.203	61.476	4.623	2.842	0.000	131.144
	4	60.446	65.403	4.133	4.750	0.100	134.832
	5	53.561	66.463	8.256	13.990	0.000	142.270
	6	64.836	73.378	2.690	2.729	0.000	143.633
	7	31.705	71.165	7.524	8.360	0.000	118.754
	Cantone	389.629	486.854	39.149	40.837	0.100	956.569
I _{A2}	1	5.109	47.665	11.817	69.687	2.399	136.677
	2	6.787	51.059	14.361	70.871	6.181	149.259
	3	2.890	56.210	11.329	57.829	2.886	131.144
	4	7.424	50.441	10.793	62.574	3.600	134.832
	5	9.958	40.353	11.667	66.802	13.490	142.270
	6	12.604	50.162	10.745	67.577	2.545	143.633
	7	1.100	29.448	7.840	73.506	6.860	118.754
	Cantone	45.872	325.338	78.552	468.846	37.961	956.569
I _{A3}	1	105.248	28.853	0.150	2.220	0.206	136.677
	2	126.357	21.676	0.050	0.786	0.390	149.259
	3	105.350	24.130	0.005	1.659	0.000	131.144
	4	97.713	34.017	0.050	3.052	0.000	134.832
	5	112.413	25.822	0.100	3.875	0.060	142.270
	6	111.901	30.910	0.000	0.822	0.000	143.633
	7	94.351	23.084	0.050	1.169	0.100	118.754
	Cantone	753.333	188.492	0.405	13.583	0.756	956.569
I _{A4}	1	66.205	36.308	14.946	17.654	1.564	136.677
	2	65.084	28.139	20.331	28.182	7.523	149.259
	3	64.410	31.327	12.919	20.182	2.306	131.144
	4	66.431	31.905	14.110	19.286	3.100	134.832
	5	51.362	33.898	26.790	25.715	4.505	142.270
	6	82.444	34.370	14.715	11.609	0.495	143.633
	7	44.946	32.263	15.959	23.058	2.528	118.754
	Cantone	440.882	228.210	119.770	145.686	22.021	956.569
I _{A5}	1	92.867	27.139	6.668	8.735	1.268	136.677
	2	97.335	27.810	9.741	12.083	2.290	149.259
	3	96.865	24.464	4.118	5.197	0.500	131.144
	4	92.440	26.751	8.621	6.170	0.850	134.832
	5	106.136	22.550	4.215	7.419	1.950	142.270
	6	118.566	20.087	2.782	2.198	0.000	143.633
	7	93.224	18.651	4.014	2.715	0.150	118.754
	Cantone	697.433	167.452	40.159	44.517	7.008	956.569
I _{1_asfalto}	1	36.067	23.490	31.459	32.854	12.807	136.677
	2	41.448	22.361	26.298	36.532	22.620	149.259
	3	42.796	19.380	26.876	30.737	11.355	131.144
	4	37.567	22.314	27.901	31.493	15.557	134.832
	5	34.543	17.510	26.267	40.044	23.906	142.270
	6	47.001	25.319	35.066	30.555	5.692	143.633
	7	21.089	16.167	29.994	37.537	13.967	118.754
	Cantone	260.511	146.541	203.861	239.752	105.904	956.569

Tabella 6: Distribuzione per settore degli indici dei gruppi del rilievo visivo in %, pavimentazioni in asfalto (con calcolo dell'indice I_1 secondo la norma SN 40 925b).

<i>Indice</i>	<i>Settore</i>	<i>Buono</i>	<i>Medio</i>	<i>Sufficiente</i>	<i>Critico</i>	<i>Pessimo</i>	<i>Valore med</i>
I_{A1}	1	40.08	54.77	3.35	1.80	0.00	1.24
	2	41.60	49.65	4.92	3.83	0.00	1.27
	3	47.43	46.88	3.53	2.17	0.00	1.18
	4	44.83	48.51	3.07	3.52	0.07	1.21
	5	37.65	46.72	5.80	9.83	0.00	1.40
	6	45.14	51.09	1.87	1.90	0.00	1.16
	7	26.70	59.93	6.34	7.04	0.00	1.51
	Cantone	40.73	50.90	4.09	4.27	0.01	1.28
I_{A2}	1	3.74	34.87	8.65	50.99	1.76	2.56
	2	4.55	34.21	9.62	47.48	4.14	2.57
	3	2.20	42.86	8.64	44.10	2.20	2.49
	4	5.51	37.41	8.00	46.41	2.67	2.48
	5	7.00	28.36	8.20	46.95	9.48	2.69
	6	8.78	34.92	7.48	47.05	1.77	2.41
	7	0.93	24.80	6.60	61.90	5.78	2.91
	Cantone	4.80	34.01	8.21	49.01	3.97	2.58
I_{A3}	1	77.00	21.11	0.11	1.62	0.15	0.42
	2	84.66	14.52	0.03	0.53	0.26	0.28
	3	80.33	18.40	0.00	1.27	0.00	0.36
	4	72.47	25.23	0.04	2.26	0.00	0.50
	5	79.01	18.15	0.07	2.72	0.04	0.41
	6	77.91	21.52	0.00	0.57	0.00	0.38
	7	79.45	19.44	0.04	0.98	0.08	0.37
	Cantone	78.75	19.71	0.04	1.42	0.08	0.39
I_{A4}	1	48.44	26.56	10.94	12.92	1.14	1.12
	2	43.60	18.85	13.62	18.88	5.04	1.45
	3	49.11	23.89	9.85	15.39	1.76	1.16
	4	49.27	23.66	10.46	14.30	2.30	1.17
	5	36.10	23.83	18.83	18.07	3.17	1.51
	6	57.40	23.93	10.24	8.08	0.34	0.87
	7	37.85	27.17	13.44	19.42	2.13	1.45
	Cantone	46.09	23.86	12.52	15.23	2.30	1.24
I_{A5}	1	67.95	19.86	4.88	6.39	0.93	0.67
	2	65.21	18.63	6.53	8.10	1.53	0.77
	3	73.86	18.65	3.14	3.96	0.38	0.50
	4	68.56	19.84	6.39	4.58	0.63	0.63
	5	74.60	15.85	2.96	5.21	1.37	0.56
	6	82.55	13.98	1.94	1.53	0.00	0.31
	7	78.50	15.71	3.38	2.29	0.13	0.40
	Cantone	72.91	17.51	4.20	4.65	0.73	0.55
$I_{1_asfalto}$	1	26.39	17.19	23.02	24.04	9.37	2.23
	2	27.77	14.98	17.62	24.48	15.15	2.37
	3	32.63	14.78	20.49	23.44	8.66	2.16
	4	27.86	16.55	20.69	23.36	11.54	2.23
	5	24.28	12.31	18.46	28.15	16.80	2.50
	6	32.72	17.63	24.41	21.27	3.96	1.94
	7	17.76	13.61	25.26	31.61	11.76	2.56
	Cantone	27.23	15.32	21.31	25.06	11.07	2.28

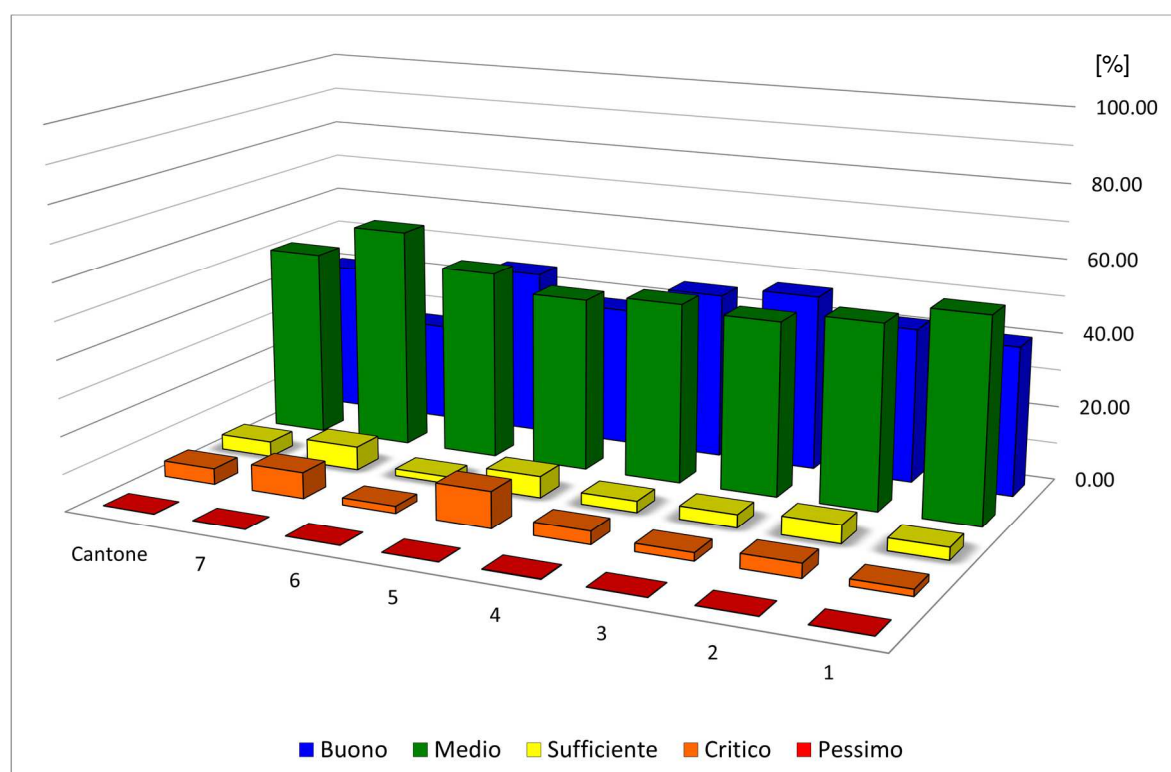


Figura 1, Indice I_{A1} (superficie scivolosa): Distribuzione dei valori per settore e classe di qualità, pavimentazioni in asfalto

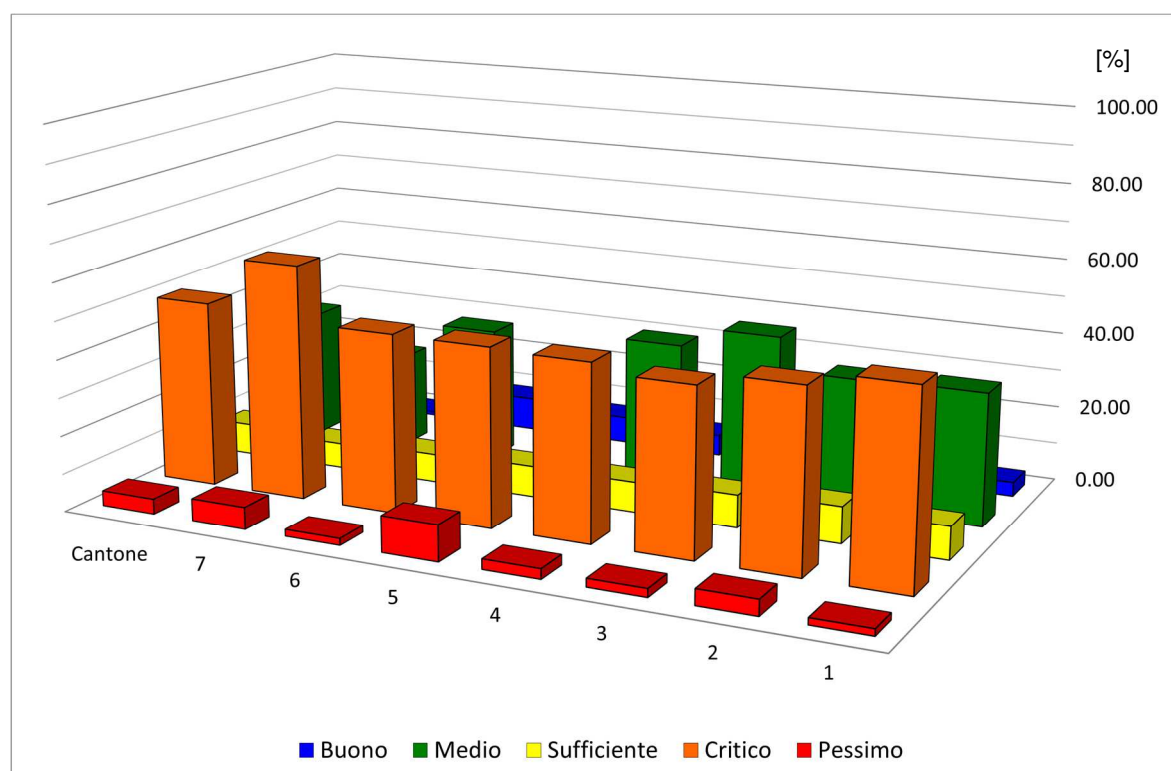


Figura 2, Indice I_{A2} (danni al rivestimento): Distribuzione dei valori per settore e classe di qualità, pavimentazioni in asfalto

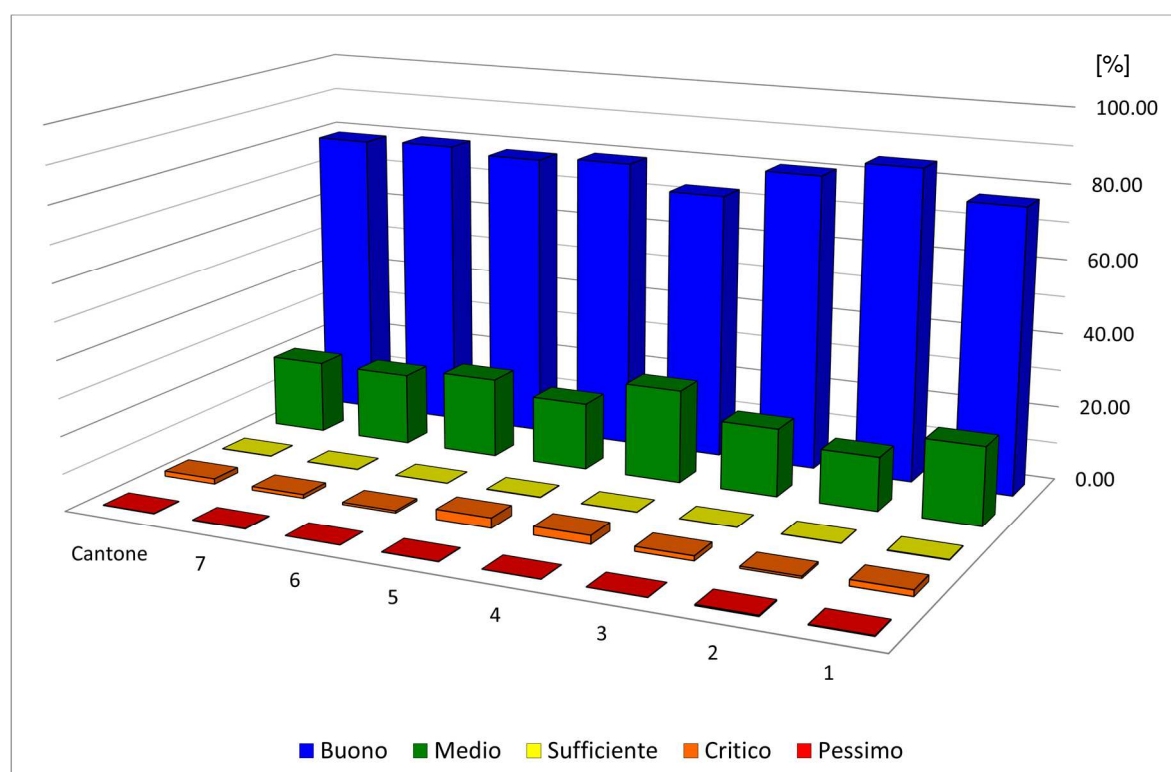


Figura 3, Indice I_{A3} (deformazioni): Distribuzione dei valori per settore e classe di qualità, pavimentazioni in asfalto

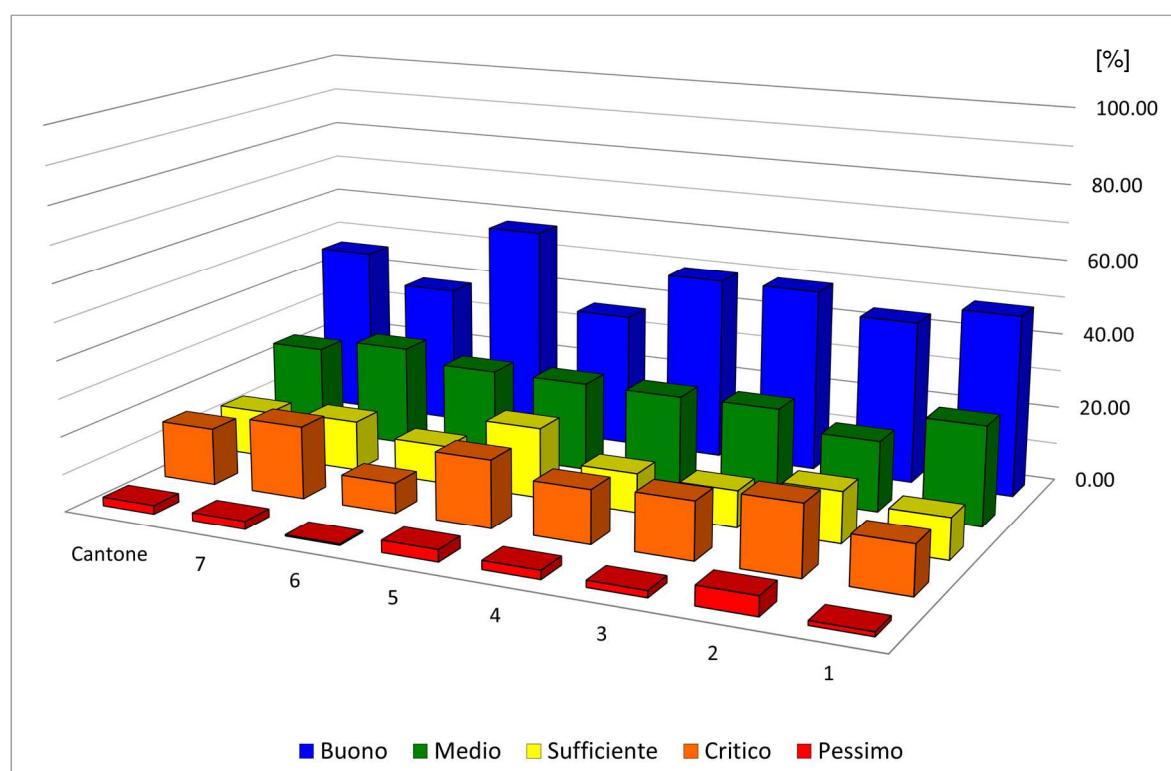


Figura 4, Indice I_{A4} (danni strutturali): Distribuzione dei valori per settore e classe di qualità, pavimentazioni in asfalto

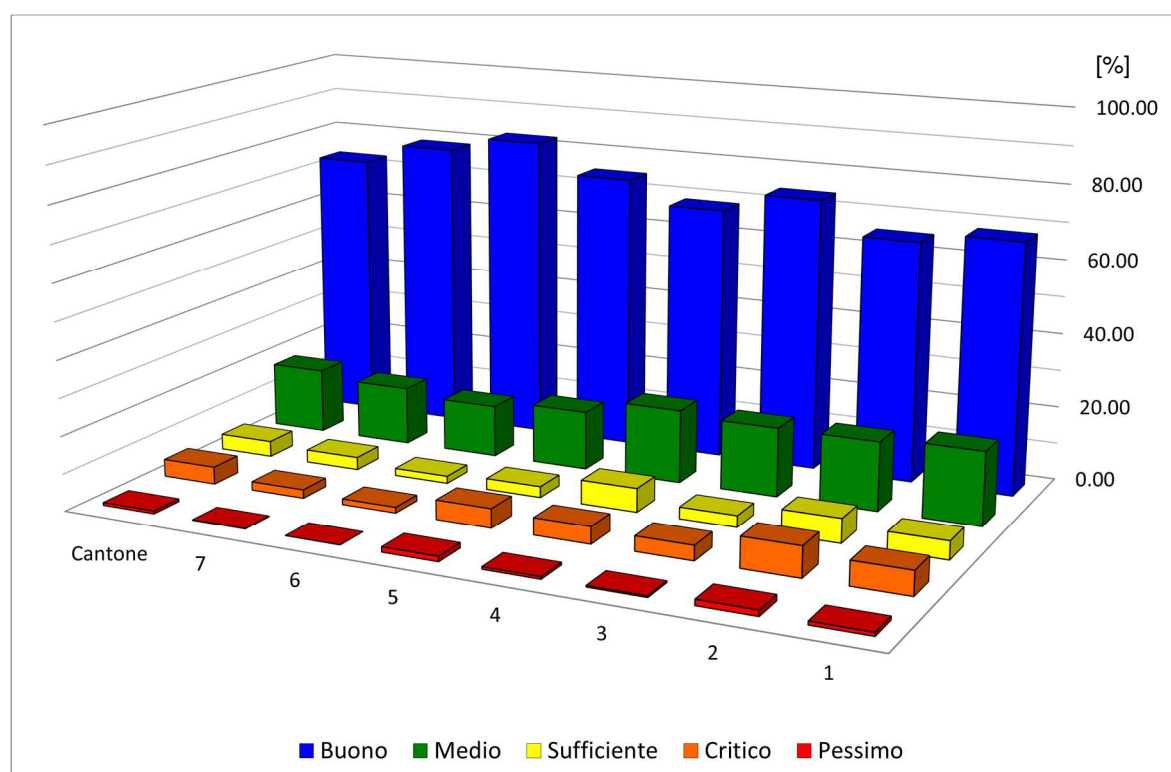


Figura 5, Indice I_{AS} (rappezi, riparazioni): Distribuzione dei valori per settore e classe di qualità, pavimentazioni in asfalto

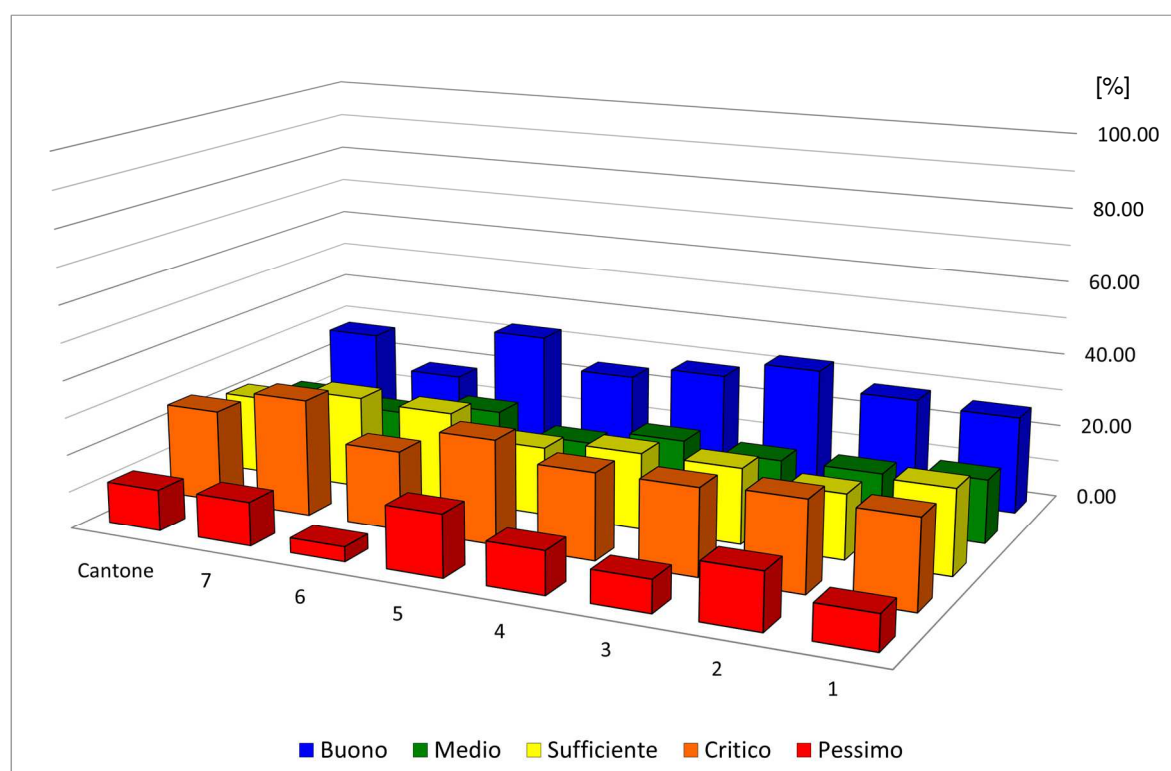


Figura 6, Indice I_1 : distribuzione dei valori per settore e classe di qualità, pavimentazioni in asfalto (con calcolo dell'indice I_1 secondo la norma SN 40 925b)

Tabella 7: Distribuzione per asse stradale degli indici dei gruppi del rilievo visivo in km, pavimentazioni in calcestruzzo.

Indice	Asse	Buono	Medio	Sufficiente	Critico	Pessimo	Totale
I _{B1}	P13	0.000	1.140	0.000	0.000	0.000	1.140
	P2	1.801	9.631	0.000	0.000	0.000	11.432
	P561	0.250	0.484	0.000	0.000	0.000	0.734
	PA413	1.450	9.320	0.000	0.000	0.000	10.770
	PA416	3.059	4.393	0.000	0.000	0.000	7.452
	Altre	0.085	0.000	0.000	0.000	0.000	0.085
	Totale	6.645	24.968	0.000	0.000	0.000	31.613
I _{B2}	P13	0.000	0.000	0.000	1.140	0.000	1.140
	P2	0.000	1.801	0.150	9.481	0.000	11.432
	P561	0.000	0.250	0.484	0.000	0.000	0.734
	PA413	0.050	1.400	0.550	8.770	0.000	10.770
	PA416	0.000	3.059	0.268	4.125	0.000	7.452
	Altre	0.000	0.085	0.000	0.000	0.000	0.085
	Totale	0.050	6.595	1.452	23.516	0.000	31.613
I _{B3}	P13	0.000	0.830	0.293	0.017	0.000	1.140
	P2	2.869	7.143	1.402	0.018	0.000	11.432
	P561	0.000	0.734	0.000	0.000	0.000	0.734
	PA413	0.000	6.500	3.120	1.150	0.000	10.770
	PA416	0.025	4.118	2.833	0.476	0.000	7.452
	Altre	0.000	0.085	0.000	0.000	0.000	0.085
	Totale	2.894	19.410	7.648	1.661	0.000	31.613
I _{B4}	P13	0.000	1.066	0.063	0.011	0.000	1.140
	P2	0.009	10.011	1.397	0.015	0.000	11.432
	P561	0.000	0.734	0.000	0.000	0.000	0.734
	PA413	0.120	10.250	0.400	0.000	0.000	10.770
	PA416	0.854	5.129	1.469	0.000	0.000	7.452
	Altre	0.085	0.000	0.000	0.000	0.000	0.085
	Totale	1.068	27.190	3.329	0.026	0.000	31.613
I _{B5}	P13	1.040	0.100	0.000	0.000	0.000	1.140
	P2	8.636	2.164	0.532	0.100	0.000	11.432
	P561	0.417	0.217	0.100	0.000	0.000	0.734
	PA413	7.120	3.100	0.500	0.050	0.000	10.770
	PA416	3.241	2.731	1.074	0.406	0.000	7.452
	Altre	0.043	0.000	0.043	0.000	0.000	0.085
	Totale	20.497	8.312	2.249	0.556	0.000	31.613
I _{B6}	P13	0.840	0.300	0.000	0.000	0.000	1.140
	P2	5.558	5.537	0.237	0.100	0.000	11.432
	P561	0.734	0.000	0.000	0.000	0.000	0.734
	PA413	8.920	1.850	0.000	0.000	0.000	10.770
	PA416	4.360	2.368	0.352	0.283	0.089	7.452
	Altre	0.085	0.000	0.000	0.000	0.000	0.085
	Totale	20.497	10.055	0.589	0.383	0.089	31.613
I _{1_calcestr.}	P13	0.000	0.000	0.960	0.180	0.000	1.140
	P2	0.000	0.586	7.185	3.511	0.150	11.432
	P561	0.000	0.250	0.286	0.198	0.000	0.734
	PA413	0.000	1.050	7.020	2.700	0.000	10.770
	PA416	0.000	1.386	3.369	2.410	0.287	7.452
	Altre	0.000	0.085	0.000	0.000	0.000	0.085
	Totale	0.000	3.357	18.820	8.999	0.437	31.613

Tabella 8: Distribuzione per asse stradale degli indici dei gruppi del rilievo visivo in %, pavimentazioni in calcestruzzo.

Indice	Asse	Buono	Medio	Sufficiente	Critico	Pessimo	Valore medio
I _{B1}	P13	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	1.67
	P2	15.75	84.25	0.00	0.00	0.00	1.49
	P561	34.06	65.94	0.00	0.00	0.00	1.32
	PA413	13.46	86.54	0.00	0.00	0.00	1.50
	PA416	41.05	58.95	0.00	0.00	0.00	1.23
	Altre	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.56
	Totale	21.02	78.98	0.00	0.00	0.00	1.42
I _{B2}	P13	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	3.33
	P2	0.00	15.75	1.31	82.93	0.00	3.05
	P561	0.00	34.06	65.94	0.00	0.00	2.81
	PA413	0.46	13.00	5.11	81.43	0.00	3.04
	PA416	0.00	41.05	3.60	55.35	0.00	2.65
	Altre	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	1.67
	Totale	0.16	20.86	4.59	74.39	0.00	2.94
I _{B3}	P13	0.00	72.81	25.70	1.49	0.00	1.58
	P2	25.10	62.48	12.26	0.16	0.00	1.25
	P561	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	1.53
	PA413	0.00	60.35	28.97	10.68	0.00	1.95
	PA416	0.34	55.26	38.02	6.39	0.00	1.92
	Altre	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	1.67
	Totale	9.15	61.40	24.19	5.25	0.00	1.67
I _{B4}	P13	0.00	93.51	5.53	0.96	0.00	1.41
	P2	0.08	87.57	12.22	0.13	0.00	1.51
	P561	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	1.32
	PA413	1.11	95.17	3.71	0.00	0.00	1.24
	PA416	11.46	68.83	19.71	0.00	0.00	1.29
	Altre	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Totale	3.38	86.01	10.53	0.08	0.00	1.35
I _{B5}	P13	91.23	8.77	0.00	0.00	0.00	0.15
	P2	75.54	18.93	4.65	0.87	0.00	0.39
	P561	56.81	29.56	13.62	0.00	0.00	0.69
	PA413	66.11	28.78	4.64	0.46	0.00	0.45
	PA416	43.49	36.65	14.41	5.45	0.00	1.04
	Altre	50.00	0.00	50.00	0.00	0.00	1.11
	Totale	64.84	26.29	7.11	1.76	0.00	0.58
I _{B6}	P13	73.68	26.32	0.00	0.00	0.00	0.34
	P2	48.62	48.43	2.07	0.87	0.00	0.73
	P561	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	PA413	82.82	17.18	0.00	0.00	0.00	0.44
	PA416	58.51	31.78	4.72	3.80	1.19	0.70
	Altre	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Totale	64.84	31.81	1.86	1.21	0.28	0.60
I _{1_calcestr.}	P13	0.00	0.00	84.21	15.79	0.00	2.66
	P2	0.00	5.13	62.85	30.71	1.31	2.68
	P561	0.00	34.06	38.96	26.98	0.00	2.49
	PA413	0.00	9.75	65.18	25.07	0.00	2.63
	PA416	0.00	18.60	45.21	32.34	3.85	2.72
	Altre	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	1.40
	Totale	0.00	10.62	59.53	28.47	1.38	2.66

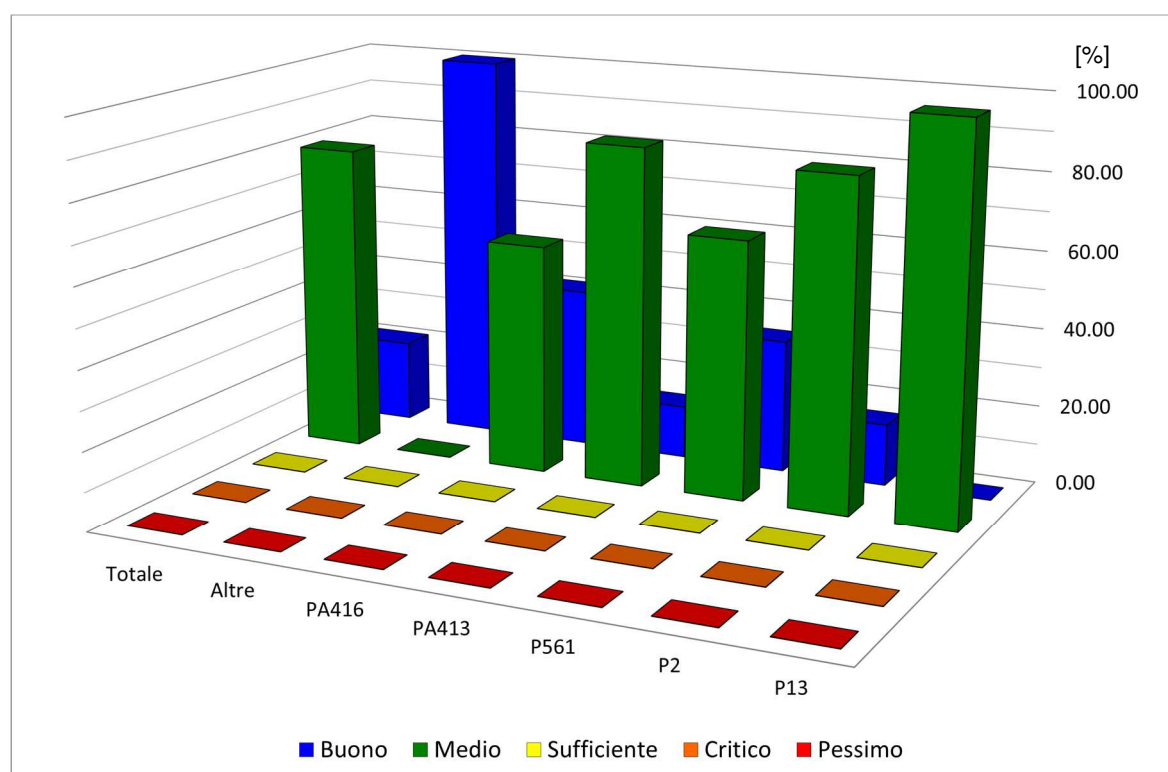


Figura 7, Indice I_{B1} (superficie scivolosa): Distribuzione dei valori per asse stradale e classe di qualità, pavimentazioni in calcestruzzo

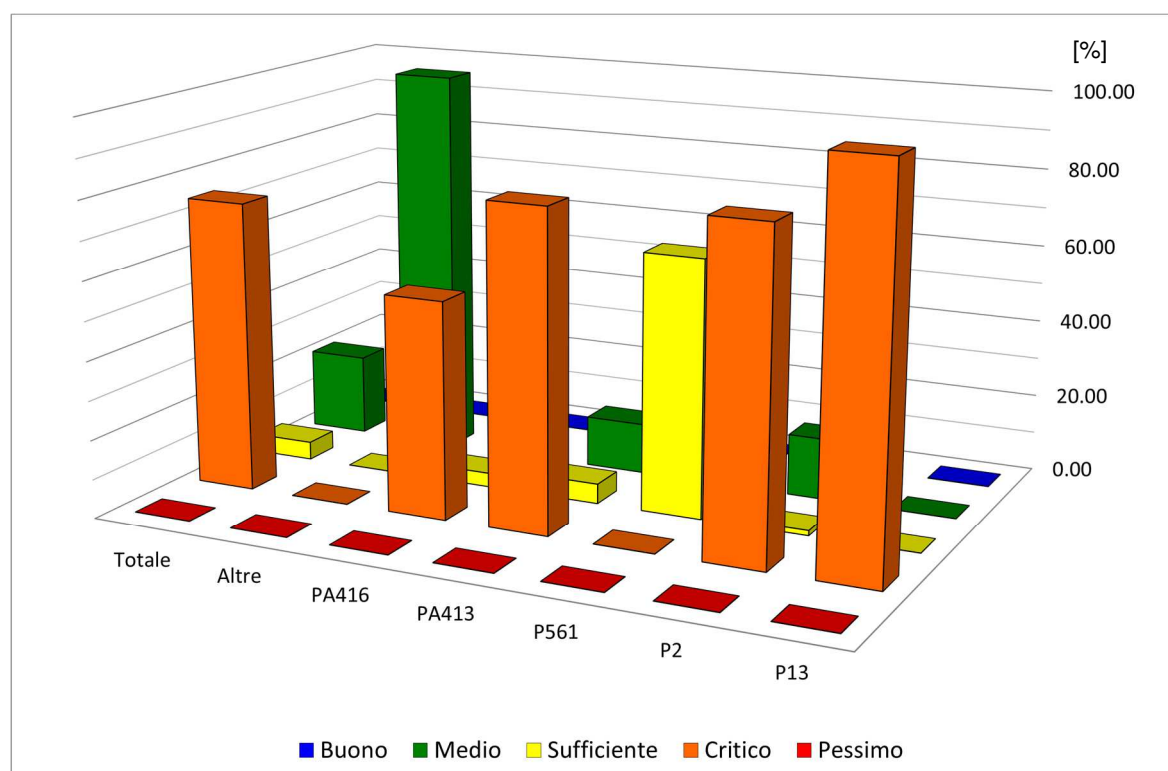


Figura 8, Indice I_{B2} (perdite di materiale): Distribuzione dei valori per asse stradale e classe di qualità, pavimentazioni in calcestruzzo

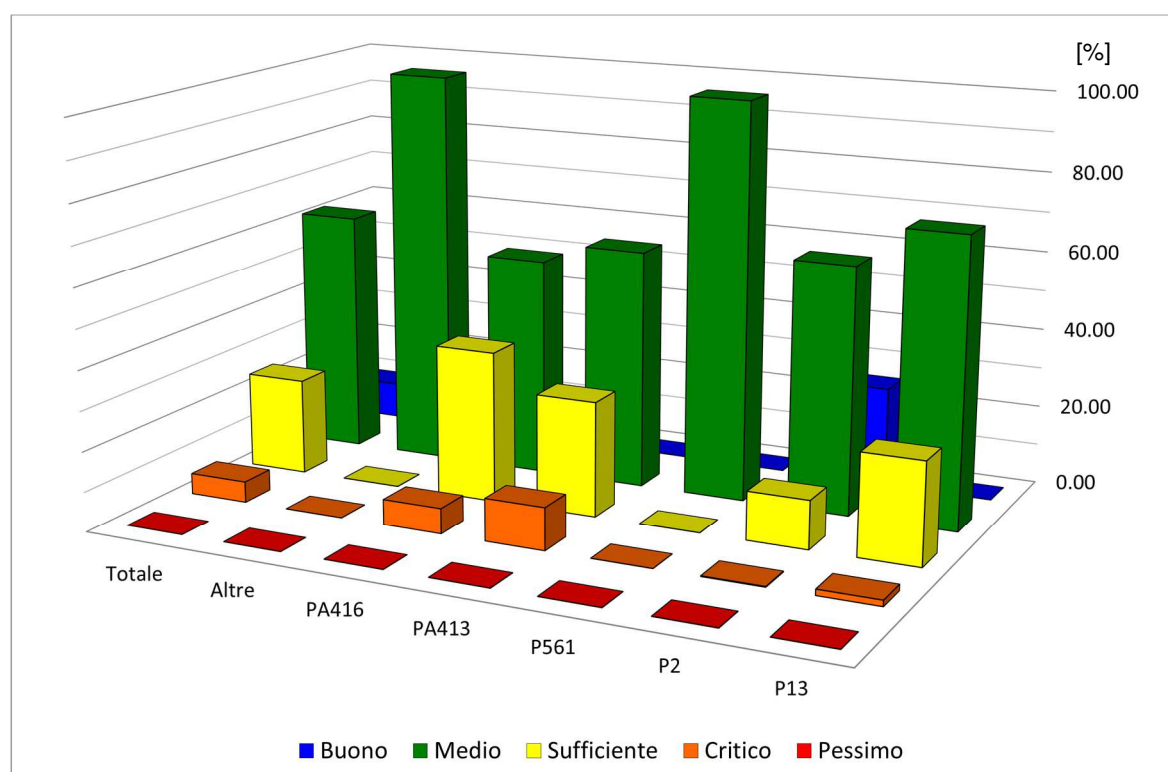


Figura 9, Indice I_{B3} (danni a giunti e bordi): Distribuzione dei valori per asse stradale e classe di qualità, pavimentazioni in calcestruzzo

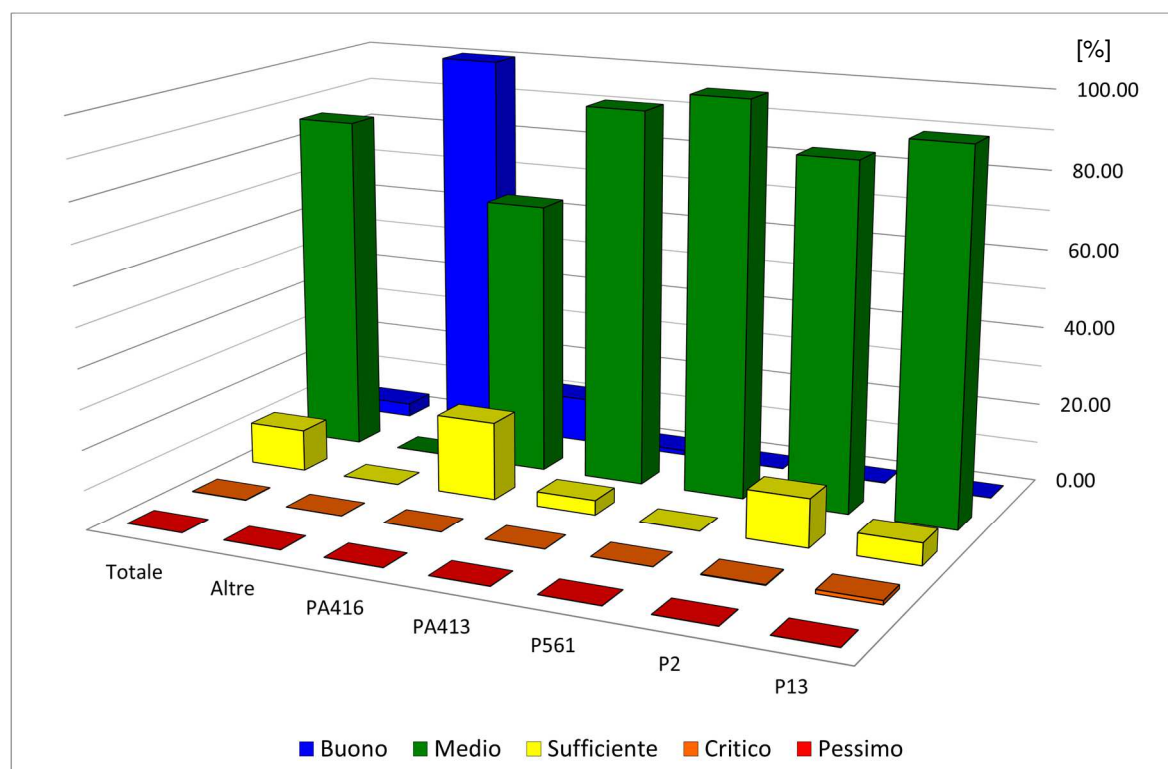


Figura 10, Indice I_{B4} (spostamenti verticali): Distribuzione dei valori per asse stradale e classe di qualità, pavimentazioni in calcestruzzo

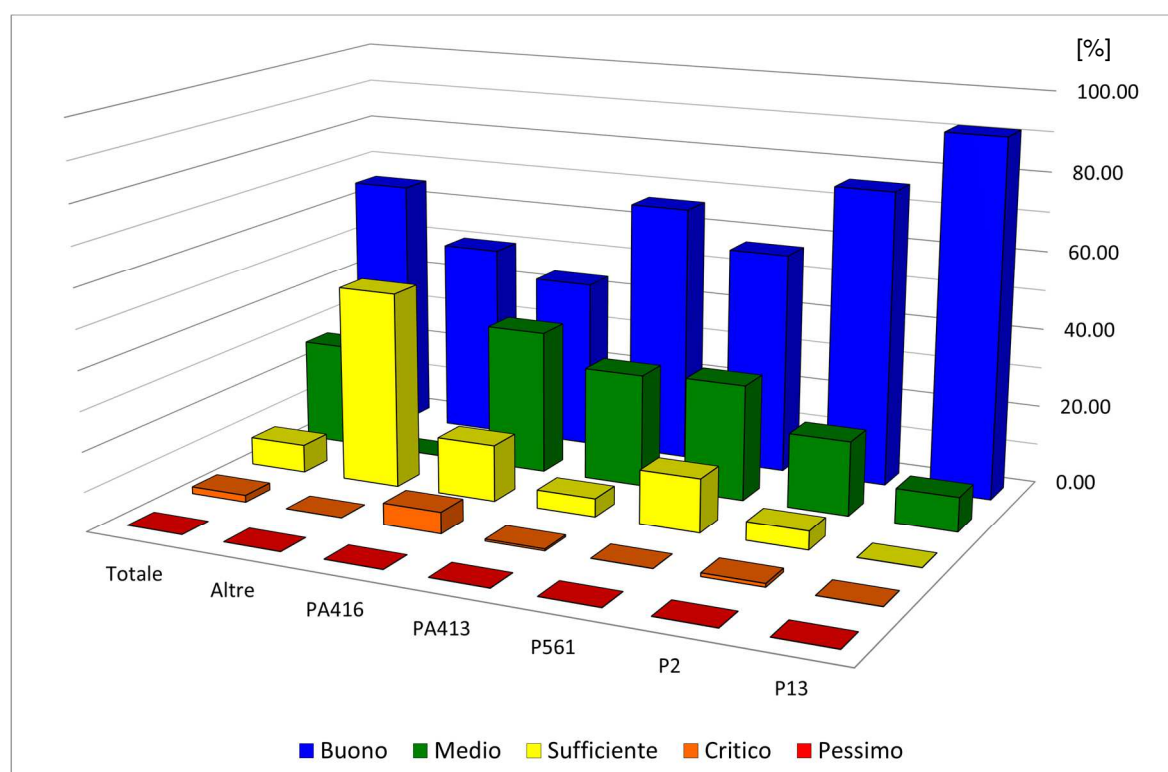


Figura 11, Indice I_{B5} (fissure e rotture di lastre): Distribuzione dei valori per asse stradale e classe di qualità, pavimentazioni in calcestruzzo

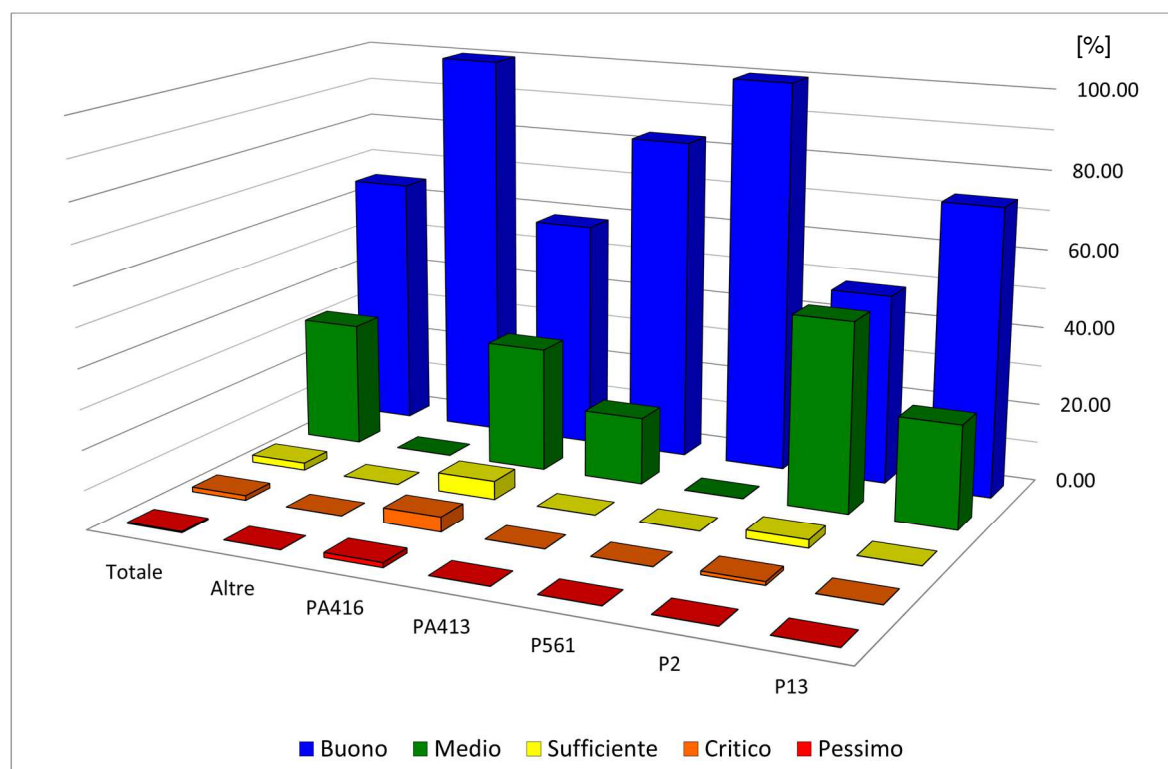


Figura 12, Indice I_{B6} (rappezzi, riparazioni): Distribuzione dei valori per asse stradale e classe di qualità, pavimentazioni in calcestruzzo

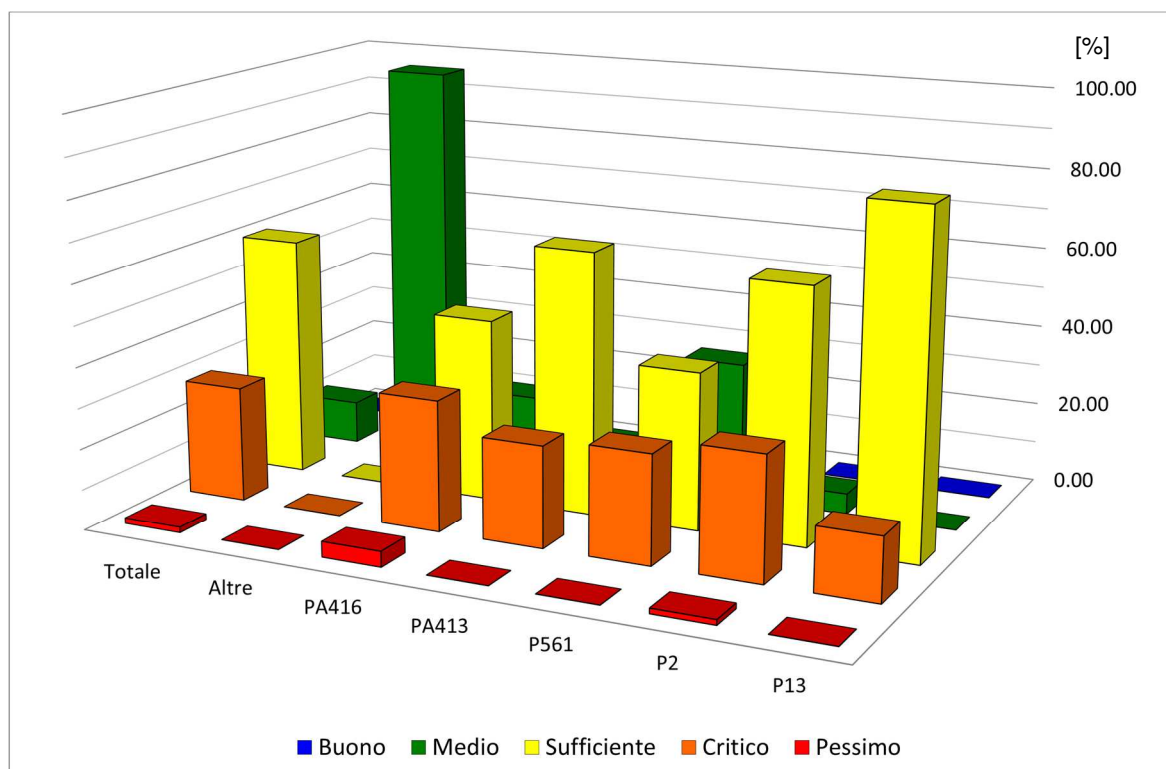


Figura 13, Indice I₁: Distribuzione dei valori per asse stradale e classe di qualità, pavimentazioni in calcestruzzo

3.3.2 Analisi dei dati del rilievo visivo (indice I₁) secondo formula modificata (I₁-C1)

Tabella 9: Distribuzione per settore dell'indice I₁-C1 in km, pavimentazioni in asfalto.

Indice	Settore	Buono	Medio	Sufficiente	Critico	Pessimo	Totale
I ₁ -C1	1	36.117	26.169	42.359	27.433	4.599	136.677
	2	41.498	25.945	38.508	33.541	9.767	149.259
	3	42.796	22.569	35.726	25.861	4.192	131.144
	4	37.617	25.331	37.688	28.076	6.120	134.832
	5	34.543	21.410	42.771	28.697	14.849	142.270
	6	47.051	28.324	47.473	18.156	2.629	143.633
	7	21.139	18.221	44.894	27.171	7.329	118.754
	Totale	260.761	167.969	289.419	188.935	49.485	956.569

Tabella 10: Distribuzione per settore dell'indice I₁-C1 in %, pavimentazioni in asfalto.

Indice	Settore	Buono	Medio	Sufficiente	Critico	Pessimo	Valore medio
I ₁ -C1	1	26.43	19.15	30.99	20.07	3.36	2.04
	2	27.80	17.38	25.80	22.47	6.54	2.14
	3	32.63	17.21	27.24	19.72	3.20	1.96
	4	27.90	18.79	27.95	20.82	4.54	2.04
	5	24.28	15.05	30.06	20.17	10.44	2.26
	6	32.76	19.72	33.05	12.64	1.83	1.79
	7	17.80	15.34	37.80	22.88	6.17	2.32
	Cantone	27.26	17.56	30.26	19.75	5.17	2.07

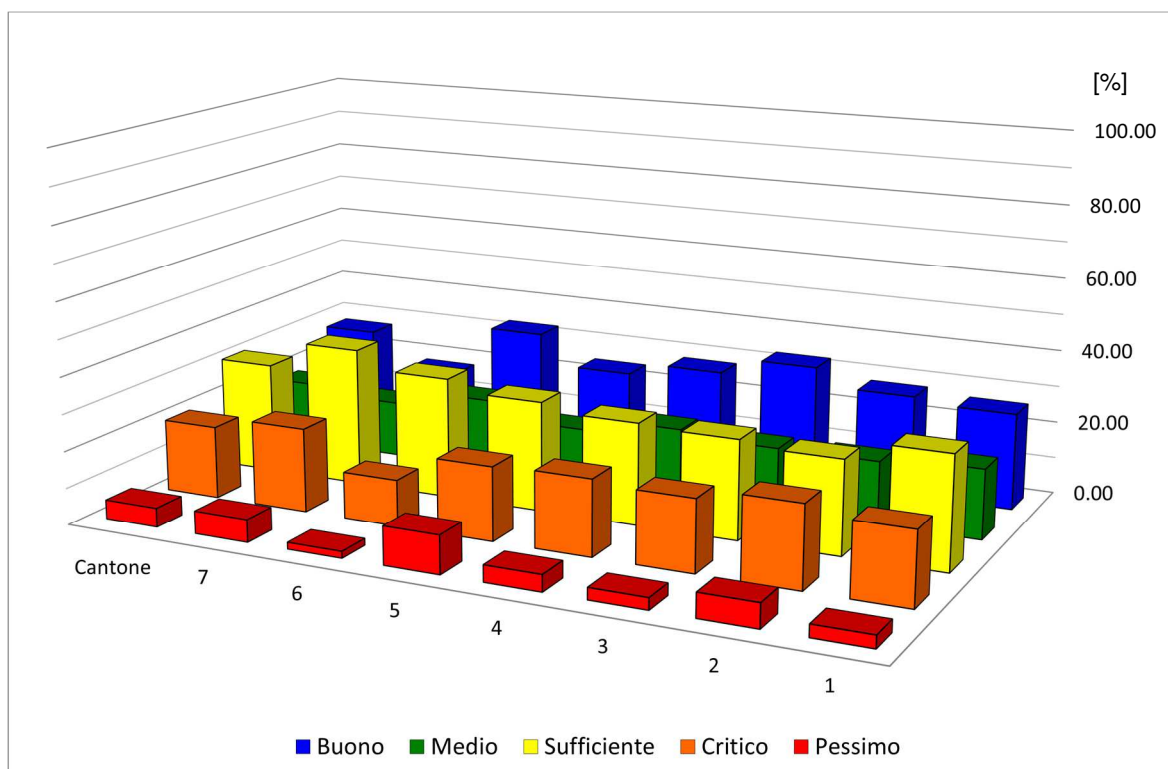


Figura 14, Indice I₁-C1: Distribuzione dei valori per asse stradale e classe di qualità, pavimentazioni in asfalto

3.3.3 Analisi dei dati della regolarità longitudinale e trasversale

Tabella 11: Distribuzione per settore degli indici I_2 e I_3 in km, pavimentazioni in asfalto.

Indice	Settore	Buono	Medio	Sufficiente	Critico	Pessimo	Totale
$I_{2Med_asfalto}$	1	16.504	38.540	32.618	30.238	18.777	136.677
	2	20.458	44.539	37.449	30.167	16.646	149.259
	3	26.487	46.242	28.952	16.808	12.655	131.144
	4	20.835	45.985	32.267	20.804	14.941	134.832
	5	24.713	44.386	32.864	23.702	16.605	142.270
	6	60.822	50.780	19.030	7.733	5.268	143.633
	7	34.839	38.648	23.261	14.989	7.017	118.754
	Totale	204.658	309.120	206.441	144.441	91.909	956.569
$I_{2Max_asfalto}$	1	11.550	30.885	33.025	33.918	27.299	136.677
	2	14.308	36.489	37.775	35.301	25.386	149.259
	3	19.409	38.554	32.486	22.087	18.608	131.144
	4	15.366	37.983	35.369	25.142	20.972	134.832
	5	18.163	37.658	35.702	26.992	23.755	142.270
	6	48.925	50.625	24.787	11.820	7.476	143.633
	7	27.265	36.455	25.775	18.365	10.894	118.754
	Totale	154.986	268.649	224.919	173.625	134.390	956.569
$I_{3_asfalto}$	1	79.259	38.329	14.638	3.198	1.253	136.677
	2	83.046	43.217	18.263	3.713	1.020	149.259
	3	72.391	37.310	16.476	4.057	0.910	131.144
	4	65.089	42.864	20.968	5.011	0.900	134.832
	5	63.741	42.287	23.222	10.505	2.515	142.270
	6	94.633	35.672	11.006	2.050	0.272	143.633
	7	64.416	35.767	13.993	3.854	0.724	118.754
	Totale	522.575	275.446	118.566	32.388	7.594	956.569

Tabella 12: Distribuzione per settore degli indici I_2 e I_3 in %, pavimentazioni in asfalto.

Indice	Settore	Buono	Medio	Sufficiente	Critico	Pessimo	Valore medio
$I_{2Med_asfalto}$	1	12.08	28.20	23.87	22.12	13.74	2.40
	2	13.71	29.84	25.09	20.21	11.15	2.27
	3	20.20	35.26	22.08	12.82	9.65	1.97
	4	15.45	34.11	23.93	15.43	11.08	2.10
	5	17.37	31.20	23.10	16.66	11.67	2.15
	6	42.35	35.35	13.25	5.38	3.67	1.34
	7	29.34	32.54	19.59	12.62	5.91	1.77
	Totale	21.40	32.32	21.58	15.10	9.61	2.00
$I_{2Max_asfalto}$	1	8.45	22.60	24.16	24.82	19.97	2.72
	2	9.59	24.45	25.31	23.65	17.01	2.61
	3	14.80	29.40	24.77	16.84	14.19	2.30
	4	11.40	28.17	26.23	18.65	15.55	2.42
	5	12.77	26.47	25.09	18.97	16.70	2.45
	6	34.06	35.25	17.26	8.23	5.20	1.59
	7	22.96	30.70	21.70	15.46	9.17	2.04
	Totale	16.20	28.08	23.51	18.15	14.05	2.30
$I_{3_asfalto}$	1	57.99	28.04	10.71	2.34	0.92	1.04
	2	55.64	28.95	12.24	2.49	0.68	1.07
	3	55.20	28.45	12.56	3.09	0.69	1.10
	4	48.27	31.79	15.55	3.72	0.67	1.19
	5	44.80	29.72	16.32	7.38	1.77	1.35
	6	65.89	24.84	7.66	1.43	0.19	0.88
	7	54.24	30.12	11.78	3.25	0.61	1.12
	Totale	54.63	28.80	12.39	3.39	0.79	1.10

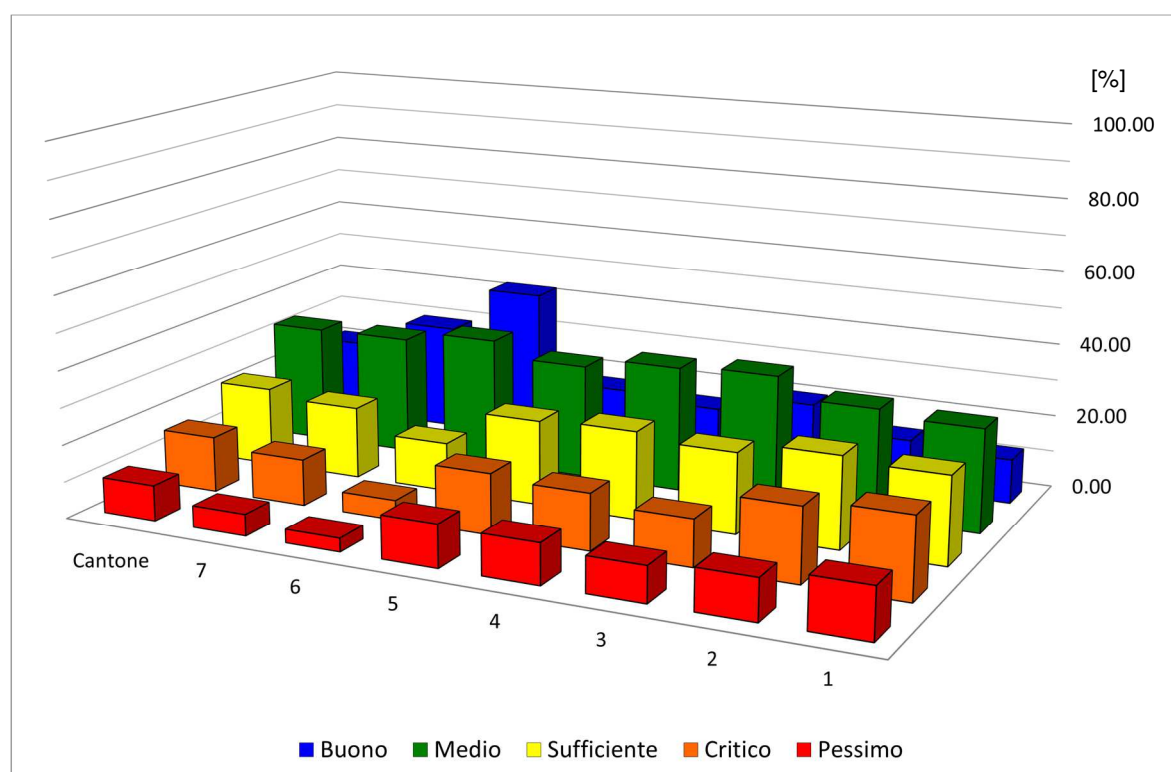


Figura 15, Indice I_{2Med} (regolarità longitudinale): Distribuzione dei valori per settore e classe di qualità, pavimentazioni in asfalto

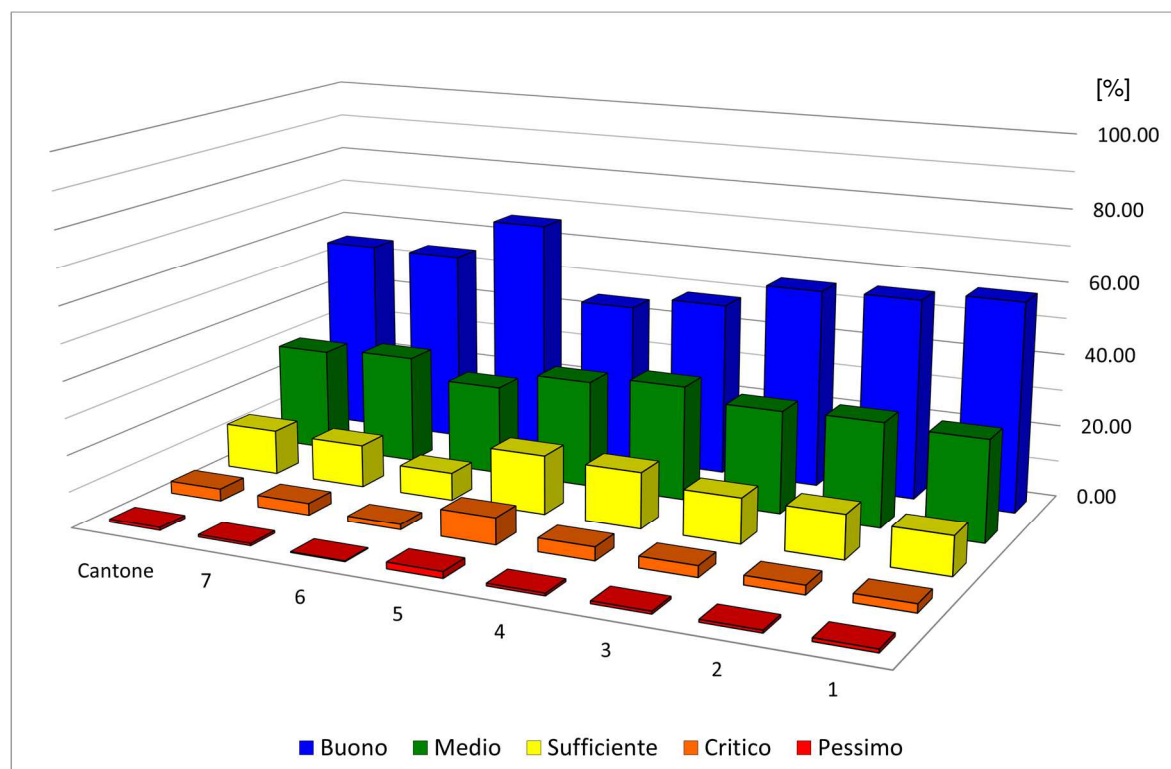


Figura 16, Indice I_3 (regolarità trasversale): Distribuzione dei valori per settore e classe di qualità, pavimentazioni in asfalto

Tabella 13: Distribuzione per asse stradale degli indici I_2 e I_3 in km, pavimentazioni in calcestruzzo.

Indice	Asse	Buono	Medio	Sufficiente	Critico	Pessimo	Totale
I_2 _calcestr.	P13	0.000	0.450	0.632	0.024	0.034	1.140
	P2	2.001	6.453	2.061	0.795	0.122	11.432
	P561	0.000	0.100	0.367	0.217	0.050	0.734
	PA413	0.150	6.350	3.520	0.500	0.250	10.770
	PA416	0.052	0.738	4.230	2.110	0.322	7.452
	Altre	0.000	0.085	0.000	0.000	0.000	0.085
	Totale	2.203	14.176	10.810	3.646	0.778	31.613
I_3 _calcestr.	P13	1.140	0.000	0.000	0.000	0.000	1.140
	P2	9.863	1.193	0.326	0.050	0.000	11.432
	P561	0.734	0.000	0.000	0.000	0.000	0.734
	PA413	10.720	0.050	0.000	0.000	0.000	10.770
	PA416	6.896	0.414	0.133	0.009	0.000	7.452
	PT406	0.085	0.000	0.000	0.000	0.000	0.085
	Totale	29.438	1.657	0.459	0.059	0.000	31.613

Tabella 14: Distribuzione per asse stradale degli indici della regolarità longitudinale e trasversale in %, pavimentazioni in calcestruzzo.

Indice	Asse	Buono	Medio	Sufficiente	Critico	Pessimo	Valore medio
I_2 _calcestr.	P13	0.00	39.47	55.44	2.11	2.98	2.33
	P2	17.50	56.45	18.03	6.95	1.07	1.72
	P561	0.00	13.62	50.00	29.56	6.81	2.83
	PA413	1.39	58.96	32.68	4.64	2.32	1.99
	PA416	0.70	9.90	56.76	28.31	4.32	2.81
	PT406	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	1.95
	Totale	6.97	44.84	34.19	11.53	2.46	2.30
I_3 _calcestr.	P13	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12
	P2	86.28	10.44	2.85	0.44	0.00	0.56
	P561	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.29
	PA413	99.54	0.46	0.00	0.00	0.00	0.09
	PA416	92.54	5.56	1.78	0.12	0.00	0.31
	Altre	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.90
	Totale	93.12	5.24	1.45	0.19	0.00	0.32

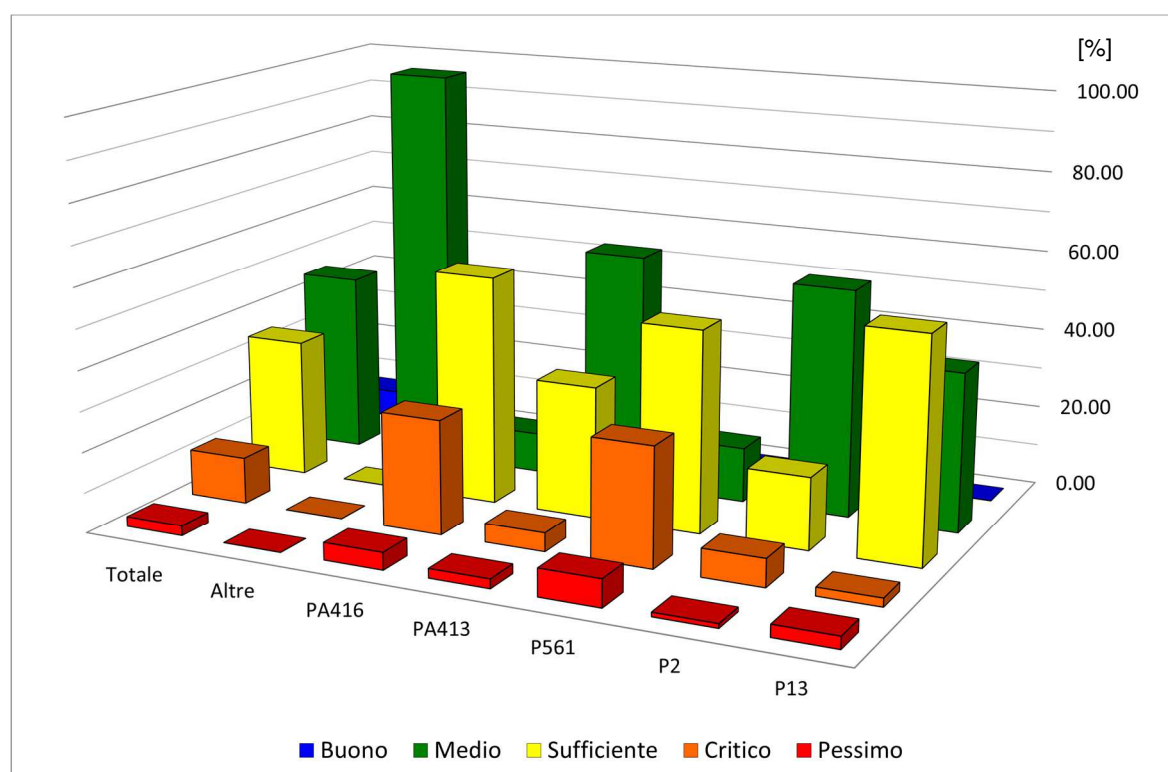


Figura 17, Indice I₂ (regolarità longitudinale): Distribuzione dei valori per asse stradale e classe di qualità, pavimentazioni in calcestruzzo

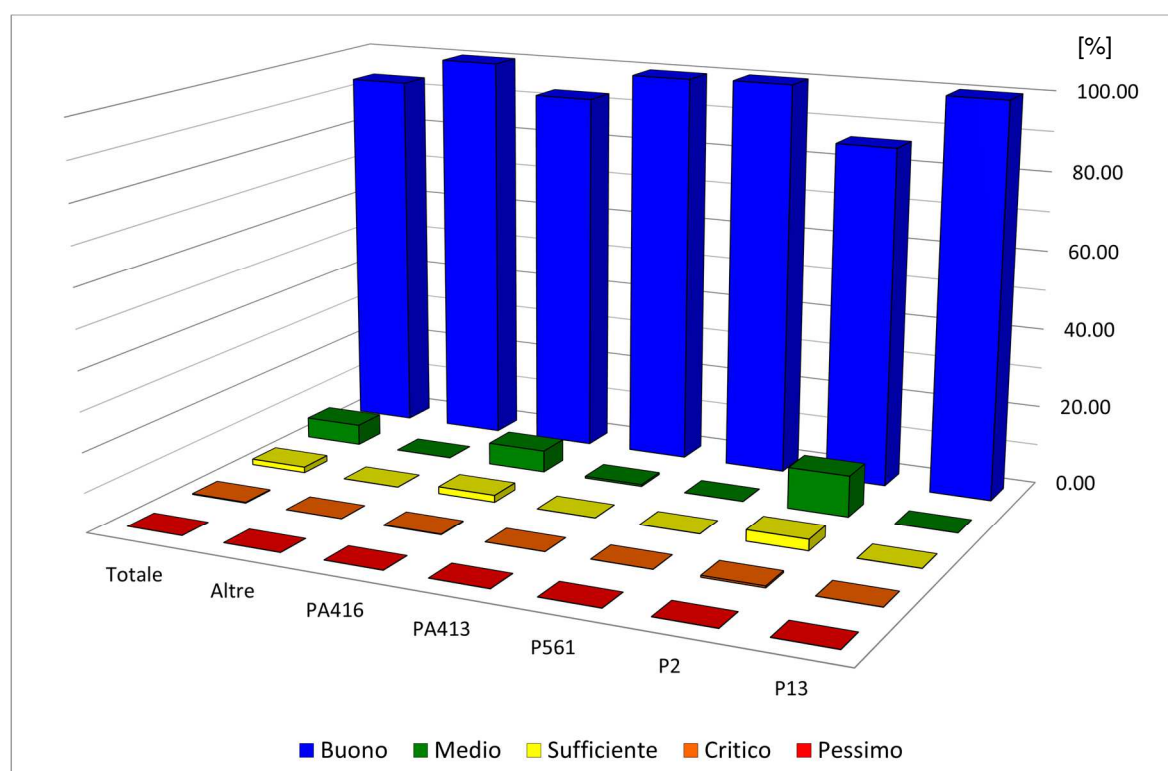


Figura 18, Indice I₃ (regolarità trasversale): Distribuzione dei valori per asse stradale e classe di qualità, pavimentazioni in calcestruzzo

3.4 Analisi dei dati per gli oggetti PMS

Questo capitolo presenta le analisi statistiche sulla distribuzione dei vari indici di stato per la segmentazione in oggetti PMS (prospettiva PMS_SegAggr). Nel confronto con i risultati delle analisi di distribuzione di valori presentati al capitolo 3.3 a partire dai valori di base su 50 m bisogna tenere conto della differenza fondamentale seguente:

- le tabelle ed i grafici di questo capitolo presentano i valori aggregati (metodo di calcolo = valore medio + deviazione standard) che sono tendenzialmente più alti dei valori di base,
- i valori corrispondenti all'indice I_{1Aggr} sono stati calcolati a partire dai valori di base I_1 -C1 (ponderazione Ut).

Per maggiori dettagli in merito alla tematica degli oggetti PMS si rimanda al capitolo 4.

Tabella 15: Distribuzione per settore delle lunghezze per classe di qualità degli indici aggregati I_1 , I_2 e I_3 (pavimentazioni in asfalto e calcestruzzo) per i segmenti aggregati.

Indice	Settore	Buono	Medio	Sufficiente	Critico	Pessimo	Totale
I_{1Aggr}	1	9.539	40.394	35.912	42.551	10.577	138.973
	2	13.812	37.992	33.159	47.930	18.397	151.290
	3	9.631	46.291	26.849	45.158	7.828	135.757
	4	6.691	40.036	34.803	45.548	9.856	136.933
	5	4.486	39.885	29.472	46.472	22.871	143.186
	6	11.354	53.875	54.517	32.630	4.675	157.051
	7	1.364	26.515	48.728	50.303	11.241	138.150
	Cantone	56.877	284.987	263.440	310.592	85.445	1'001.379
$I_{2MedAggr}$	1	1.238	28.652	35.731	46.619	26.533	138.973
	2	2.828	34.710	39.772	49.102	24.878	151.290
	3	4.988	36.407	49.455	30.589	14.168	135.757
	4	2.161	32.100	44.616	41.140	16.917	136.933
	5	0.500	36.954	43.577	40.979	20.866	143.186
	6	22.386	74.958	33.446	23.911	2.050	157.051
	7	8.189	51.712	35.025	36.566	6.658	138.150
	Cantone	42.290	295.493	281.622	268.905	112.070	1'001.379
$I_{2MaxAggr}$	1	0.338	11.684	42.316	33.440	50.995	138.973
	2	2.028	14.273	46.008	39.839	49.142	151.290
	3	3.988	17.446	55.458	28.774	29.941	135.757
	4	1.861	18.549	49.916	29.858	36.750	136.933
	5	0.350	24.815	42.842	37.017	37.851	143.186
	6	7.835	68.896	43.935	30.528	5.557	157.051
	7	3.400	38.025	46.251	31.343	19.131	138.150
	Cantone	19.800	193.688	326.725	230.799	229.367	1'001.379
I_{3Aggr}	1	50.241	51.265	30.324	5.903	1.240	138.973
	2	48.121	57.442	37.552	6.962	1.213	151.290
	3	48.043	47.447	31.092	8.275	0.900	135.757
	4	40.230	46.021	40.263	9.417	1.003	136.933
	5	33.198	48.507	39.364	18.294	3.824	143.186
	6	66.461	68.673	18.723	2.644	0.550	157.051
	7	49.263	57.094	23.189	8.105	0.500	138.150
	Cantone	335.555	376.448	220.507	59.600	9.230	1'001.379

Tabella 16: Distribuzione per settore delle lunghezze per classe di qualità degli indici I_{A1} a I_{A5} (pavimentazioni in asfalto) per i segmenti PMS.

Indice	Settore	Buono	Medio	Sufficiente	Critico	Pessimo	Valore medio
I ₁ Aggr	1	6.86	29.07	25.84	30.62	7.61	2.54
	2	9.13	25.11	21.92	31.68	12.16	2.62
	3	7.09	34.10	19.78	33.26	5.77	2.43
	4	4.89	29.24	25.42	33.26	7.20	2.54
	5	3.13	27.86	20.58	32.46	15.97	2.77
	6	7.23	34.30	34.71	20.78	2.98	2.28
	7	0.99	19.19	35.27	36.41	8.14	2.83
	Cantone	5.68	28.46	26.31	31.02	8.53	2.57
I _{2Med} Aggr	1	0.89	20.65	25.75	33.59	19.12	3.04
	2	1.87	22.94	26.29	32.46	16.44	2.94
	3	3.68	26.85	36.47	22.56	10.45	2.65
	4	1.58	23.44	32.58	30.04	12.35	2.77
	5	0.35	25.86	30.50	28.68	14.60	2.82
	6	14.28	47.82	21.34	15.25	1.31	1.94
	7	5.93	37.43	25.35	26.47	4.82	2.36
	Cantone	4.23	29.54	28.15	26.88	11.20	2.64
I _{2Max} Aggr	1	0.24	8.42	30.49	24.10	36.75	3.42
	2	1.34	9.43	30.41	26.33	32.48	3.33
	3	2.94	12.87	40.90	21.22	22.08	3.03
	4	1.36	13.55	36.45	21.80	26.84	3.12
	5	0.24	17.37	29.99	25.91	26.49	3.17
	6	5.00	43.95	28.03	19.48	3.55	2.23
	7	2.46	27.52	33.48	22.69	13.85	2.66
	Cantone	1.98	19.36	32.66	23.07	22.93	2.99
I ₃ Aggr	1	36.15	36.89	21.82	4.25	0.89	1.51
	2	31.81	37.97	24.82	4.60	0.80	1.55
	3	35.39	34.95	22.90	6.10	0.66	1.56
	4	29.38	33.61	29.40	6.88	0.73	1.69
	5	23.18	33.88	27.49	12.78	2.67	1.90
	6	42.32	43.73	11.92	1.68	0.35	1.24
	7	35.66	41.33	16.79	5.87	0.36	1.45
	Cantone	33.51	37.59	22.02	5.95	0.92	1.55

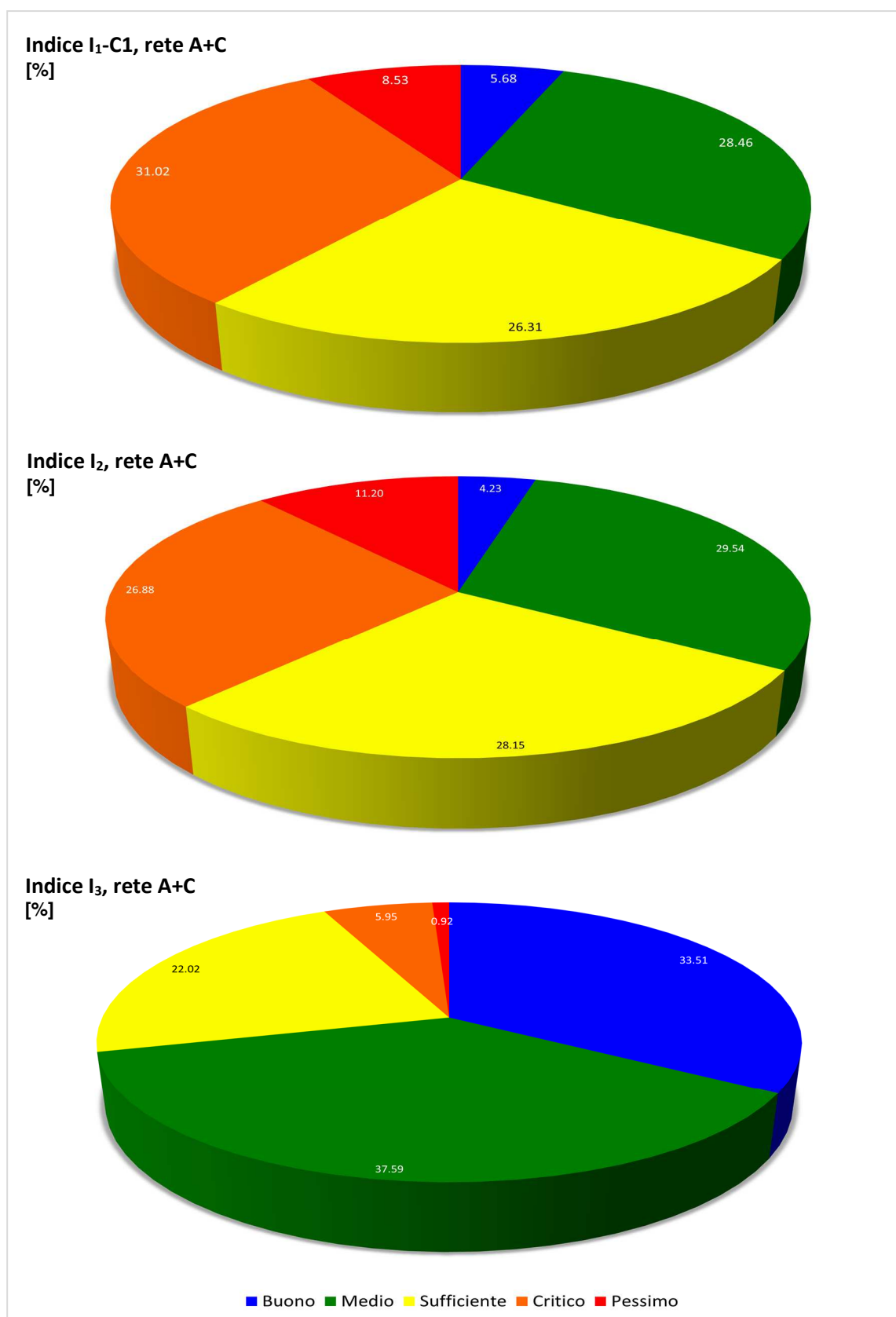


Figura 19: Distribuzione a livello di rete per classe di qualità dei valori degli indici I₁-C1, I₂ e I₃ degli oggetti PMS

3.5 Conseguenze del processo di aggregazione sui valori medi di stato della pavimentazione

Il valore medio dello stato della rete può essere definito sulla base dei dati del rilievo sui segmenti di 50 m oppure dai dati aggregati dei segmenti di conservazione (oggetti PMS). Il processo di aggregazione, che corrisponde alla determinazione della somma del valore medio per segmento con la deviazione standard dei singoli valori, conduce ad un aumento del valore medio rispetto al rilievo di base.

La tabella seguente raggruppa tutti i valori medi per gli indici da I_1 a I_3 per le pavimentazioni con i rapporti fra i diversi valori medi. Questi rapporti dovranno poi essere tenuti in considerazione nell'ambito della valutazione dei risultati dell'analisi PMS con il risultato scaturito dal rilievo di base.

Tabella 17: Valori medi degli indici I_1 , I_2 , I_3 per pavimentazioni in asfalto secondo l'analisi dei dati del rilievo di base e dei valori aggregati degli oggetti PMS.

Indice	Media valore di base (a)	Media valori aggregati (b)	Rapporto b/a
I_1 -C1	2.07	2.57	1.24
I_2	2.00	2.64	1.32
I_3	1.10	1.55	1.41

3.6 Evoluzione dal 2010 al 2022 dei dati di base e commento

3.6.1 Premesse

Seguire l'evoluzione significa confrontare il prima e il dopo con il presupposto che le entità siano effettivamente paragonabili. Il confronto dei dati rilevati nel 2022 con quelli precedenti presenta però un certo numero di problemi che possono essere riassunti come segue.

- Indici individuali: questi indici sono rimasti i medesimi.
- Indice I_1 : dall'inizio delle campagne di monitoraggio questo indice è sempre stato calcolato secondo la norma VSS. Con l'analisi dei dati del 2014 è stata introdotta una nuova formula per il calcolo dell'indice I_1 (indice I_1 -C2). L'evoluzione nel tempo parte dal 2000 per l'indice I_1 secondo norma e rimane limitata al confronto 2014/2018 per l'indice I_1 -C2.
Per cercare di avere una migliore corrispondenza con i controlli dei provvedimenti sul terreno, a partire dal 2022 si è deciso di adottare la formula modificata I_1 -C1 per l'indice I_1 . Una valutazione sull'evoluzione di questo indice con gli ultimi rilievi non è però possibile e neppure indispensabile.
- Indici I_2 e I_3 : questi indici sono calcolati a partire da un valore di base (coefficiente s_w per l'indice I_2 e profondità di ormaia T per l'indice I_3) con curve di conversione che dipendono dalla classificazione delle strade. Con l'analisi della campagna di rilevamento del 2018 si è adottato un nuovo criterio di differenziazione fra strade principali e secondarie (vedi capitolo 3.2.2) che ha condotto ad un cambiamento delle lunghezze delle strade principali. Le curve di conversione meno penalizzanti per le strade secondarie conducono quindi a livello di rete ad un risultato più favorevole.
Per l'evoluzione dei valori aggregati va poi ricordato che la suddivisione della rete e con essa l'assegnazione delle curve di trasformazione degli indici I_2 e I_3 è cambiata.

3.6.2 Evoluzione dei valori di base

L'evoluzione dei valori di base è presentata nelle tabelle seguenti da una parte con i valori medi a livello di rete e d'altra parte con l'evoluzione delle percentuali cumulate di tronchi in condizione critica o pessima. I cambiamenti rispetto ai valori del rilievo 2018 sono contrassegnati con uno sfondo in colore rosso per i peggioramenti e con uno sfondo in colore blu per i miglioramenti. I dati sono suddivisi per pavimentazioni in asfalto e calcestruzzo.

Tabella 18: Evoluzione 2010-2022 dei valori medi degli indici di stato delle pavimentazioni in asfalto (valori di base del rilievo).

Anno	2010	2014	2018	2022	Diff. 2022/2018	Diff. % 2022/2018
I _{A1}	1.49	1.27	1.36	1.28	-0.08	-5.9
I _{A2}	2.03	2.80	2.83	2.58	-0.25	-8.8
I _{A3}	0.85	1.11	0.53	0.39	-0.14	-26.4
I _{A4}	0.97	1.39	1.22	1.24	0.02	1.6
med I _{A2} +I _{A4}	1.5	2.10	2.02	1.91	-0.11	-5.5
I _{A5}	0.32	0.57	0.52	0.55	0.03	5.8
I _{1_asfalto}	2.17	2.69	2.44	2.28	-0.16	-6.6
I _{1-C2}		2.21	1.98	1.84	-0.14	-7.1
I _{1-C1}				2.07		
I _{2_asfalto}	2.32	2.28	2.14	2.00	-0.14	-6.5
I _{3_asfalto}	1.17	1.43	1.24	1.10	-0.14	-11.3

Tabella 19: Evoluzione 2010-2022 della percentuale di strade in asfalto in condizione critica o pessima (valori di base del rilievo).

Anno	2010	2014	2018	2022	Diff. 2022/2018	Diff. % 2022/2018
I _{A1}	0.50	2.21	3.86	4.28	0.42	10.9
I _{A2}	14.01	62.88	66.89	52.98	-13.91	-20.8
I _{A3}	2.18	5.88	0.17	1.50	1.33	782.3
I _{A4}	10.97	16.77	14.15	17.53	3.38	23.9
med I _{A2} +I _{A4}	12.49	39.82	40.52	32.26	-5.26	-13.0
I _{A5}	0.54	2.03	4.68	5.39	0.71	15.2
I _{1_asfalto}	20.42	41.50	30.31	36.13	5.82	19.2
I _{1-C2}		23.20	10.48	13.62	3.14	30.0
I _{1-C1}				24.92		
I _{2_asfalto}	30.69	29.97	25.37	24.71	-0.66	-2.6
I _{3_asfalto}	2.18	5.59	4.91	4.18	-0.73	-14.9

Tabella 20: Evoluzione 2010-2022 dei valori medi delle pavimentazioni in calcestruzzo (valori di base del rilievo).

Anno	2010	2014	2018	2022	Diff. 2022/2018	Diff. % 2022/2018
km	41.558	37.753	36.779	31.613	-5.166	-13.68
l ₁	1.84	1.98	2.32	2.66	0.34	14.66
l ₂	2.02	2.08	2.10	2.30	0.20	9.52
l ₃	0.44	0.62	0.44	0.32	-0.12	-19.35

Tabella 21: Evoluzione 2010-2022 della percentuale di strade in calcestruzzo in condizione critica o pessima (valori di base del rilievo).

Anno	2010	2014	2018	2022	Diff. 2022/2018	Diff. % 2022/2018
km	41.558	37.753	36.779	31.613	-5.166	-13.68
l ₁	4.48	10.33	18.72	29.85	11.13	59.45
l ₂	13.33	15.09	16.36	13.99	-2.37	-14.49
l ₃	0.12	0.66	0.12	0.19	0.07	58.33

3.6.3 Evoluzione dei valori aggregati

Anche per i valori aggregati sono presentate le evoluzioni dei valori medi e delle percentuali cumulate di tronchi in condizione critica o pessima, unicamente per gli indici principali (senza sotto-indici). I cambiamenti rispetto ai valori del rilievo 2018 sono contrassegnati con uno sfondo in colore rosso per i peggioramenti e con uno sfondo in colore blu per i miglioramenti. I dati si riferiscono alle pavimentazioni in asfalto.

Tabella 22: Evoluzione 2010-2022 dei valori medi degli indici di stato della pavimentazione in asfalto (valori aggregati).

Anno	2010	2014	2018	2022	Diff. 2022/2018	Diff. % 2022/2018
l ₁	2.50	3.17				
l ₁ -C2		2.72	2.42	2.85	0.43	17.8
l ₁ -C1				2.57		
l ₂	2.84	2.91	2.81	2.64	-0.17	-6.0
l ₃	1.54	1.88	1.74	1.55	-0.19	-10.9

Tabella 23: Evoluzione 2010-2022 della percentuale di strade in asfalto in condizione critica o pessima (valori aggregati).

Anno	2010	2014	2018	2022	Diff. 2022/2018	Diff. % 2022/2018
l ₁	27.32	2.73				
l ₁ -C2		37.35	28.73	48.14	19.41	67.5
l ₁ -C1				39.55		
l ₂	46.67	50.16	44.52	38.08	-6.44	-14.4
l ₃	2.89	10.30	8.90	6.87	-0.97	-10.9

3.6.4 Commento sull'evoluzione dei valori di stato

Pavimentazioni in calcestruzzo

La lunghezza delle pavimentazioni in calcestruzzo è diminuita di circa cinque chilometri a seguito di cessione, ricostruzione o ricopertura in asfalto negli anni precedenti. Le tratte rimanenti, essenzialmente pavimentazioni molto datate, manifestano un crescente peggioramento, sia per l'indice I_1 che per l'indice I_2 . I valori per la regolarità trasversale, indice I_3 , non hanno significato su questo tipo di pavimentazione.

Pavimentazioni in asfalto, valori di base

Tutti gli indici di stato principali (I_1 , I_2 e I_3) esibiscono un miglioramento, particolarmente marcato nel caso della regolarità trasversale, leggermente meno per i danni superficiali e la regolarità longitudinale. Il ritardo di conservazione (percentuale di lunghezza di valori critici o pessimi) mostra una diminuzione unicamente per gli indici I_2 e I_3 . **Nell'insieme si può pertanto concludere che si osserva un mantenimento dello stato rilevato nel 2018, con un miglioramento delle classi di qualità sufficiente-buono.**

A livello degli indici individuali (I_{A1} a I_{A5}) del rilievo visivo i risultati sono più variati e le differenze talvolta molto importanti:

- Indice I_{A1} : i valori di questo indice mostrano un miglioramento, ma al contempo a livello di ritardo di conservazione si osserva un peggioramento. Si presume che queste differenze siano dovute al carattere soggettivo del rilievo nel caso particolare di un tipo di dissesto difficile da valutare.
- Indice I_{A2} : notevole miglioramento in particolare a livello del ritardo di conservazione.
- Indice I_{A3} : notevole miglioramento dell'indice medio. Si presume che la differenza sia dovuta a direttive diverse per il rilievo e/o l'elaborazione dei dati nelle campagne di misura 2014 e 2018.
- Indice I_{A4} : peggioramento per il valore medio ed il ritardo di conservazione. La valutazione di questi dissesti potrebbe potenzialmente essere stata condizionata dall'indice I_{A2} (diverse tipologie di fessurazione).
- Indice $I_{A2} + I_{A4}$: l'abbinamento di questi due sotto-indici è stato adottato per "compensare" eventuali errori nell'attribuzione di diverse tipologie di fessurazione agli indici I_{A2} e I_{A4} . Il valore combinato mostra un leggero miglioramento sia per il valore medio che per il ritardo di conservazione. Nell'insieme di questi due sotto-indici si può pertanto constatare un leggero miglioramento.
- Indice I_{A5} : i valori medi si rilevano costanti nel tempo, mentre sorprende il inasprimento del ritardo di manutenzione. Non si escludono influssi del carattere soggettivo del rilievo visivo (riconoscimento corretto, presa in considerazione della sigillatura di fessure).

Tutte le pavimentazioni, valori aggregati

Per gli indici I_2 e I_3 si nota un miglioramento superiore al 5% dei valori medi. **La tendenza al miglioramento è da considerarsi confermata. Al contempo i risultati del rilievo visivo (indice I_1 -C1) mostrano sia un peggioramento del valore, che di quello del ritardo di conservazione.**

3.7 Necessità di misure d'urgenza

La determinazione delle parti di tracciato da verificare laddove si riscontrasse la necessità di misure d'urgenza è uno dei compiti per l'analisi della campagna di rilievo 2022. Le misure d'urgenza da rilevare tramite analisi dei dati sono essenzialmente quelle legate ad aspetti di sicurezza della circolazione.

In assenza di dati sul rilievo diretto dell'aderenza, fra i parametri rilevati vi sono 2 indici che potenzialmente sono collegati ad aspetti di sicurezza:

- l'indice I_{A1} (scivolosità superficiale) che comprende la levigazione degli inerti e fenomeni di risalita di legante; la levigazione non può però essere apprezzata ad occhio nudo e ancor meno tramite analisi di immagini
- le ormaie dato che possono provocare problemi di buon mantenimento della direzione ai veicoli nel caso di spostamenti laterali e soprattutto possono innescare l'aquaplaning se vi è un importante quantitativo d'acqua; la profondità teorica d'acqua è stata rilevata nell'ambito dei rilievi. I valori di riferimento applicabili sono di 8 mm per tutte le strade con velocità massima fino a 80 km/h, rispettivamente di 4 mm per le strade con velocità massima oltre gli 80 km/h. Quest'ultima condizione riguardava unicamente il tronco stradale, nel frattempo ceduto ad USTRA, fra la rotonda dell'aeroporto di Magadino e lo svincolo di Tenero.
- Il valore critico di 8 mm (media fra traccia sinistra e destra), applicabile praticamente a tutta la rete viaria cantonale, è stato superato su ca. 27.146 km. Nel rilievo eseguito non è stata fatta una distinzione tra tronchi extraurbani (potenziale di rischio: aquaplaning) e tronchi all'interno degli abitati (potenziale di rischio: spruzzi su pedoni e ciclisti).

In molti casi questi superamenti sono eventi a carattere puntuale, legati frequentemente a un cambio di pendenza trasversale, e quindi non necessariamente critici. La criticità interviene quando il soprasso del limite di profondità d'acqua persiste con una certa continuità su distanze superiori al singolo elemento di rilievo di 50 m. Per approfondire l'analisi dei dati e per verificare quali tronchi di una certa lunghezza potessero essere considerati critici, sono quindi stati calcolati i valori medi della profondità sui segmenti aggregati definiti dall'Ufficio del tracciato nella sua prima analisi dei dati del rilievo di stato della pavimentazione.

L'analisi di questi segmenti ha mostrato che dove i valori medi non sono rispettati, risulta un provvedimento conservativo data la loro precaria condizione di stato. Rimangono unicamente scoperti segmenti per una lunghezza totale pari a 1.4 km. In questi singoli casi si può prevedere una verifica sul terreno delle condizioni reali, prima di definire delle apposite misure d'intervento.

Prima d'intraprendere i provvedimenti necessari si consiglia inoltre di estendere la verifica almeno anche alle tratte extra-urbane dove sono state rilevate profondità d'acqua media superiore a 6 mm.

4 Elementi del sistema di gestione

4.1 Principi di funzionamento di un sistema di gestione

Un sistema di gestione rappresenta la simulazione del processo decisionale legato alla scelta degli interventi di conservazione stradale, con i seguenti aspetti particolari:

- la considerazione della dimensione "tempo"; il processo decisionale non è basato unicamente sullo stato iniziale della pavimentazione ma tiene in considerazione anche la sua evoluzione futura
- la definizione di un obiettivo: nell'ambito della simulazione viene utilizzato un procedimento di ottimizzazione che persegue la combinazione di interventi più favorevole per il criterio di ottimizzazione adottato. Le analisi di questo rapporto permettono di definire il miglior risultato a livello di rete che si può raggiungere con i mezzi finanziari annui a disposizione.

La modellizzazione di questo processo decisionale per permetterne la simulazione richiede la definizione degli elementi seguenti:

- Parametri che variano nel tempo (**variabili d'analisi**) e leggi che regolano questa variazione (**modelli d'evoluzione o di degrado**)
- **Lista degli interventi di conservazione** fra i quali poter scegliere il provvedimento ottimale nel corso del periodo di analisi, con le caratteristiche seguenti:
 - costo unitario degli interventi;
 - regole di applicazione degli interventi;
 - effetti degli interventi.

4.2 Definizione degli elementi della rete

4.2.1 Procedura di segmentazione in oggetti PMS

In una prima fase la segmentazione della rete (dati secondo prospettiva SEG_AGGR) è stata eseguita dalla Divisione delle costruzioni. I singoli elementi del rilievo di stato di 50 m sono stati aggregati in segmenti più estesi, aventi di principio una lunghezza minima di 150 m, a dipendenza delle caratteristiche di degrado rilevate. In questo senso è stata scelta una classificazione pragmatica dei segmenti secondo le indicazioni riportate nella tabella sottostante.

Tabella 24: Definizione classi di qualità per la suddivisione in segmenti

<i>Classificazione dei segmenti</i>	<i>Condizione del singolo elemento di 50 m</i>
buono	se $I_1-C1 \leq 2.5$ e $I_2 < 3.0$ e $I_3 < 3.0$
medio	tutto quanto non ricade in "buono" e "pessimo"
pessimo	se $I_1-C1 \geq 3.5$

Con questo procedimento si è potuto segmentare in modo automatizzato praticamente il totale della rete viaria cantonale. In una seconda fase sono state apportate alcune modifiche alla prima segmentazione. Queste modifiche hanno toccato gli elementi seguenti:

- Definizione come elemento separato di tutti i tronchi con lavori già previsti e/o vincolati a fino all'anno 2024.
- Definizione come elemento separato di tutti i tronchi con lavori già previsti e/o vincolati con priorità fonica da eseguire entro il 2024.
- Definizione come elemento separato di tutti i ponti e i viadotti più lunghi di 100 m.

4.2.2 Statistiche sulla suddivisione della rete

Le analisi sono state eseguite su una rete di strade con la lunghezza complessiva di 1'008.204 km. Questa lunghezza corrisponde alla quasi totalità della rete stradale cantonale (99.8%) con la deduzione di tronchi con pavimentazione in selciato e delle zone per le quali non erano disponibili dati (2.202 km). La tabella seguente contiene i dettagli sulla rete analizzata settore per settore e presenta i risultati del calcolo della lunghezza e larghezza media dei singoli segmenti di analisi.

Tabella 25: Dati statistici della rete di analisi (lunghezze e larghezze in m).

Settore	Lunghezza asfalto	Lunghezza calcestruzzo	Lunghezza selciato	Lunghezza totale	Lunghezza analisi	No. segmenti (oggetti PMS)
CMsc1	138'942.85		100.00	139'042.85	139'130.85	383
CMsc2	150'630.40			150'630.40	151'528.40	375
CMsc3	132'892.50	3'883.00		136'775.50	135'756.50	321
CMsc4	137'413.90	1'140.00		138'553.90	136'933.40	352
CMsc5	143'482.80			143'482.80	143'393.80	324
CMsc6	144'154.60	10'801.00		154'955.60	157'288.60	349
CMsc7	120'885.10	15'789.00	9'621.00	146'295.10	144'172.10	385
Rete	968'402.15	31'613.00	9'721.00	1'009'736.15	1'008'203.65	2'489 *
Lunghezza media per segmento					405.06	
Larghezza media rete					6.336	

*: rispetto ai 2'427 definiti da Utrac, sono stati generati 2'489 segmenti. Nell'analisi finale (senza considerare elementi con pavimentazione in selciato) sono invece stati utilizzati 2'404 segmenti.

4.3 Variabili d'analisi

Il termine "variabile d'analisi" serve a caratterizzare l'insieme dei valori che possono subire una variazione durante il periodo di analisi in base alle regole di calcolo definite. VIAPMS distingue tre tipi di variabili d'analisi:

- variabili d'analisi annuali: sono quei parametri che variano annualmente;
- variabili d'analisi dinamiche: sono i parametri che variano unicamente in occasione dell'applicazione di un intervento;
- variabili d'analisi del sistema: i risultati complessivi dell'analisi in termini di costi e di benefici totali.

Tabella 26: Lista delle variabili d'analisi

Sigla PMS	Tipo di variabile	Descrizione
VA2_ETA	variabile annuale	Indicazione dell'età della pavimentazione (strato d'usura) con incremento di 1 ogni anno
VA2_TGM	variabile annuale	Volume di traffico TGM legato ad un tasso di aumento annuale
VA2_TipoPav	variabile dinamica	cambiamento del tipo di pavimentazione da "C" a "A" in caso di sostituzione di pavimentazione in calcestruzzo
VA2_IA1	variabile annuale	Evoluzione del valore aggregato dell'indice I_{A1} secondo modello di degrado, pavimentazione in asfalto
VA2_IA2	variabile annuale	Evoluzione del valore aggregato dell'indice I_{A2} secondo modello di degrado, pavimentazione in asfalto
VA2_IA3	variabile annuale	Evoluzione del valore aggregato dell'indice I_{A3} secondo modello di degrado, pavimentazione in asfalto
VA2_IA4	variabile annuale	Evoluzione del valore aggregato dell'indice I_{A4} secondo modello di degrado, pavimentazione in asfalto
VA2_IA5	variabile annuale	Evoluzione del valore aggregato dell'indice I_{A5} secondo modello di degrado, pavimentazione in asfalto
VA2_IB1	variabile annuale	Evoluzione del valore aggregato dell'indice I_{B1} secondo modello di degrado, pavimentazione in calcestruzzo
VA2_IB2	variabile annuale	Evoluzione del valore aggregato dell'indice I_{B2} secondo modello di degrado, pavimentazione in calcestruzzo
VA2_IB3	variabile annuale	Evoluzione del valore aggregato dell'indice I_{B3} secondo modello di degrado, pavimentazione in calcestruzzo
VA2_IB4	variabile annuale	Evoluzione del valore aggregato dell'indice I_{B4} secondo modello di degrado, pavimentazione in calcestruzzo
VA2_IB5	variabile annuale	Evoluzione del valore aggregato dell'indice I_{B5} secondo modello di degrado, pavimentazione in calcestruzzo
VA2_IB6	variabile annuale	Evoluzione del valore aggregato dell'indice I_{B6} secondo modello di degrado, pavimentazione in calcestruzzo
VA2_I1	variabile annuale	Indice I_1 -C1 calcolato sulla base delle variabili d'analisi VA_IA1 a VA_IA5
VA2_SWMAX	variabile annuale	Evoluzione del valore aggregato di SW_{max} secondo modello di degrado
VA2_I2	variabile annuale	Valore di indice I_2 calcolato a partire dalla variabile d'analisi VA_SWMAX
VA2_TMAX	variabile annuale	Evoluzione del valore aggregato di T_{max} secondo modello di degrado
VA2_I3	variabile annuale	Valore di indice I_3 calcolato a partire dalla variabile d'analisi VA_TMAX
VA2_IG	variabile annuale	Indice globale calcolato dai singoli indici secondo definizione
VA2_Costi_ann	variabile annuale	Variabile che definisce i costi di un singolo intervento secondo l'espressione del sistema GST_COST_F, costi finanziari (IVA compresa)
VA2_PV_Costi	variabile sistema	Valore attualizzato del costo totale a livello di rete un tasso d'inflazione del 5% ed un tasso d'attualizzazione del 7%.
VA2_PV_Ben	variabile sistema	Valore attualizzato del beneficio totale a livello di rete

4.4 Modelli d'evoluzione

4.4.1 Modelli di degrado dei parametri dello stato della pavimentazione

Una prima serie di modelli di degrado era stata sviluppata e applicata nell'ambito dello studio PMS 2010. L'analisi dei dati del rilievo 2014 ha permesso di verificare i modelli e sono stati presi gli accorgimenti del caso.

Per l'analisi PMS 2022 sono stati adottati i modelli (curve di degrado) applicati per gli ultimi due studi (2014 e 2018), non prevedendo per le pavimentazioni in asfalto una distinzione tra i vari tipi di strato di usura.

Attualmente la rete stradale presenta infatti una serie di settori con pavimentazioni a carattere fonoassorbente (tipologia SDA), corrispondenti a ca. 100 km di strade (sui 220 km pubblicati). I dati del rilievo dello stato attualmente a disposizione non permettono però di definire delle curve di degrado attendibili per essere considerate nell'analisi. Si prevede pertanto di attendere il prossimo rilievo prima di procedere con l'aggiornamento delle funzioni, in modo da avere dei risultati oggettivi.

La tabella 27 seguente contiene le definizioni delle curve di degrado nella forma usata per la loro introduzione nell'applicazione VIAPMS 2022.

Tabella 27: Curve di degrado per i parametri di stato della pavimentazione.

Nome	Descrizione	Modello
P2NVA_A1_T2	Evoluzione indice I_{A1} , classe T2	$IF(VA2_Eta > 1.0, 0.2418 * LOG(VA2_Eta) + 0.9228, 0.0)$
P2NVA_A1_T3	Evoluzione indice I_{A1} , classe T3	$IF(VA2_Eta > 1.0, 0.2023 * LOG(VA2_Eta) + 1.1044, 0.0)$
P2NVA_A1_T4	Evoluzione indice I_{A1} , classe T4	$IF(VA2_Eta > 1.0, 0.3439 * LOG(VA2_Eta) + 0.8391, 0.0)$
P2NVA_A1_T5	Evoluzione indice I_{A1} , classe T5	$IF(VA2_Eta > 1.0, 0.3948 * LOG(VA2_Eta) + 0.7130, 0.0)$
P2NVA_A2_T2	Evoluzione indice I_{A2} , classe T2	$IF(VA2_Eta > 1.0, 0.5335 * LOG(VA2_Eta) + 0.8436, 0.0)$
P2NVA_A2_T3	Evoluzione indice I_{A2} , classe T3	$IF(VA2_Eta > 1.0, 0.378 * LOG(VA2_Eta) + 1.0031, 0.0)$
P2NVA_A2_T4	Evoluzione indice I_{A2} , classe T4	$IF(VA2_Eta > 1.0, 0.1962 * LOG(VA2_Eta) + 1.542, 0.0)$
P2NVA_A2_T5	Evoluzione indice I_{A2} , classe T5	$IF(VA2_Eta > 1.0, 0.3022 * LOG(VA2_Eta) + 1.3788, 0.0)$
P2NVA_A3_T2	Evoluzione indice I_{A3} , classe T2	$IF(VA2_Eta > 1.0, 0.6244 * LOG(VA2_Eta) + 0.0308, 0.0)$
P2NVA_A3_T3	Evoluzione indice I_{A3} , classe T3	$IF(VA2_Eta > 1.0, 0.4665 * LOG(VA2_Eta) + 0.271, 0.0)$
P2NVA_A3_T4	Evoluzione indice I_{A3} , classe T4	$IF(VA2_Eta > 1.0, 0.752 * LOG(VA2_Eta) - 0.2539, 0.0)$
P2NVA_A3_T5	Evoluzione indice I_{A3} , classe T5	$IF(VA2_Eta > 1.0, 0.4263 * LOG(VA2_Eta) + 0.1984, 0.0)$
P2NVA_A4_T2	Evoluzione indice I_{A4} , classe T2	$IF(VA2_Eta > 1.0, 0.7148 * LOG(VA2_Eta) - 0.1949, 0.0)$
P2NVA_A4_T3	Evoluzione indice I_{A4} , classe T3	$IF(VA2_Eta > 1.0, 0.4387 * LOG(VA2_Eta) - 0.0228, 0.0)$
P2NVA_A4_T4	Evoluzione indice I_{A4} , classe T4	$IF(VA2_Eta > 1.0, 0.6374 * LOG(VA2_Eta) - 0.6101, 0.0)$
P2NVA_A4_T5	Evoluzione indice I_{A4} , classe T5	$IF(VA2_Eta > 1.0, 0.2984 * LOG(VA2_Eta) + 0.1727, 0.0)$
P2NVA_A5_T2	Evoluzione indice I_{A5} , classe T2	$0.0323 * VA2_Eta + 0.0997$
P2NVA_A5_T3	Evoluzione indice I_{A5} , classe T3	$0.0238 * VA2_Eta + 0.2367$
P2NVA_A5_T4	Evoluzione indice I_{A5} , classe T4	$0.0405 * VA2_Eta + 0.0011$
P2NVA_A5_T5	Evoluzione indice I_{A5} , classe T5	$0.0539 * VA2_Eta - 0.0961$
P2NVA_B1	Evoluzione indice I_{B1}	$0.04 * VA2_Eta$
P2NVA_B2	Evoluzione indice I_{B2}	$0.05 * VA2_Eta$
P2NVA_B3	Evoluzione indice I_{B3}	$0.05 * VA2_Eta$
P2NVA_B4	Evoluzione indice I_{B4}	$0.05 * VA2_Eta$
P2NVA_B5	Evoluzione indice I_{B5}	$0.04 * VA2_Eta$
P2NVA_B6	Evoluzione indice I_{B6}	$0.03 * VA2_Eta$
P2NVA_SW_T2	Evoluzione coeff. S_w , classe T2	$0.1588 * VA2_Eta + 1.5138$
P2NVA_SW_T3	Evoluzione coeff. S_w , classe T3	$0.0849 * VA2_Eta + 2.1566$
P2NVA_SW_T4	Evoluzione coeff. S_w , classe T4	$0.1372 * VA2_Eta + 1.692$

Nome	Descrizione	Modello
P2NVA_SW_T5	Evoluzione coeff. <i>sw</i> , classe T5	$0.1015 * VA2_Eta + 1.7375$
P2NVA_Tmax_T2	Evoluzione T_{max} , classe T2	$IF(VA2_Eta > 1.0, 2.9869 * LOG(VA2_Eta) + 2.2071, 4.0)$
P2NVA_Tmax_T3	Evoluzione T_{max} , classe T3	$IF(VA2_Eta > 1.0, 1.3239 * LOG(VA2_Eta) + 5.1128, 4.0)$
P2NVA_Tmax_T4	Evoluzione T_{max} , classe T4	$IF(VA2_Eta > 1.0, 3.3664 * LOG(VA2_Eta) + 1.0397, 4.0)$
P2NVA_Tmax_T5	Evoluzione T_{max} , classe T5	$IF(VA2_Eta > 1.0, 1.7364 * LOG(VA2_Eta) + 3.5184, 4.0)$

4.4.2 Evoluzione dell'età e del traffico

L'indicazione dell'età della pavimentazione si riferisce agli anni d'esercizio dello strato di usura al momento dell'ultimo rilievo di stato della pavimentazione. La variabile d'analisi VA2_Età aumenta di una unità ogni anno.

Il traffico giornaliero medio annuale (TGM) è un'altra variabile d'analisi. L'evoluzione è calcolata ammettendo un tasso d'incremento annuale dell'1.0% a partire dai dati forniti. Quale TGM si è preso il TFM 2017 (traffico feriale medio al 2017, fornito dalla Sezione della mobilità).

4.4.3 Definizione delle modalità di calcolo dell'indice I_1 e di un indice globale

I vari modelli di evoluzione presentati al capitolo 4.4.1 non prevedono un modello specifico per l'indice I_1 , la cui evoluzione dipende dall'evoluzione dei singoli gruppi principali di dissesti (I_{Ai} per pavimentazioni in asfalto, I_{Bi} per pavimentazioni in calcestruzzo) che sono alla base del calcolo del valore dell'indice I_1 . L'evoluzione dell'indice I_1 sarà quindi calcolata sulla base dell'evoluzione delle singole componenti, cioè degli indici $I_{A1} - I_{A5}$, rispettivamente degli indici $I_{B1} - I_{B6}$. La procedura di calcolo rimarrà quella definita dalla norma SN 40 925b (con le eccezioni riportate qui di seguito), però a partire dai valori aggregati degli indici I_{Ai} rispettivamente I_{Bi} . Questo processo conduce generalmente all'ottenimento di valori più alti di quelli ottenuti dai dati del rilievo di stato. Per evitare questo aumento è stato applicato un fattore di correzione di 0.9 alle procedure di calcolo dell'evoluzione dell'indice I_1 . Il fattore di correzione è stato determinato dal confronto fra risultati non corretti con i valori ottenuti dal processo normale di aggregazione.

L'insieme dei vari indici di stato della pavimentazione trova il suo impiego essenzialmente nell'ambito della "diagnosi", in particolare nella definizione del campo di applicazione dei vari tipi di intervento. Al momento di procedere a un'ottimizzazione bisogna però limitarsi alla scelta di un unico criterio o indicatore di stato della pavimentazione. A questo scopo sono utilizzati frequentemente indici "compositi" o "globali". Nell'ambito dello studio sulla conservazione della rete viaria cantonale si propone la seguente definizione di indice globale:

$$IG = \text{valore medio } (I_1, I_2, I_3) + 1.2 \times \text{deviazione standard } (I_1, I_2, I_3)^*$$

*si intende la media dei valori I_1 , I_2 e I_3 e la deviazione standard fra questi tre valori

Questa regola è rappresentata dall'espressione seguente in VIAPMS:

$$IG = \text{COMP}(-1.2, VA2_I1, VA2_I2, VA2_I3)$$

Tale indice globale tende a orientare il risultato verso i valori peggiori degli indici costituenti. La scelta del solo valore medio porta ad un "miglioramento" artificiale della situazione, in altre parole alla determinazione di una condizione globale "troppo rosea" che non trova corrispondenza nel contesto reale.

4.4.4 Determinazione dei costi

Nel calcolo dei costi intervengono due variabili d'analisi:

- la variabile d'analisi VA2_Costi_ann (attivata tramite l'espressione di VIAPMS "GST_COST_F" determina il costo (nell'anno di applicazione) di un singolo intervento.
- la variabile d'analisi VA2_PV_Costi determina il costo totale attualizzato (PV = present value) ed è determinata dalla somma dei costi di ogni intervento tramite la formula $GET4CAV_PV(VA2_Costi_ann)$, da un tasso d'inflazione del 5% e da un tasso d'attualizzazione del 7%.

4.4.5 Determinazione dei benefici

Il beneficio è espresso secondo in concetto dell'area sotto la curva ("sotto la curva" per la verità solo con curve di degrado a scala inversa) dell'evoluzione del criterio di ottimizzazione, cioè dell'indice globale. L'espressione per il calcolo del beneficio, la cui definizione è rappresentata graficamente nella figura 21, è la seguente:

$$Beneficio = \int_{\text{non far niente}}^{\text{intervento}} I_G * \sqrt{TGM}$$

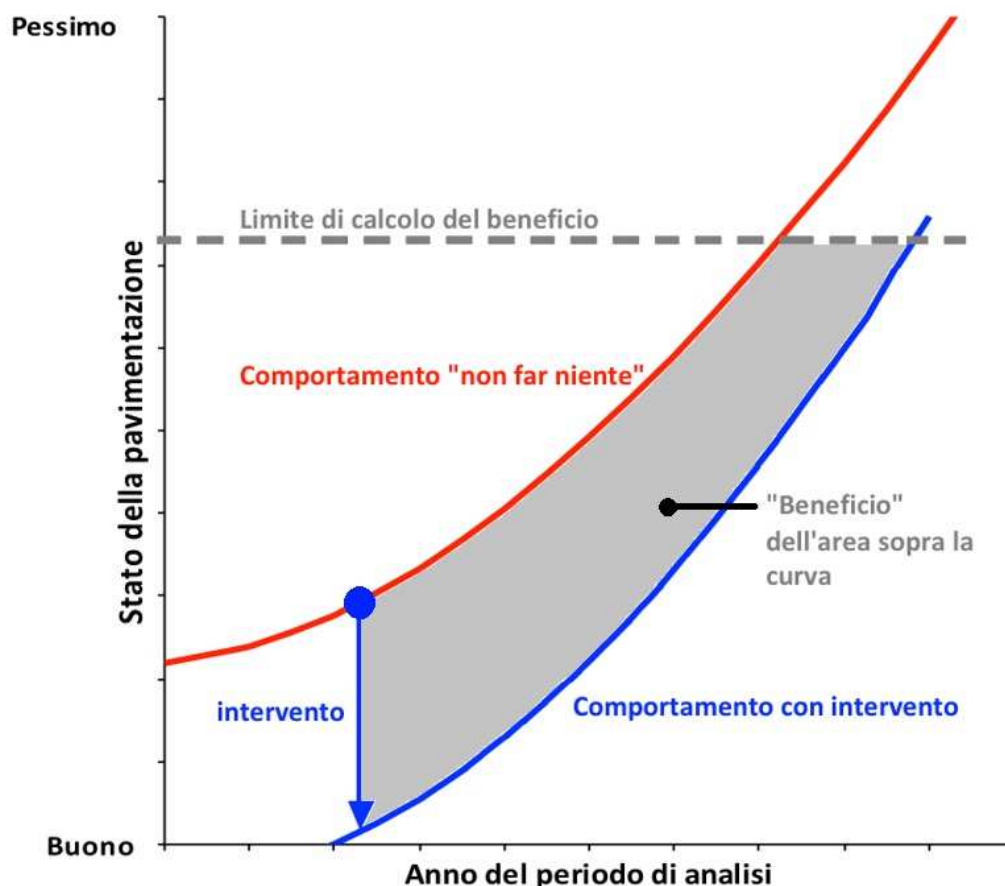


Figura 20: Rappresentazione schematica del metodo per la determinazione dei benefici.

In VIAPMS il beneficio è rappresentato con le espressioni seguenti:

$$nVA_PV_BEN = GET4CAV_PVDIFF(VA2_IG, 5, VA2_TGM, 0.5)$$

GET4CAV_PVDIFF	funzione interna di VIAPMS per il calcolo della superficie sotto/sopra la curva
VA2_IG:	variabile di analisi per l'indice globale, che definisce l'ascissa (asse y) del diagramma della figura 20
5:	definisce sull'ascissa (sulla scala dei valori della variabile VA2_IG) il limite superiore della superficie (vedi fig. 20: limite di calcolo del beneficio)
VA2_TGM:	TGM quale fattore di ponderazione per il beneficio
0.5:	esponente del fattore di ponderazione (TGM)

L'equazione seguente determina il calcolo del beneficio. Il valore maggiore rappresenta la condizione migliore (adattare l'equazione nel caso di una scala di valori in senso inverso):

$$Beneficio_{(i)} = \frac{TGM_{(i)}^k * [Str_Cond_{(i)} - Don_Cond_{(i)}]}{(1 + \frac{r}{100})^i}$$

i	anno del periodo di analisi (ad es. 2022 è l'anno 1, 2023 è l'anno 2, ecc.)
r	tasso di attualizzazione (7%)
Beneficio (i)	Beneficio della strategia (applicazione dell'intervento) a partire dall'anno i
TGM(i)	TGM della sezione nell'anno i
k	fattore di ponderazione per il traffico (TGM)
Str_Conc(i)	valore di stato nel caso di applicazione di un intervento nell'anno i
Don_Conc(i)	valore di stato nel caso dell'opzione "non far niente" nell'anno i

4.5 Catalogo degli interventi

4.5.1 Tipologia degli interventi

Il catalogo degli interventi (Tabella 28) è stato stabilito dalla Divisione delle costruzioni compresa la determinazione dei costi unitari e la definizione del campo o delle condizioni di applicazione dei singoli interventi. Il documento dettagliato della Divisione delle costruzioni è annesso come allegato 1 al presente rapporto.

Tabella 28: Lista degli interventi.

Sigla PMS	Provvedimento	Descrizione
RUA	Risanamento usura (Prov. 1)	Questo provvedimento può avere varianti d'attuazione: A) Impermeabilizzazione e livellamento della superficie stradale con un microrivestimento spesso ca. 10-15 mm. B) Fresatura e posa 35-40 mm tappeto in conglomerato bituminoso con max. 30% di bonifiche locali dello strato sottostante. C) Fresatura posa membrana tipo SAMI e posa 30 mm tappeto in conglomerato bituminoso (prevalentemente utilizzato per posa di pavimentazioni fonoassorbenti).
RPT	Risanamento pavimentazione classe di traffico T1 (Prov. 2)	Fresatura e posa 70-80 mm di conglomerato bituminoso.
	Risanamento pavimentazione classe di traffico T2 (Prov. 3)	Fresatura e posa 100 mm di conglomerato bituminoso.
	Risanamento pavimentazione classe di traffico T3 (Prov. 4)	Fresatura e posa 130 mm di conglomerato bituminoso.
	Risanamento pavimentazione classe di traffico T4 (Prov. 5)	Fresatura e posa 170 mm di conglomerato bituminoso.
	Risanamento pavimentazione classe di traffico T5 (Prov. 6)	Fresatura e posa 220 mm di conglomerato bituminoso.
RPM	Risanamento pavimentazione manufatto (Prov. 7)	Fresatura e posa 35 mm di conglomerato bituminoso.
ROR	Risanamento ormaie (Prov. 8)	Questo provvedimento può avere varianti d'attuazione: A. Fresatura di precisione. B. Fresatura e posa 35-40 mm tappeto in conglomerato bituminoso.
RUC	Posa strato d'usura sulle lastre in calcestruzzo (Prov. 9)	Riparazione lastre, iniezione in resina per riempimento e livellamento (dove necessario), pulizia ad alta pressione, posa SAMI e strato d'usura di 40 mm.
SUPF	Supplemento costi per posa pavimentazione fonoassorbente	Posa tappeto SDA 4-12

4.5.2 Costi degli interventi

I costi degli interventi sono stati determinati dalla Divisione delle costruzioni sulla base dell'analisi statistica dettagliata dei costi di diversi cantieri rappresentativi realizzati nel corso degli ultimi anni.

Tabella 29: Costi degli interventi.

Sigla PMS	Tipo di intervento	Classe di traffico	Costo [CHF/m²]
RUA	Risanamento strato d'usura asfalto	tutte	88.--
RPT	Risanamento pavimentazione T1	T1	107.--
RPT	Risanamento pavimentazione T2	T2	131.--
RPT	Risanamento pavimentazione T3	T3	162.--
RPT	Risanamento pavimentazione T4	T4	197.--
RPT	Risanamento pavimentazione T5	T5	222.--
RPM	Risanamento pavimentazione manufatto	tutte	88.--
ROR	Risanamento ormaie	tutte	50.--
RUC	Posa strato d'usura sulle lastre in calcestruzzo	tutte	197.--
SUPF	Supplemento costi per posa pavimentazione fonoassorbente	tutte	5.--

4.5.3 Effetti degli interventi

Per effetto degli interventi si intendono le migliorie di stato alla pavimentazione attese dopo l'esecuzione di un intervento. Queste migliorie possono avere il carattere di un valore assoluto (0 = valore dell'indice dopo l'intervento) oppure rappresentare un miglioramento rispetto alla condizione precedente. La tabella 30 presenta i valori numerici inseriti nell'applicazione VIAPMS.

Tabella 30: Effetti numerici dei diversi tipi di intervento sugli indici di stato della pavimentazione e valori di regolarità trasversale e longitudinale.

Intervento	Indice I_{A1} [0-5]	Indice I_{A2} [0-5]	Indice I_{A3} [0-5]	Indice I_{A4} [0-5]	Indice I_{A5} [0-5]	s_w aggr* [%]	T_{max} aggr* [mm]
RUA	0	0	0	0	0	1.4	2
RPT	0	0	0	0	0	1.4	2
RPM	0	0	0	0	0	1.2	2
RUC	0	0	0	0	0	1.2	2

*: valori risultanti assoluti

4.5.4 Condizioni d'applicazione degli interventi

Le condizioni di applicazione (filtri) per i singoli interventi sono state definite da parte dell'Ufficio del tracciato (allegato 2) e sottoposte a verifica sul terreno sulla base dei risultati di una serie preliminari di analisi PMS per i segmenti aggregati.

Tabella 31: Filtri per la definizione del campo di applicazione degli interventi.

Nome filtro	Descrizione	Espressione del filtro
A2_CA_RUA (Provv. 1)	Cond. applicazione risanamento usura	(PMS2->P2_Tipo_Pav='A' And PMS2->P2_Tipo_STR='S' And NOT (PMS2->t_usura='GHI' Or PMS2->t_usura='MIC')) And ((VA2_I1>= 2.8 And VA2_I2>=2.5 And (dev.st VA2_I1<0.6 Or dev.st VA2_I2<0.6))
A2_CA_RPT (Provv. 2-6)	Cond. applicazione risanamento pavimentazione	(PMS2->P2_Tipo_Pav='A' And PMS2->P2_Tipo_STR='S' And VA2_I1>=3.8 And VA2_I2>=3.0) Or (PMS2->t_usura='GHI' Or PMS2->t_usura='MIC' And VA2_I1>= 2.8 And VA2_I2>=2.5)
A2_CA_RPM (Provv. 7)	Cond. applicazione risanamento usura manufatti	PMS2->P2_Tipo_STR='P' And (VA2_I1>=2.8 And VA2_I2>=2.5) And NOT (PMS2->t_usura='GHI' Or PMS2->t_usura='MIC')
A2_CA_RUC (Provv. 9)	Cond. applicazione usura asfalto su calcestruzzo con fondazione	PMS2->P2_Tipo_Pav='C' And VA2_I1>= 2.2 And VA2_I2>=2.2
A2_CA_SUPF	Cond. applicazione sovrapprezzo per intervento fonico	PMS2->P2_Prio_Fonica>=1.0

5 Risultati dell'analisi

5.1 Tipologia dei risultati

La procedura di analisi di VIAPMS si svolge in due fasi distinte:

- In una prima fase (denominazione interna: "generate strategies") vengono determinate, sulla base dell'evoluzione di tutti i parametri durante il periodo di analisi, **tutte le strategie di intervento possibili**. In altre parole, le strategie o scelte di tempistica e di tipo di intervento che corrispondono alle regole definite.
- Nella seconda fase il sistema cerca la combinazione di interventi (tipo ed anno di esecuzione) che offre il **maggior beneficio a livello di rete con i mezzi finanziari disponibili**.

I risultati derivanti dall'analisi si distinguono fra risultati a livello di singolo segmento (livello "progetto") e risultati a livello di rete. Questi due gruppi di risultati possono anche essere descritti nel modo seguente:

- A livello di progetto il sistema elabora una serie di proposte (volutamente si è scelta la parola "proposte", sapendo che si tratta finalmente di una simulazione basata su di un certo numero d'informazioni) per la scelta dell'intervento ottimale per ogni singolo segmento. Oltre all'indicazione della soluzione ottimale, VIAPMS permette l'accesso anche a tutte le altre varianti di intervento elaborate nella prima fase della procedura di analisi e per ogni variante di intervento sono disponibili anno per anno i valori di ognuna delle diverse variabili d'analisi. Tutto ciò rappresenta un enorme volume di dati difficilmente riassumibile in un rapporto di questo tipo. Le liste degli interventi ottimali per ogni scenario di budget (proposta di programma di lavori) con indicazione del segmento, dell'anno di esecuzione, del tipo di intervento e dei suoi costi sono contenute nei file di dati di consegna, secondo le indicazioni dell'allegato 3.
- I risultati a livello di rete mostrano essenzialmente le conseguenze della scelta dei volumi di spesa (scenari di budget) a livello dell'evoluzione futura della rete stradale (o di parti di esse) dai seguenti punti di vista sottoelencati per i quali il rapporto presenta una selezione dei risultati ottenuti (dettaglio completo a livello di rete e separatamente per strade principali e per strade secondarie nei file di risultati secondo le indicazioni dell'allegato 3):
 - Evoluzione del valore medio a livello di rete di vari indici di stato della pavimentazione.
 - Evoluzione della lunghezza di rete considerata in "ritardo di conservazione". Questo termine ("Rückstandslänge" in tedesco, "backlog" secondo la terminologia anglosassone), rappresentato dalla somma complessiva dei segmenti nelle due peggiori categorie di stato della pavimentazione con un valore di indice superiore a 3.0, indica il volume da "smaltire" che si continua a portare avanti.
 - Determinazione del fabbisogno di conservazione in funzione degli obiettivi (quanto devo spendere per raggiungere un determinato livello di qualità?).
 - Determinazione del fabbisogno di conservazione per la riduzione del ritardo di manutenzione (quanto devo spendere per ridurre a una determinata lunghezza il ritardo di manutenzione?).
 - Evoluzione annuale della distribuzione dello stato della pavimentazione: indicazione delle percentuali di lunghezza di rete in ognuna delle cinque categorie di qualità.
 - Evoluzione annuale della distribuzione ponderata dello stato della pavimentazione: indicazione delle percentuali di volume di circolazione (veicoli x km) in ognuna delle cinque categorie di qualità.
 - Distribuzione del tipo di intervento secondo lunghezza e secondo costi per i diversi scenari di budget.

Per gli ultimi due gruppi di risultati è stato scelto di inserire nel rapporto unicamente i valori per lo scenario di budget "minimo indispensabile", cioè quello che per primo permette di mantenere lo stato della rete attuale. Per evidenziare questa condizione sono stati indicati con fondo rosso nelle tabelle dei valori quei casi in cui l'analisi dimostra un peggioramento rispetto allo stato iniziale.

5.2 Criterio di ottimizzazione, periodo di analisi e scenari di budget

5.2.1 Criterio di ottimizzazione

Il criterio di ottimizzazione è indicato nell'espressione per la definizione del beneficio (vedi capitolo 4.4.5). Quest'ultimo è rappresentato dalla somma a livello di rete delle miglorie ottenute su ogni singolo segmento di analisi rispetto all'indice globale – che rappresenta quindi il criterio di ottimizzazione vero e proprio – ponderato in seguito dalla radice quadrata del traffico.

5.2.2 Periodo di analisi

Per le analisi presentate in questo rapporto, che dovrebbero determinare delle decisioni sui mezzi disponibili e i singoli interventi a partire dal 2024, è stato scelto un periodo di analisi di 14 anni dal 2022 al 2035. Questa scelta è dovuta alla necessità di un periodo sufficientemente lungo per valutare gli effetti delle scelte di preventivo a medio/lungo termine e il periodo può essere caratterizzato nel modo seguente:

- 2022: anno iniziale del periodo di analisi = anno dell'ultimo rilievo dello stato della pavimentazione. Da qui inizia l'evoluzione dei valori di stato secondo i modelli di degrado.
- 2023: anno per il quale le scelte degli interventi da realizzare sono già state fatte.
- 2024-2027 primo quadriennio
- 2028-2031 secondo quadriennio
- 2032-2035 terzo quadriennio

5.2.3 Scenari di budget

Uno "scenario di budget" è quell'elemento dell'applicazione VIAPMS che serve a definire le condizioni o limitazioni finanziarie applicabili ad ogni singola analisi. Normalmente si definiscono diversi scenari di budget per ottenere una gamma di risultati che vanno da un peggioramento dello stato della rete (mezzi insufficienti), al mantenimento dello stato iniziale fino ad un miglioramento dello stato della rete. Per le analisi di questo rapporto sono stati definiti cinque scenari di budget (12, 14, 16, 18 e 20 milioni di franchi) rappresentati con l'importo annuale disponibile nell'ambito del credito di conservazione in milioni di franchi. Questi importi annuali fissi sono stati assegnati per gli anni dei 3 prossimi quadrienni, mentre per gli anni preliminari (2022 e 2023) è stato assegnato un importo di 0 franchi. La spesa va ovviamente a carico dei crediti già accordati in precedenza (vedi anche cap. 5.3).

- B12: 12'000'000 CHF/anno
- B14: 14'000'000 CHF/anno
- B16: 16'000'000 CHF/anno
- B18: 18'000'000 CHF/anno
- B20: 20'000'000 CHF/anno

5.3 Progetti vincolati e assicurazione di una dotazione minima per settore

5.3.1 Progetti vincolati eseguiti/da eseguire entro fine 2023

L'applicazione VIAPMS considera "vincolati" quegli elementi per i quali sono già stati definiti l'anno di esecuzione, il tipo di intervento previsto ed i costi. Ciò significa che questi elementi sono esclusi dalla fase di ottimizzazione ed il loro costo è zero.

Secondo indicazioni della Divisione delle Costruzioni i vari segmenti vincolati, la cui esecuzione è già stata pianificata, non vanno a carico dei nuovi crediti di conservazione, bensì provengono da altre fonti di finanziamento già approvate. Come precedentemente esposto, per un'analisi finanziaria legata ai crediti di conservazione 2024-2035, le spese corrispondenti non intervengono e pertanto a questi segmenti vincolati ed è stato assegnato un costo nullo. I contributi appena citati sono essenzialmente di tre tipi:

- un credito specifico per risanamento fonico delle pavimentazioni, con il potenziale di generare in un periodo molto breve interventi per una spesa complessiva di circa 83 milioni di franchi (Messaggi cantionali nr. 7637 e 8119);
- crediti di costruzione legati a progetti stradali aventi una qual certa rilevanza nel contesto locale e regionale;
- il credito di conservazione del quadriennio precedente che aveva già assegnato mezzi per segmenti con esecuzione prevista solo dopo la fine del quadriennio.

Vista l'entità di tutti questi interventi a carico di altri crediti e quindi considerati a costo zero nell'ambito dell'analisi finanziaria per il credito di conservazione dei prossimi 3 quadrienni sarà opportuno fare la dovuta considerazione di questo "contributo esterno" nella valutazione dei risultati dell'analisi che segue.

Per il quadriennio che si avvicina al termine (fine 2023) non è stato semplice definire la data dell'ultimo intervento al fine di apportare dei correttivi ai dati di stato della pavimentazione in conformità a quanto auspicato dopo l'esecuzione dei lavori (vedi anche cap. 4.5.3). Da una parte non è necessariamente chiaro se gli interventi previsti nel 2022 (anno dell'ultimo rilievo dello stato della rete stradale cantonale) siano stati eseguiti prima o dopo le misurazioni ARAN e i valori di stato rilevati non sono sempre una fonte affidabile di stima. D'altra parte, in molti casi le indicazioni ricevute (anche con riferimento ad anni precedenti) si segnalava una generica "programmazione entro il 2024" o l'intervento fonico per un numero importante di segmenti, senza però indicarne la data precisa.

Al fine di togliere ogni dubbio e di ottenere un quadro più realistico del reale stato delle pavimentazioni, è stato scelto di assegnare all'anno 2023 l'esecuzione di tutti questi tipi di interventi. Dal momento che questo modo di procedere aveva l'unico scopo di aggiornare i dati dello stato della pavimentazione nel periodo precedente a quello d'analisi finanziaria (2024-2035) tutti questi interventi sono stati considerati a costo zero anche in corrispondenza alla dotazione di budget per gli anni 2022 e 2023.

5.3.2 Dotazione minima per settore

Nell'ambito dell'analisi globale è pure stato apportato un altro elemento "forzato" allo scopo di assicurare una dotazione minima d'interventi in ogni settore (ispettorato stradale) e raggiungere in tal modo una ripartizione "equa" a livello regionale. Questa "forzatura" ha considerato un importo minimo di 3 milioni di franchi per quadriennio e settore (finora erano 2 milioni di franchi che sono stati adeguati al rincaro dei prezzi constatato) e con tali condizioni sono state determinate le liste degli interventi per settore (indicate nell'allegato 3), poi riprese come elemento vincolato (per tipo e anno d'esecuzione dei singoli interventi) nell'analisi a livello di rete.

Oltre a questa dotazione minima intervengono poi eventuali altri elementi "vincolati" come da capitolo 5.3.2 e altre assegnazioni di proposte di intervento scaturite dal processo di ottimizzazione.

5.4 Impostazione dell'analisi

Nell'ambito delle analisi eseguite in precedenza si era sempre cercato di trovare il fabbisogno di conservazione partendo dal principio di voler cercare una soluzione con un budget annuale costante su un periodo relativamente lungo (12 anni). Questa condizione offre dei vantaggi a livello:

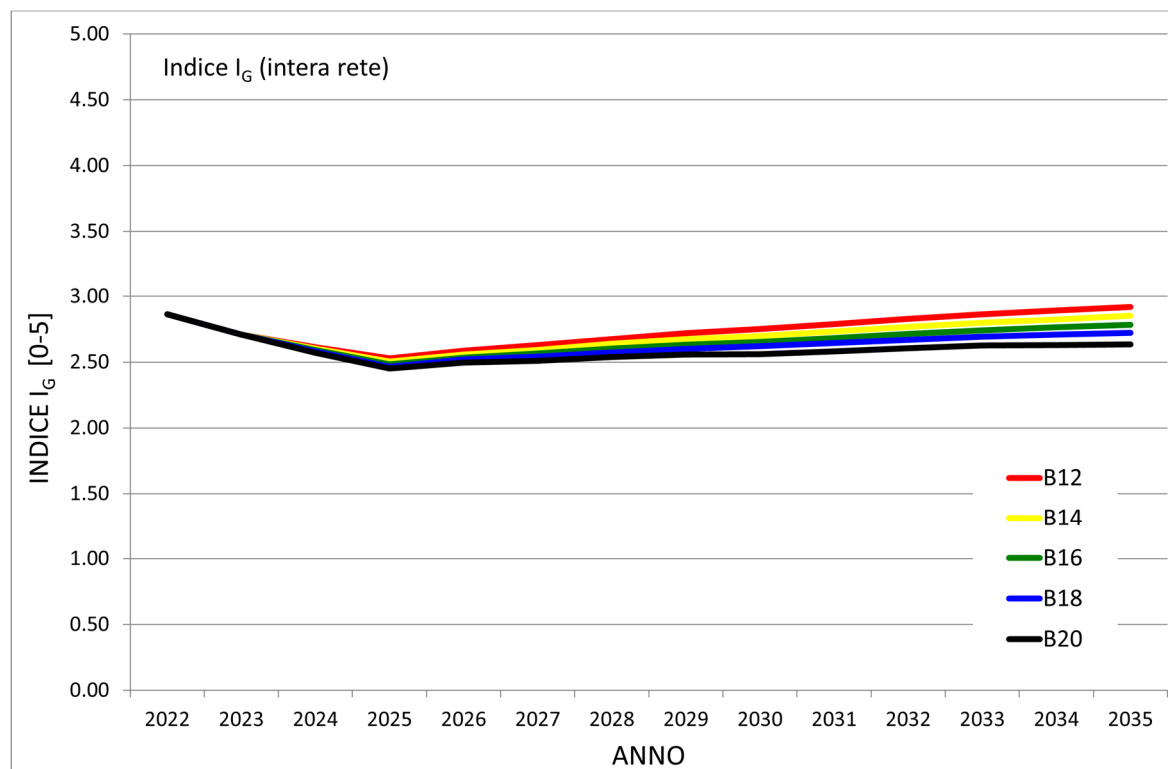
- dell'assicurazione di una mole di lavoro costante per l'amministrazione;
- di una maggior costanza a livello di pianificazione finanziaria;
- dell'assicurazione di un livello costante di investimenti a favore dell'industria locale.

Si osserva che, alla luce degli investimenti supplementari previsti sulla rete viaria cantonale a dipendenza dei crediti stanziati per il risanamento fonico alle pavimentazioni e di altre spese a carico di altri crediti per gli anni a venire, l'approccio indicato sopra non può necessariamente condurre ad una soluzione ottimale. Infatti, tutti questi investimenti addizionali, anche se non necessariamente avvengono in una tempistica "ottimale" per la maggior efficacia dell'impiego dei mezzi sul lungo termine, hanno un impatto non indifferente sull'evoluzione dello stato della rete (filo conduttore per l'analisi tecnico/finanziaria) e possono "disturbare" la ricerca di un livello di spesa costante.

Si ricorda infine che tutti i risultati presentati in questo capitolo si riferiscono ai valori aggregati dei segmenti PMS.

5.5 Risultati a livello di rete

5.5.1 Evoluzione valore medio



	Anno	B12	B14	B16	B18	B20
	2022	2.86	2.86	2.86	2.86	2.86
	2023	2.71	2.71	2.71	2.71	2.71
Q1	2024	2.61	2.60	2.59	2.58	2.57
	2025	2.53	2.51	2.48	2.46	2.45
	2026	2.59	2.56	2.53	2.52	2.50
	2027	2.63	2.59	2.56	2.54	2.51
Q2	2028	2.67	2.64	2.60	2.57	2.54
	2029	2.72	2.67	2.63	2.60	2.56
	2030	2.75	2.70	2.65	2.62	2.56
	2031	2.79	2.73	2.68	2.65	2.58
Q3	2032	2.83	2.77	2.71	2.67	2.61
	2033	2.86	2.80	2.74	2.69	2.63
	2034	2.89	2.82	2.76	2.71	2.63
	2035	2.92	2.85	2.78	2.72	2.64

Figura 21: Evoluzione del valore medio dell'indice globale I_G sull'intera rete (grafico e tabella dei valori) con valori peggiori a quelli iniziali (anno 2023) evidenziati in rosso

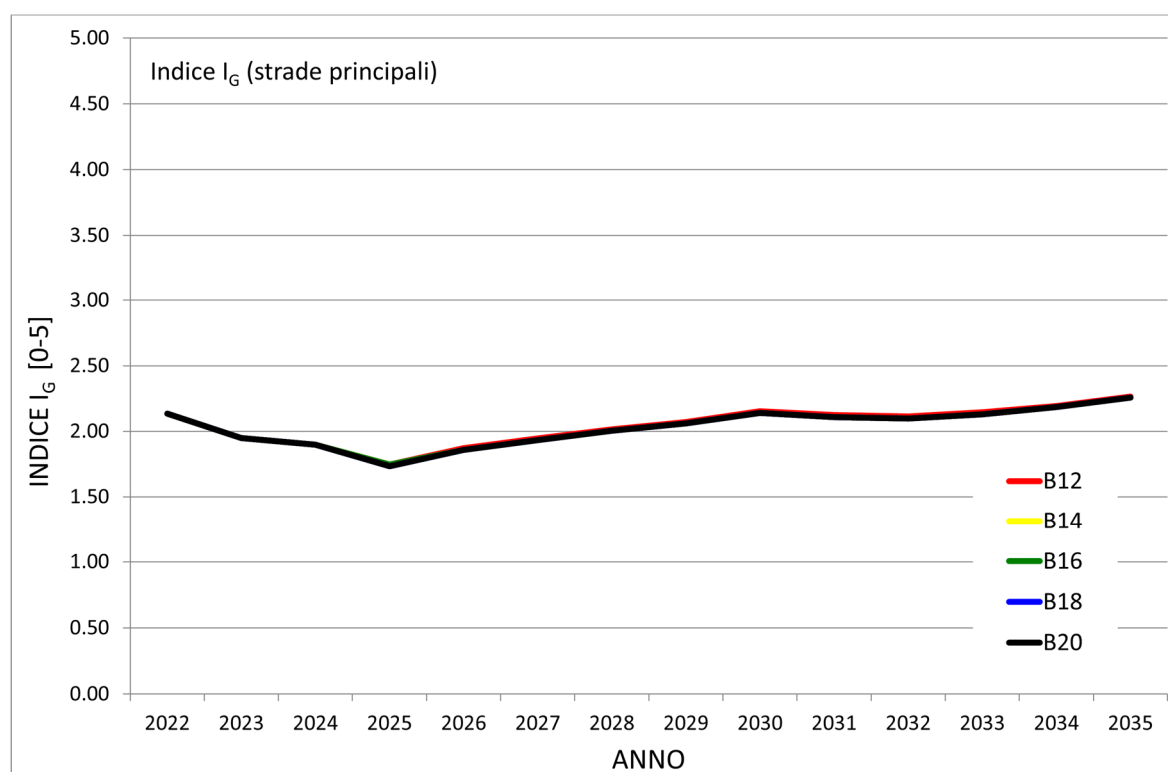
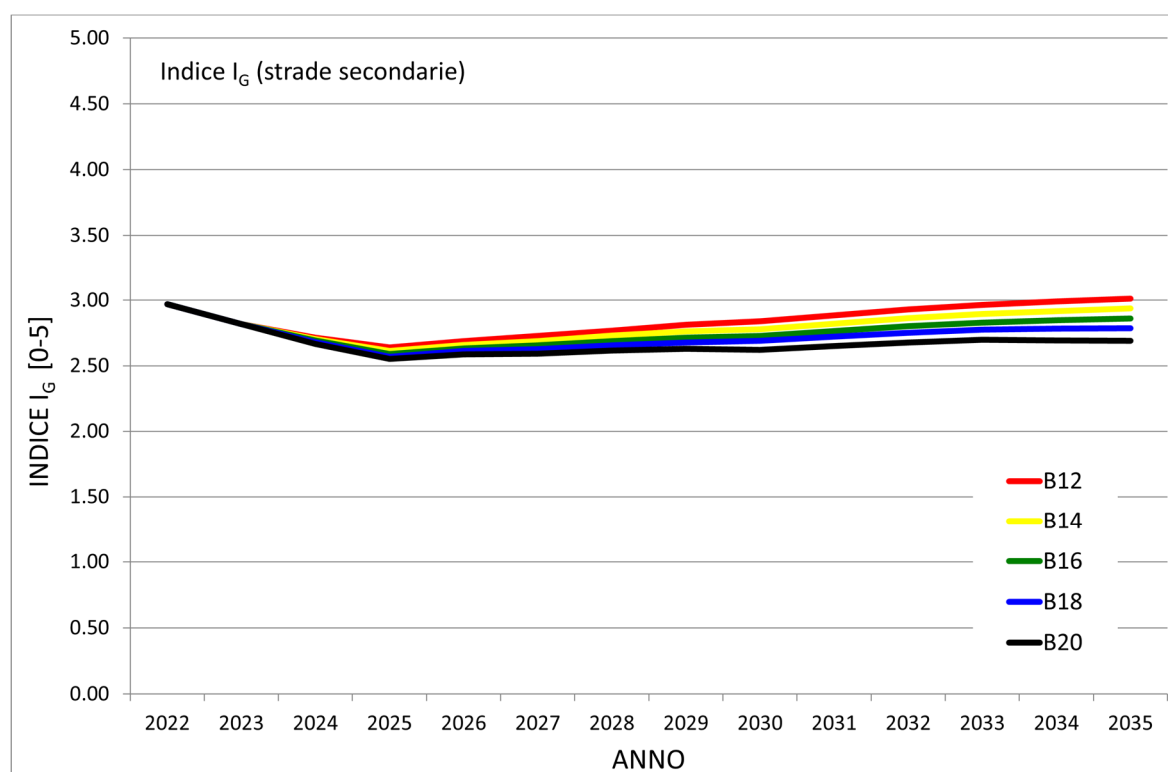
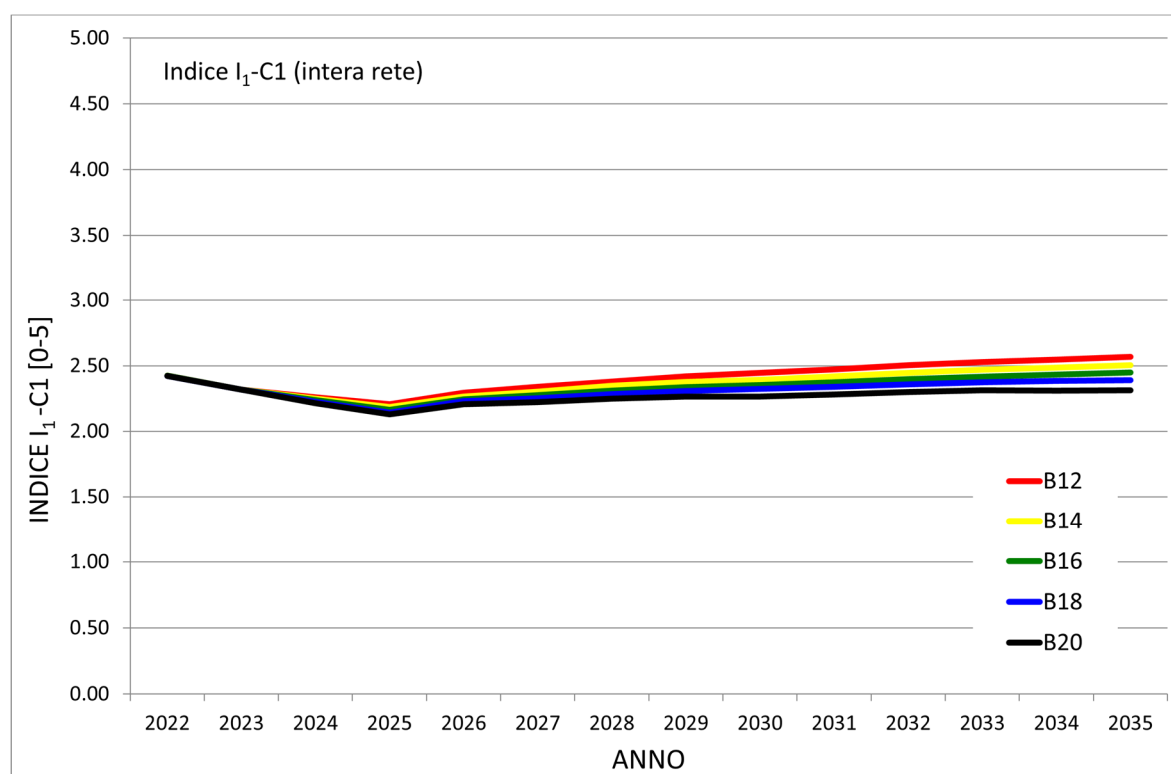


Figura 22: Evoluzione del valore medio dell'indice globale I_G per le strade principali (grafico e tabella dei valori) con valori peggiori a quelli iniziali (anno 2023) evidenziati in rosso



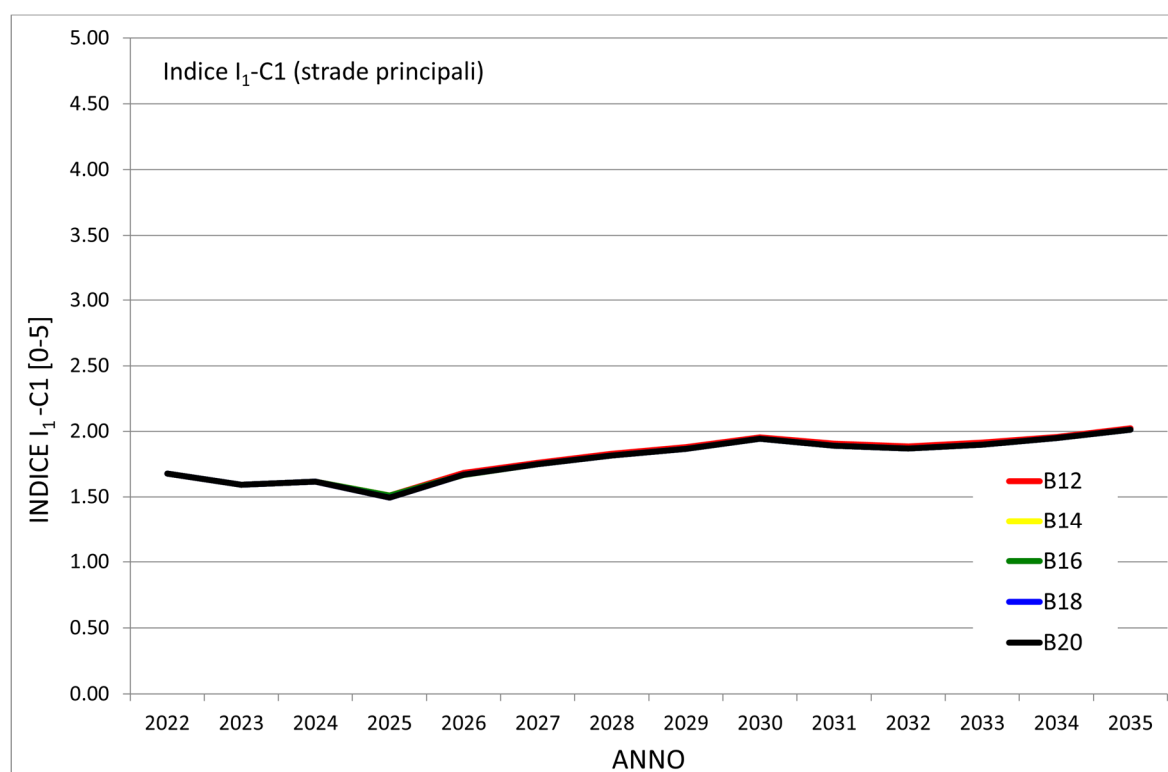
	Anno	B12	B14	B16	B18	B20
	2022	2.97	2.97	2.97	2.97	2.97
	2023	2.82	2.82	2.82	2.82	2.82
Q1	2024	2.72	2.70	2.69	2.68	2.67
	2025	2.64	2.61	2.59	2.57	2.55
	2026	2.69	2.66	2.63	2.61	2.59
	2027	2.73	2.69	2.66	2.63	2.59
Q2	2028	2.77	2.73	2.69	2.66	2.62
	2029	2.81	2.76	2.71	2.68	2.63
	2030	2.84	2.78	2.73	2.69	2.62
	2031	2.88	2.82	2.76	2.72	2.65
Q3	2032	2.93	2.86	2.80	2.75	2.68
	2033	2.96	2.90	2.83	2.78	2.70
	2034	2.99	2.92	2.85	2.78	2.69
	2035	3.01	2.94	2.86	2.79	2.69

Figura 23: Evoluzione del valore medio dell'indice globale I_G per le strade secondarie (grafico e tabella dei valori) con valori peggiori a quelli iniziali (anno 2023) evidenziati in rosso



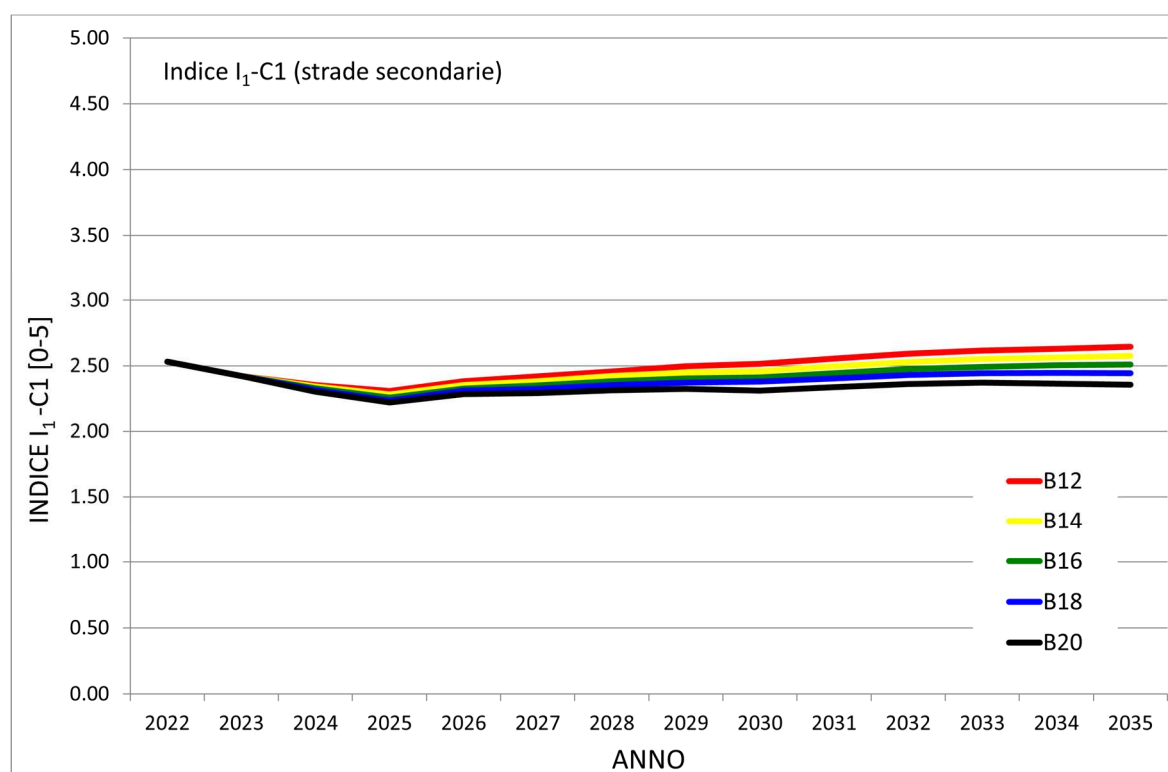
	Anno	B12	B14	B16	B18	B20
	2022	2.42	2.42	2.42	2.42	2.42
	2023	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32
Q1	2024	2.26	2.25	2.24	2.23	2.21
	2025	2.21	2.19	2.16	2.14	2.13
	2026	2.29	2.27	2.24	2.23	2.21
	2027	2.34	2.30	2.28	2.25	2.22
Q2	2028	2.38	2.35	2.31	2.28	2.25
	2029	2.42	2.38	2.34	2.31	2.27
	2030	2.45	2.39	2.35	2.32	2.27
	2031	2.47	2.42	2.37	2.34	2.28
Q3	2032	2.50	2.45	2.40	2.36	2.30
	2033	2.53	2.47	2.42	2.38	2.31
	2034	2.55	2.49	2.43	2.38	2.31
	2035	2.57	2.51	2.45	2.39	2.31

Figura 24: Evoluzione del valore medio dell'indice I_1 sull'intera rete (grafico e tabella dei valori) con valori peggiori a quelli iniziali (anno 2023) evidenziati in rosso



		Anno	B12	B14	B16	B18	B20
		2022	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68
		2023	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59
Q1		2024	1.62	1.62	1.62	1.62	1.62
		2025	1.51	1.51	1.51	1.50	1.50
		2026	1.68	1.67	1.67	1.67	1.67
		2027	1.76	1.75	1.75	1.75	1.75
Q2		2028	1.83	1.82	1.82	1.82	1.82
		2029	1.88	1.87	1.87	1.87	1.87
		2030	1.95	1.94	1.94	1.94	1.94
		2031	1.91	1.89	1.89	1.89	1.89
Q3		2032	1.88	1.87	1.87	1.87	1.87
		2033	1.91	1.90	1.90	1.90	1.90
		2034	1.96	1.95	1.95	1.95	1.95
		2035	2.02	2.01	2.01	2.01	2.01

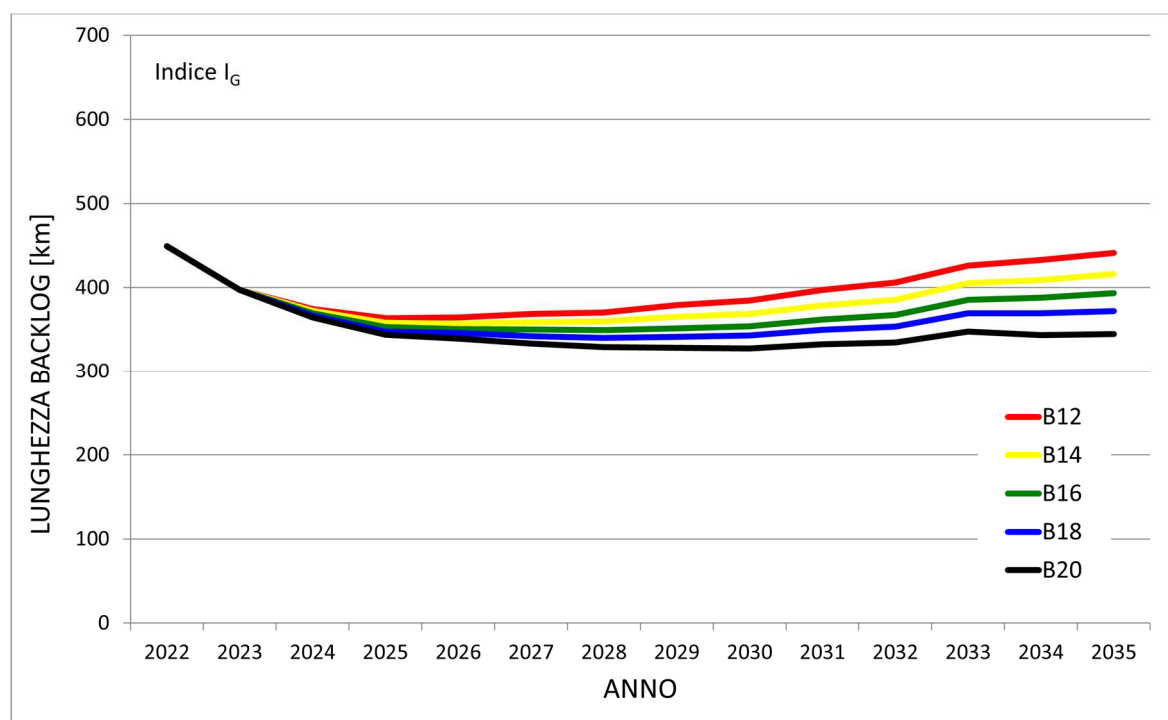
Figura 25: Evoluzione del valore medio dell'indice I_1 per le strade principali (grafico e tabella dei valori) con valori peggiori a quelli iniziali (anno 2023) evidenziati in rosso



	Anno	B12	B14	B16	B18	B20
	2022	2.53	2.53	2.53	2.53	2.53
	2023	2.42	2.42	2.42	2.42	2.42
Q1	2024	2.35	2.34	2.33	2.31	2.30
	2025	2.31	2.28	2.26	2.24	2.22
	2026	2.38	2.35	2.33	2.31	2.28
	2027	2.42	2.38	2.35	2.32	2.29
Q2	2028	2.46	2.42	2.38	2.35	2.31
	2029	2.50	2.45	2.40	2.37	2.32
	2030	2.52	2.46	2.41	2.38	2.31
	2031	2.55	2.50	2.44	2.40	2.34
Q3	2032	2.59	2.53	2.47	2.43	2.36
	2033	2.62	2.55	2.49	2.44	2.37
	2034	2.63	2.56	2.50	2.45	2.36
	2035	2.65	2.58	2.51	2.44	2.36

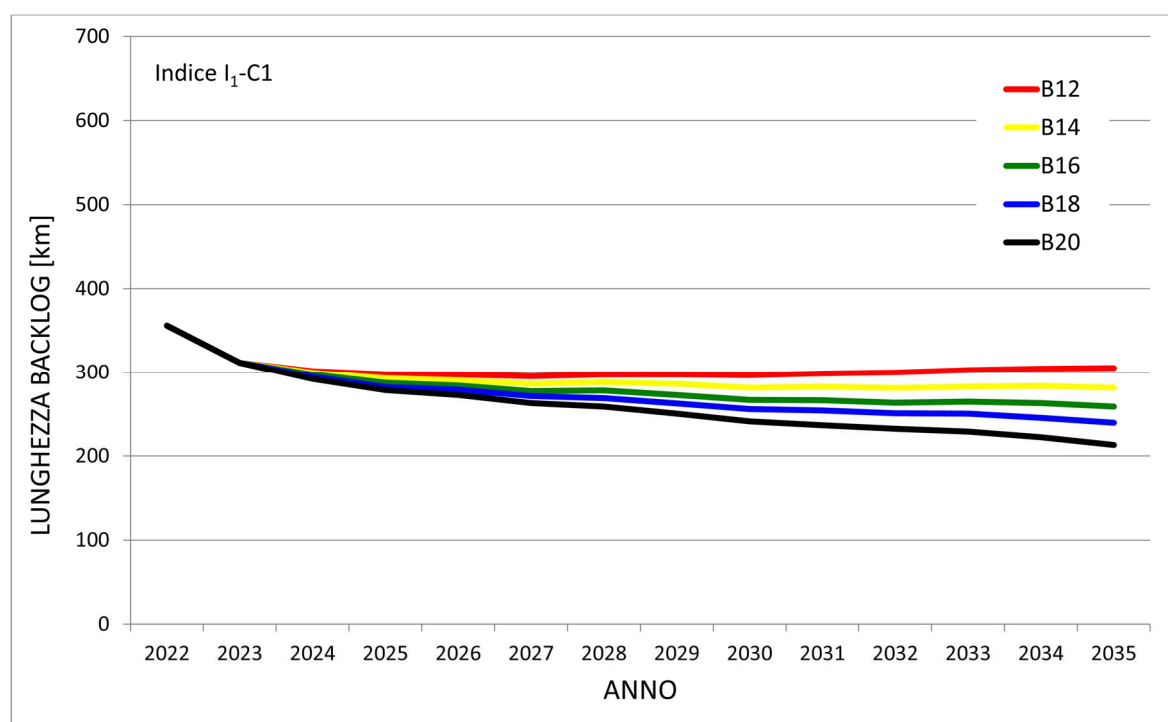
Figura 26: Evoluzione del valore medio dell'indice I_1 per le strade secondarie (grafico e tabella dei valori) con valori peggiori a quelli iniziali (anno 2023) evidenziati in rosso

5.5.2 Evoluzione del ritardo di conservazione (backlog)



	Anno	B12	B14	B16	B18	B20
Q1	2022	449.336	449.336	449.336	449.336	449.336
	2023	397.106	397.106	397.106	397.106	397.106
	2024	374.501	372.382	369.713	367.154	364.408
	2025	363.520	358.163	353.043	347.897	344.020
	2026	364.587	357.168	350.757	345.874	339.166
Q2	2027	368.565	358.634	350.060	342.167	333.514
	2028	370.371	360.085	349.408	340.209	329.404
	2029	379.199	365.295	351.401	341.414	328.549
	2030	384.817	368.649	354.052	343.127	327.720
Q3	2031	397.182	378.757	362.001	349.782	332.668
	2032	406.076	385.432	367.310	353.743	334.719
	2033	426.017	405.373	385.549	369.517	347.747
	2034	432.782	408.853	387.978	369.572	343.668
	2035	441.247	416.236	393.484	372.227	344.754

Figura 27: Evoluzione del ritardo di conservazione per l'indice globale I_G sull'intera rete (grafico e tabella dei valori) con valori peggiori a quelli iniziali (anno 2023) evidenziati in rosso



	Anno	B12	B14	B16	B18	B20
	2022	356.245	356.245	356.245	356.245	356.245
	2023	311.712	311.712	311.712	311.712	311.712
Q1	2024	301.769	299.650	297.281	294.722	291.976
	2025	297.963	292.606	287.486	282.490	278.613
	2026	297.440	290.220	283.809	279.076	272.618
	2027	295.503	286.025	277.451	271.469	263.066
Q2	2028	297.365	288.085	278.108	268.909	258.604
	2029	297.212	285.956	272.762	262.775	250.610
	2030	296.640	281.325	266.928	256.003	240.996
	2031	298.817	282.552	266.499	254.377	236.761
Q3	2032	299.986	281.252	263.633	250.857	232.339
	2033	302.682	282.743	264.474	250.541	228.921
	2034	304.574	283.446	263.130	245.371	222.341
	2035	305.295	281.636	258.937	239.523	213.072

Figura 28: Evoluzione del ritardo di conservazione per l'indice I₁ sull'intera rete (grafico e tabella dei valori). Non ci sono valori peggiori a quelli iniziali (anno 2023)

5.5.3 Risultati relativi alla determinazione del fabbisogno di conservazione

I risultati presentati nei capitoli precedenti (evoluzione indici e ritardo di conservazione) erano finalizzati a determinare le proposte di intervento che a livello di rete conducono al miglior risultato con i mezzi finanziari disponibili.

Un gestore di rete stradale può però anche porsi delle domande in una forma diversa come per esempio: "Quanto devo spendere e per quanti anni al fine di poter raggiungere un determinato obiettivo di stato di conservazione della rete stradale cantonale?"

La combinazione dei risultati ottenuti grazie alla definizione di diversi scenari di budget permette la creazione di grafici che contribuiscono a fornire una risposta al tipo di domanda indicata sopra:

- i grafici del tipo "Impatto dell'investimento di conservazione sull'evoluzione dell'indice I_x " mostrano il volume di spesa necessario per ottenere l'abbassamento dell'indice indicato entro un certo numero di anni (nei grafici sono riportati gli anni corrispondenti alla fine dei quadrienni corrispondenti ai messaggi di conservazione stradale):

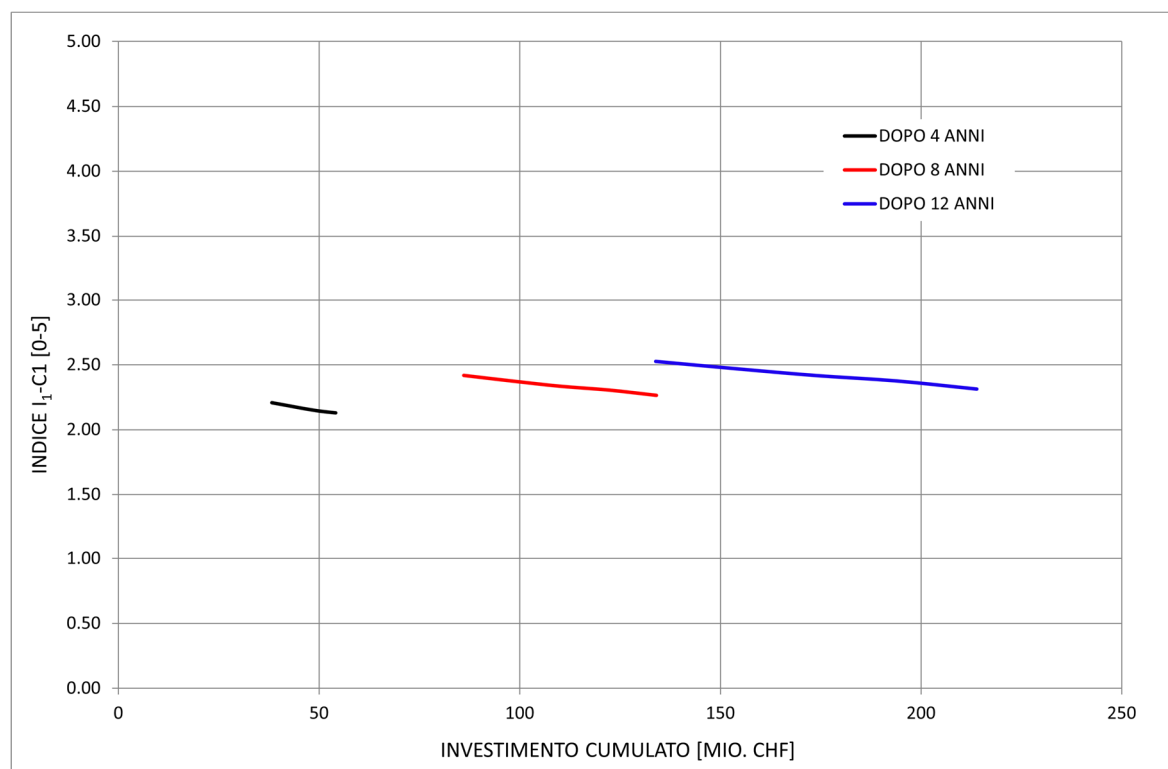


Figura 29: Impatto dell'investimento di conservazione sull'evoluzione dell'indice I_1-C1

- i grafici del tipo "Impatto dell'investimento di conservazione sull'evoluzione del ritardo di conservazione, indice I_x " mostrano il volume di spesa necessario per ottenere una determinata riduzione della lunghezza della rete in "ritardo di conservazione" entro un certo numero di anni:

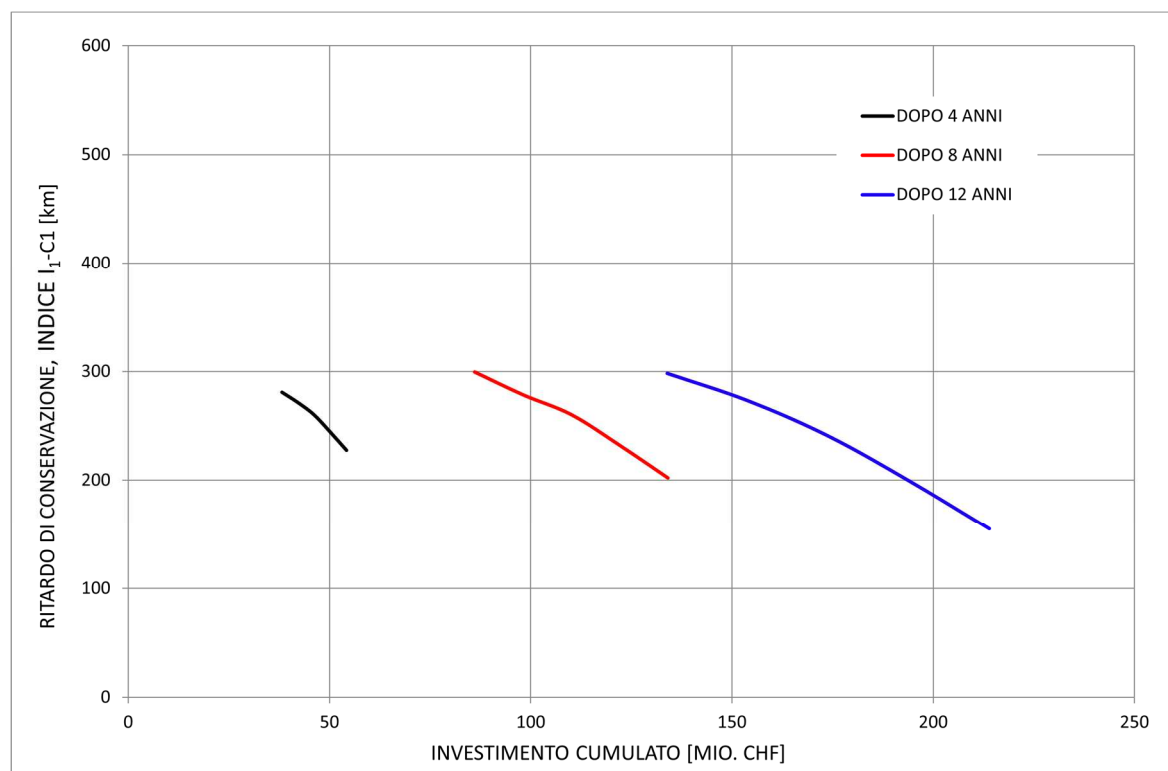


Figura 30: Impatto dell'investimento di conservazione sull'evoluzione del ritardo di conservazione rispetto all'indice I_1-C1

5.5.4 Distribuzione dello stato della pavimentazione

Questo capitolo presenta unicamente i risultati per lo scenario di budget B16, ritenuto quello che, fra le varie varianti proposte, permette di evitare un peggioramento degli indici di stato. Anche per il ritardo di conservazione si osserva un andamento costante, ad eccezione di un lieve peggioramento negli ultimi anni di analisi (terzo quadriennio).

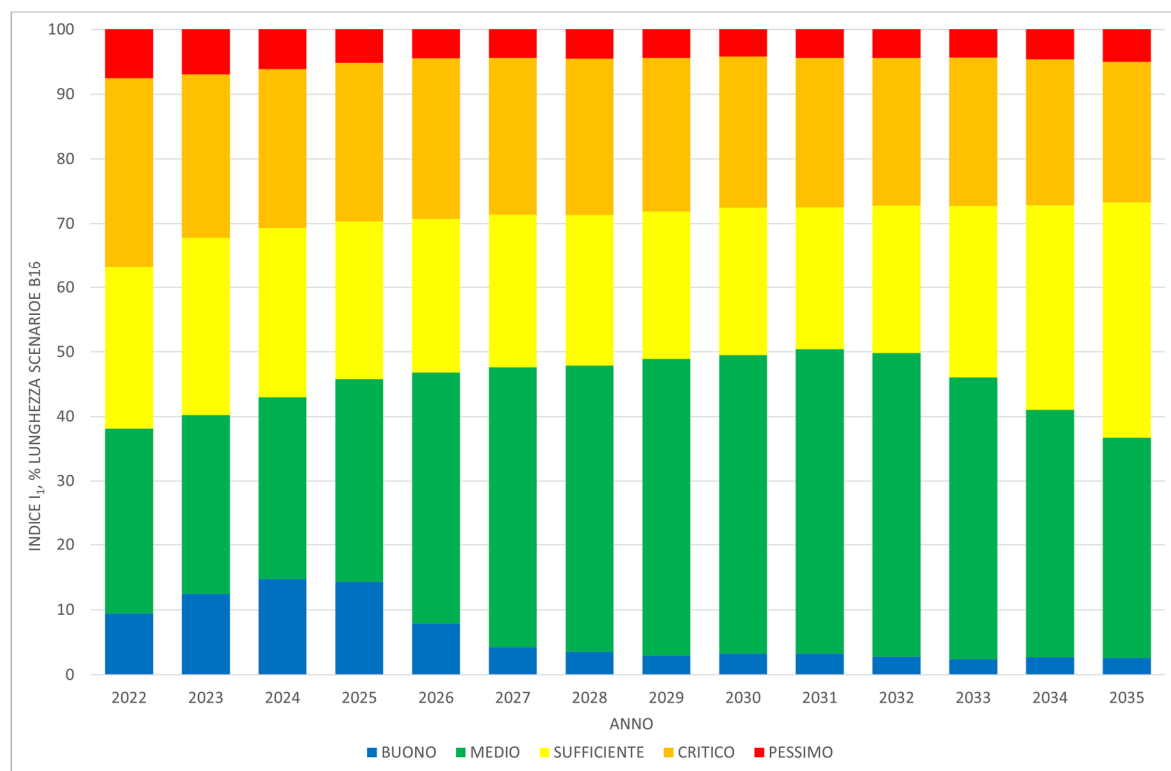


Figura 31: Distribuzione lunghezze per classe di qualità I_1 , intera rete, scenario B16

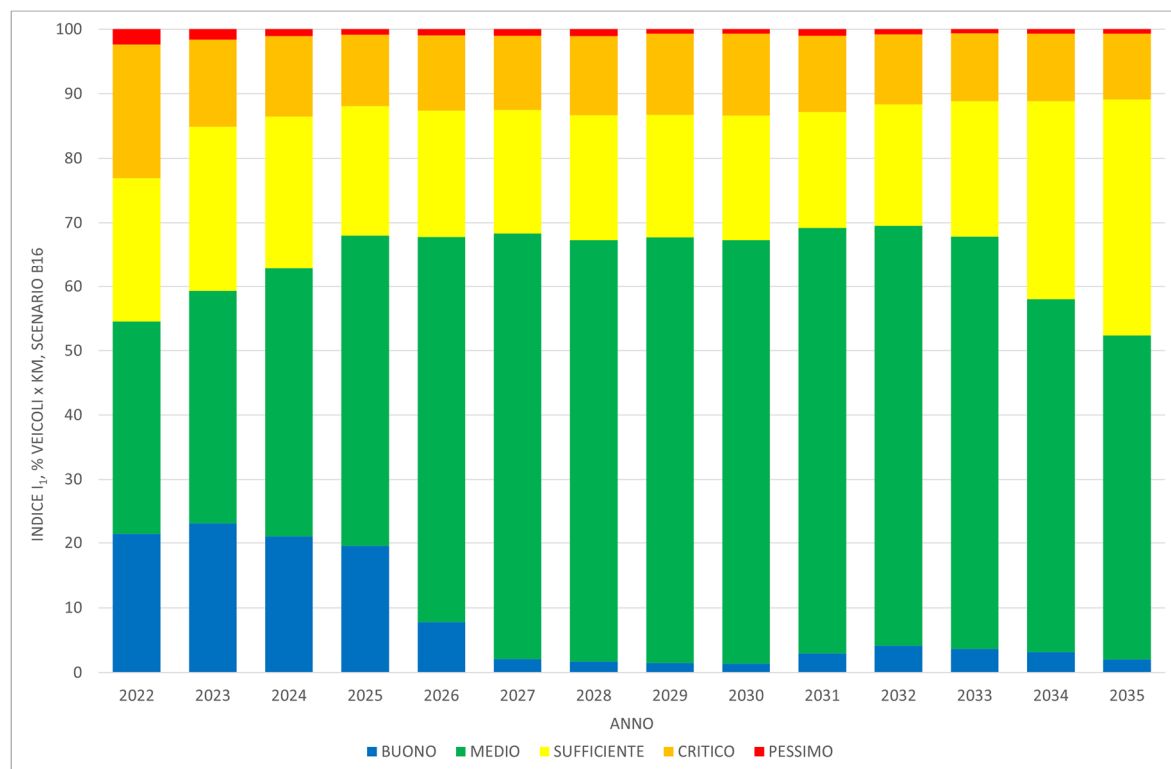


Figura 32: Distribuzione circolazione per classe di qualità I_1 , intera rete, scenario B16

5.5.5 Tipologia degli interventi

Questo capitolo presenta per quadriennio in valori assoluti e in valori percentuali la distribuzione dei vari tipi di intervento in termine di costi e di lunghezza per il solo scenario di budget B16 (ritenuto dal committente come il massimo proponibile al Parlamento nel quadriennio 2024-2027), mentre i risultati per gli altri scenari sono su file separato nell'allegato 3. Le rappresentazioni grafiche delle figure seguenti mostrano invece la distribuzione percentuale di costi e di lunghezze sull'intero periodo di analisi mettendo a confronto i singoli scenari di budget per evidenziare in quale misura l'aumento dei mezzi disponibili conduce alla proposta di una percentuale maggiore di interventi "pesanti" (risanamento completo).

Nei dati per le lunghezze il tipo di intervento SUPF è stato considerato in modo separato.

Tabella 32: Distribuzione dei tipi di intervento per costi e lunghezza (scenario di budget B16).

Totale costi per tipo di intervento [Fr.]

Periodo	RPM	RPT	RUA	RUC	SUPF	Totale CHF
2024-2027	0	43'343'035	15'066'154	5'416'317	58'571	63'884'077
2028-2031	73'173	29'347'348	25'262'634	8'815'078	346'454	63'844'687
2032-2035	1'218'833	31'430'502	27'879'651	2'590'015	779'092	63'898'094
2024-2035	1'292'006	104'120'886	68'208'440	16'821'410	1'184'116	191'626'859

Percentuale costi per tipo di intervento [%]

Periodo	RPM	RPT	RUA	RUC	SUPF	Totale
2024-2027	0.00	67.85	23.58	8.48	0.09	100.00
2028-2031	0.11	45.97	39.57	13.81	0.54	100.00
2032-2035	1.91	49.19	43.63	4.05	1.22	100.00
2024-2035	0.67	54.34	35.59	8.78	0.62	100.00

Totale lunghezza per tipo di intervento [m]

Periodo	RPM	RPT	RUA	RUC	Totale	SUPF
2024-2027	616.0	68'358.6	120'371.0	5'201.0	194'546.6	118'094.0
2028-2031	82.5	25'634.0	30'939.5	3'751.0	60'407.0	6'620.0
2032-2035	1'000.0	21'882.9	27'109.6	830.0	50'822.5	12'693.0
2024-2035	1'698.5	115'875.5	178'420.1	9'782.0	305'776.0	76'058.0

Percentuale lunghezza per tipo di intervento [%]

Periodo	RPM	RPT	RUA	RUC	Totale %	SUPF
2024-2027	0.32	35.14	61.87	2.67	100.00	60.70
2028-2031	0.14	42.44	51.22	6.21	100.00	10.96
2032-2035	1.97	43.06	53.34	1.63	100.00	24.98
2024-2035	0.56	37.90	58.35	3.20	100.00	24.87

Legenda:

RPM: Risanamento pavimentazione manufatto

RPT: Risanamento pavimentazione

RUA: Risanamento strato usura

RUC: Posa strato d'usura su lastre in calcestruzzo

SUPF: Supplemento costi per pavimentazione fonica

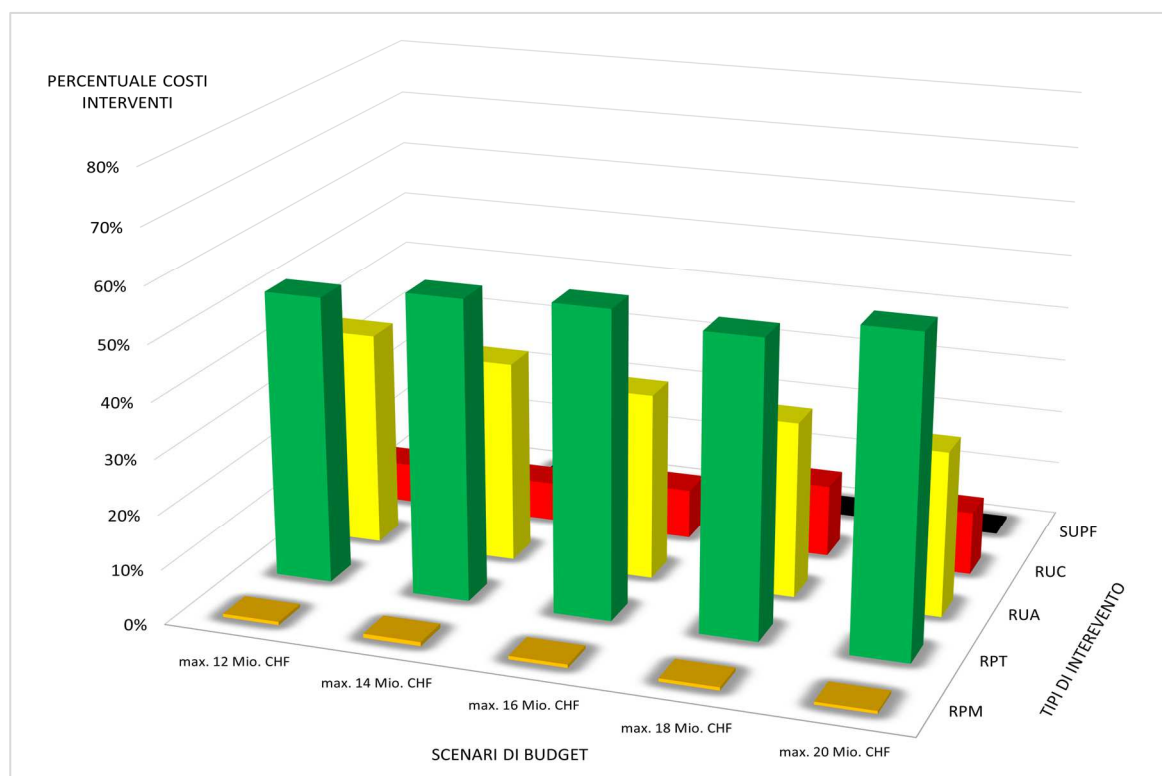


Figura 33: Percentuale dei costi dei vari tipi di intervento per l'intera rete sulla totalità del periodo di analisi (2024-2035)

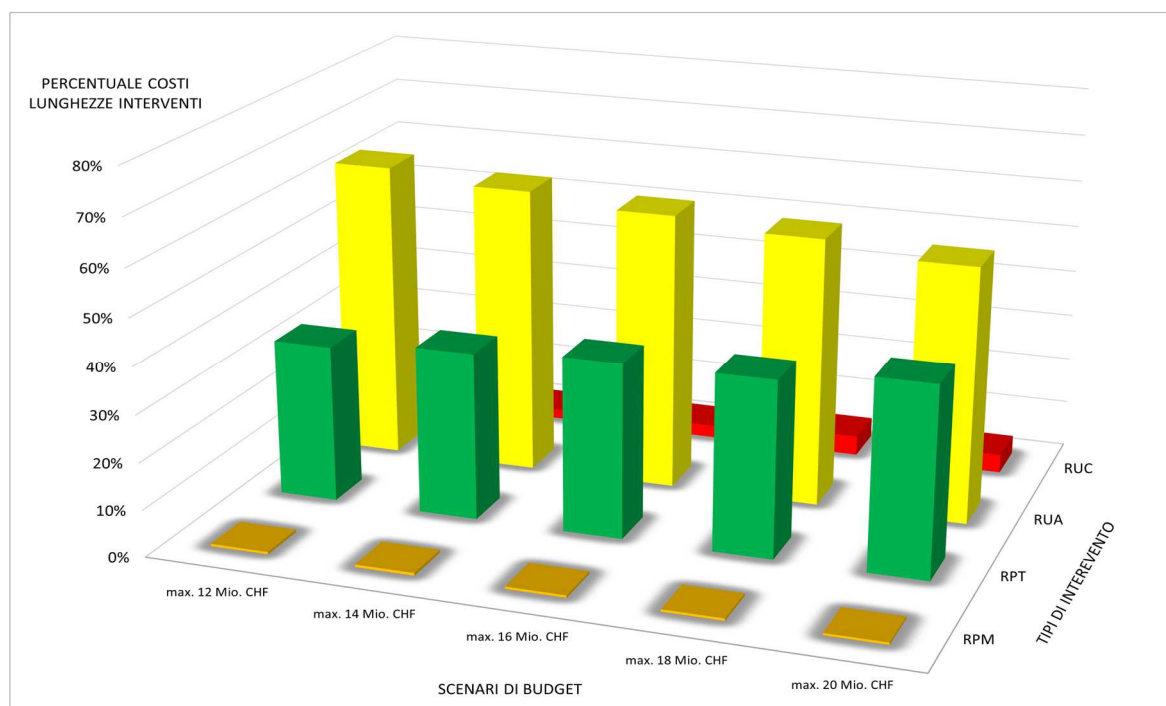


Figura 34: Percentuale delle lunghezze per i vari tipi di intervento per l'intera rete sulla totalità del periodo di analisi (2024-2035)

5.6 Risultati per singoli segmenti

5.6.1 Proposte di intervento "ottimale"

Come indicato al capitolo 5.1, le liste degli interventi ottimali per ogni scenario di budget (proposta di programma lavori) con indicazione del segmento, dell'anno di esecuzione, del tipo di intervento e dei suoi costi sono contenute nel supporto digitale annesso al presente rapporto, secondo le indicazioni dell'allegato 3.

5.6.2 Varianti possibili

L'accesso ai risultati delle diverse varianti è possibile tramite consultazione diretta dell'applicazione VIAPMS, nella quale può anche essere imposta la scelta di una delle varie varianti ed in seguito rielaborato l'insieme dei dati per le conseguenze di una tale modifica a livello di rete.

6 Conclusioni e raccomandazioni

6.1 Stato della rete sulla base dei dati del rilievo 2022

Come evidenziato al capitolo 3.6, i valori di stato della pavimentazione in conglomerato bituminoso, sia a livello dei valori di base che a livello dei valori aggregati mostrano un **miglioramento rispetto ai valori rilevati nel 2018**. Il miglioramento varia a dipendenza degli indici fra il 6.5 e il 11.3%. Per i valori aggregati il miglioramento è invece compreso tra il 6.0 e l'10.9% e riguarda unicamente gli indici I_2 e I_3 (tab. 18). Per l'indice I_1 (calcolato con formula modificata I_1 -C2 fino al 2018) si osserva invece un peggioramento del 17.8%, causato in particolare da un contributo maggiore della deviazione standard dei singoli valori.

Lo stesso scenario si osserva con il ritardo di conservazione (% di segmenti in condizione critica o pessima) con un miglioramento degli indici I_2 e I_3 fra i 2.6 e il 14.9% per i valori di base e fra l'10.9 e il 14.4% per i valori aggregati. Per quanto riguarda l'indice I_1 il ritardo di conservazione è invece aumentato sia per i valori base (30.0%), che per quelli aggregati (17.8%).

La figura 51 qui appresso illustra l'evoluzione della ripartizione dell'indice I_1 (valori secondo norma SN 40 925b) nelle varie classi di qualità dal 2000 al 2022.

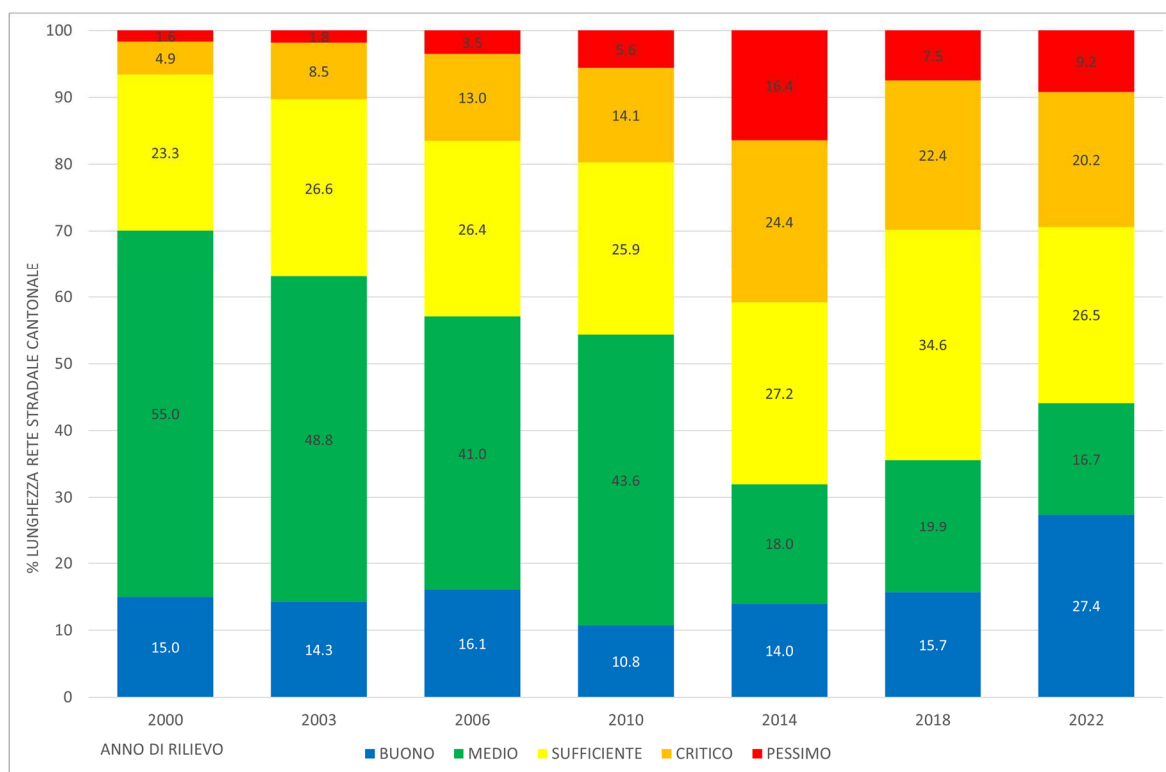


Figura 51: Evoluzione della ripartizione dell'indice I_1 nelle varie classi di qualità dal 2000 al 2022

Negli ultimi rapporti d'analisi PMS era stato effettuato un "confronto" fra i vari settori per verificare se lo stato generale delle pavimentazioni in miscela bituminosa determinato per la rete fosse valido anche per i singoli settori. Questa analisi aveva indicato uno stato generalmente peggiore per i settori 1, 2, 3 e 5.

L'elaborazione dei dati del rilievo 2022 per la stessa finalità è presentata alla tabella 33. I risultati confermano quanto messo in evidenza nel rapporto sui dati del 2018, con valori degli indici I_1 -C1, I_2 e I_3 generalmente migliori (celle in blu).

Si può inoltre dedurre che le differenze di qualità fra i singoli settori stanno diminuendo lentamente.

Tabella 33: Ritardo di conservazione e valore medio degli indici per pavimentazioni in asfalto, suddivisi in settori (valori di base).

Settore	I_1 -C1 > 3.0	I_1 media	I_2 > 3.0	I_2 media	I_3 > 3.0	I_3 media
1	23.44%	2.04	35.86%	2.40	3.26%	1.04
2	29.02%	2.14	31.36%	2.27	3.17%	1.07
3	22.92%	1.96	22.47%	1.97	3.79%	1.10
4	25.36%	2.04	26.51%	2.10	4.38%	1.19
5	30.61%	2.26	28.33%	2.15	9.15%	1.35
6	14.47%	1.79	9.05%	1.34	1.62%	0.88
7	29.05%	2.32	18.53%	1.77	3.86%	1.12
Cantone	24.92%	2.07	24.71%	2.00	4.18%	1.10

6.2 Fabbisogno di conservazione/manutenzione

La spesa media annuale minima per il mantenimento della rete ai livelli di indici medi attuali si situa vicino ai 18 milioni, mostrando però a lungo termine un aumento del gruppo dei segmenti in condizioni "sufficienti". Per mantenere il ritardo di conservazione attorno ai 400 km, il fabbisogno medio annuo è invece di 16 milioni.

A parità di obiettivo (mantenimento almeno degli indici attuali) la spesa di 18 milioni risulta superiore del 28.6%, rispetto a quella del quadriennio precedente, pari a 14 milioni. Questo aumento è causato principalmente dall'aggiornamento dei costi di riferimento dei singoli interventi, che variano dal 29.4% al 53.1%. Applicando questa percentuale all'importo determinato durante l'analisi del 2018 (pari a 14 milioni), la spesa annua risulterebbe essere tra 18 e 21 milioni.

L'analisi non tiene però al momento conto di possibili miglie di pavimentazioni nell'ambito di altri lavori stradali, previsti all'infuori della conservazione. Sarà infatti importante verificare nel tempo l'effettivo influsso (miglioramento) dato dalla realizzazione dei progetti previsti a carico di altri crediti e rifare il punto della situazione in occasione del prossimo programma di rilievo dello stato delle pavimentazioni. Parallelamente, sulla base di quanto realizzato a partire dal 2017 in avanti, si potrà procedere anche a definire delle curve di degrado specifiche alle pavimentazioni in SDA, per determinare l'influsso sulla rete (peggioramento) ed il relativo aggravio finanziario annuo causato dal degrado più rapido di questi settori.

Sarà quindi necessario rivalutare il fabbisogno di conservazione dopo il prossimo rilievo dello stato delle pavimentazioni, che dovrebbe venire attuato nell'estate-inizio autunno del 2025 e poi eseguito regolarmente a cadenza quadriennale.

6.3 Raccomandazioni

Come indicato al capitolo 5.3.1. sono state riscontrate delle difficoltà nell'assegnazione di un anno preciso per gli ultimi lavori ad alcuni segmenti dell'analisi con la seguente necessità a procedere "d'ufficio" ad una stima che per sua natura non può essere priva di errori. Allo scopo di evitare una tale situazione in futuro si raccomanda l'elaborazione di direttive interne per un aggiornamento tempestivo dei dati contenuti nella banca dati.

ALLEGATO 1: CONSERVAZIONE STRADALE – PROVVEDIMENTI E COSTI (DIVISIONE DELLE COSTRUZIONI)

1. Premessa

Il presente documento s'inserisce nel contesto dell'analisi algoritmica dello stato delle pavimentazioni. In particolare elenca i provvedimenti di conservazione stradali e i loro costi. Questi ultimi non si riferiscono alla sola struttura carrabile, ma contemplano tutta una serie di elementi che incidono finanziariamente.

Per poter avere un costo complessivo reale nell'analisi si sono dunque considerati tutti i costi puntuali che incidono globalmente sul cantiere (conduzione del traffico con agenti, supplementi salariali causa impiego di notte o in giorni festivi, progettazione, ecc). La statistica è stata svolta considerando diversi cantieri rappresentativi eseguiti nel corso del periodo 2019-2021.

2. Provvedimenti di conservazione stradale

In base alla vigente esperienza i provvedimenti di conservazione stradale maggiormente impiegati sono riportati negli specchietti sottostanti.

2.1. Strade in conglomerato bituminoso

No.	Provvedimento	Descrizione
1.	Risanamento usura	Questo provvedimento può avere varianti d'attuazione quali: A. Impermeabilizzazione e livellamento della superficie stradale con la posa di un microrivestimento spesso ca. 10-15 mm. B. Fresatura e posa 35-40 mm tappeto in conglomerato bituminoso con ev. max. 30% di bonifiche locali dello strato sottostante. C. Fresatura posa membrana tipo SAMI e posa 30 mm tappeto in conglomerato bituminoso (procedimento prevalentemente utilizzato per posa di pavimentazioni fonoassorbenti). NOTA: la definizione esatta della variante è possibile solo dopo sopralluogo ed eventuale prelievo di campioni o altre prove a carattere tecnico.
2.	Risanamento pavimentazione T1	Fresatura e posa 70-80 mm di conglomerato bituminoso (monostrato).
3.	Risanamento pavimentazione T2	Fresatura e posa 100 mm di conglomerato bituminoso (due strati).
4.	Risanamento pavimentazione T3	Fresatura e posa 130 mm di conglomerato bituminoso (due strati).
5.	Risanamento pavimentazione T4	Fresatura e posa 170 mm di conglomerato bituminoso (tre strati).
6.	Risanamento pavimentazione T5	Fresatura e posa 220 mm di conglomerato bituminoso (tre strati).
7.	Risanamento pavimentazione manufatto	Fresatura e posa 35 mm di conglomerato bituminoso. NOTA: i costi per l'impermeabilizzazione e la posa dello strato portante in asfalto fuso rientrano nel CQ-manufatti.
8.	Risanamento ormaie	Questo provvedimento può avere varianti d'attuazione quali: A. Fresatura di precisione. B. Fresatura e posa 35-40 mm tappeto in conglomerato bituminoso.

Per quanto attiene ai provvedimenti da no. 2. a no. 6., lo spessore del pacchetto di conglomerato bituminoso da considerare per ogni segmento si basa sul dimensionamento stradale determinato da Utrac.

2.2. Strade in calcestruzzo

No.	Provvedimento	Descrizione
9.	Posa strato d'usura sulle lastre in calcestruzzo	Fliccaggio lastre, iniezione in resina per riempimento e livellamento (solo laddove necessario), pulizia ad alta pressione, posa SAMI e strato d'usura dello spessore di 40 mm.

In ragione dell'esigua presenza di pavimentazioni in calcestruzzo (ca. 34.9 km rimasti al Cantone dopo cessione NEB alla Confederazione del 1.1.2020), i provvedimenti di rimozione delle lastre, nuova fondazione stradale e posa nuovo pacchetto in conglomerato bituminoso, non vengono qui considerati.

Grazie ad un caso eseguito, si è potuto appurare che i costi d'intervento del provvedimento no. 9. sono grossomodo equivalenti al provvedimento no. 5. (risanamento pavimentazione T4).

3. Definizione dei costi medi dei provvedimenti

Al fine di determinare i costi medi d'esecuzione dei provvedimenti elencati al capitolo 2 il più possibile aderenti alla realtà, si sono analizzati diversi cantieri realizzati nel periodo 2019-2021 tenendo in debita considerazione tutte le abituali voci di costo per avere un prodotto finito completo in ogni parte costituente il tracciato stradale. Ad esempio è stato considerato che una parte dei cantieri viene eseguita di notte o nei festivi con conseguente aumento del 30% rispetto al costo di base, oppure con conduzione d'agenti di sicurezza, che vi sono a volte degli oneri di progettazione, ecc. I costi medi riportati nello specchietto sottostante sono arrotondati all'unità superiore e comprensivi d'IVA al 8.1%, tenuto conto dell'esito della votazione federale del 25 settembre 2022, riguardante il finanziamento supplementare dell'AVS mediante aumento dell'imposta sul valore aggiunto, che passerà dal 7.7% all'8.1% a partire dal 1° gennaio 2024.

No.	Provvedimento	Costo medio [CHF/m ²]	Note
1.	Risanamento usura	88.--	
2.	Risanamento pavimentazione T1	107.--	
3.	Risanamento pavimentazione T2	131.--	
4.	Risanamento pavimentazione T3	162.--	
5.	Risanamento pavimentazione T4	197.--	
6.	Risanamento pavimentazione T5	222.--	
7.	Risanamento pavimentazione manufatto	88.--	In analogia al provvedimento 1
8.	Risanamento ormaie	50.--	Considerato 50% variante A e 50% variante B
9.	Posa strato d'usura sulle lastre in calcestruzzo	197.--	In analogia al provvedimento 5

I costi sono da aumentare di 5.-- CHF/m² qualora l'intervento coincida ad un tratto in cui il tappeto è con miscela SDA 4-12.

4. Regole sui provvedimenti

- Se lo strato d'usura esistente è un microrivestimento, non si può attuare il risanamento usura (provvedimento no. 1) ma solo il risanamento pavimentazione T1÷T5 (provvedimenti da no. 2 a no. 6).
- Se si prevede il risanamento della pavimentazione su di un tratto con priorità fonica, il dimensionamento minimo della pavimentazione stradale dovrà essere un T2, quindi uno spessore complessivo del pacchetto bituminoso di almeno 10 cm.
- Tratti con la menzione "risanamento fonico" sono da risanare nella seguente maniera:
 - se la pavimentazione vigente è due strati (T2 e T3): si rinnova solo lo strato d'usura con SDA ⇒ provvedimento no. 1. + supplemento per la posa del tappeto fonoassorbente.
 - se la pavimentazione vigente è a 3 strati (T4 e T5): si rinnova lo strato di collegamento e d'usura ⇒ provvedimento no. 3 + supplemento per la posa del tappeto fonoassorbente.

ALLEGATO 2: DEFINIZIONE DEI CRITERI DEI PROVVEDIMENTI DI CONSERVAZIONE STRADALE (DIVISIONE DELLE COSTRUZIONI)

1. Premessa

Considerato come i risultati delle analisi algoritmiche VIAPMS del 2014 e del 2018 abbiano manifestato un'apprezzabile correlazione con i provvedimenti determinati a seguito dei sopralluoghi Utrac, i criteri vieppiù ottimizzati ed adottati nel 2018 sono ripresi e validi per la fase iniziale dell'analisi VIAPMS 2022.

2. Criteri per l'attuazione di provvedimenti di conservazione stradale

Lo specchio sottostante riporta i criteri, basati sugli indici di stato, che definiscono l'attuazione di uno specifico provvedimento di conservazione stradale. Eventuali adattamenti possono essere concordati tra committente e consulente.

Ai fini della comparazione, i valori di riferimento di ogni **segmento aggregato** sono la somma della media con la deviazione standard dei parametri **I₁-C1** e **I₂**.

Nota bene

Per le analisi PMS 2014 e 2018 si è utilizzato l'indice I₁-C2. Con la calibrazione dei rilievi Utrac del 2022 si nota invece una migliore corrispondenza con l'indice I₁-C1 di Infralab. Applicando a I₁-C1 i criteri PMS 2018 che definiscono l'attuazione dei provvedimenti si rileva infatti un apprezzabile riscontro rispetto al provvedimento pronosticato da Utrac in situ.

No.	Provvedimento	Criteri di definizione dei provvedimenti per analisi VIAPMS 2022 sui segmenti aggregati
-----	---------------	---

Asfalto

1.	Risanamento usura	Premessa: lo strato d'usura esistente non deve essere né un micro né un ghiaietto. Criterio: I₁-C1 ≥ 2.8 e I₂ ≥ 2.5 e (dev.st I₁-C1 < 0.6 o dev.st I₂ < 0.6) dove: dev.st = deviazione standard
2. ÷ 6.	Risanamento pavimentazione da T1 a T5	Criterio: I₁-C1 ≥ 3.8 e I₂ ≥ 3.0
7.	Risanamento pavimentazione manufatto	Come "1. Risanamento usura".
8.	Risanamento ormaie	Verificare quei segmenti dove il valore t supera la soglia passibile d'innescare il fenomeno dell'acquaplaning. Dalla verifica in loco risulterà l'esigenza o meno di dover attuare un provvedimento. Criterio: media valore t traccia sinistra e destra ≥ 8.0 mm

No.	Provvedimento	Criteri di definizione dei provvedimenti per analisi VIAPMS 2022 sui segmenti aggregati
-----	---------------	--

Calcestruzzo

9.	Posa strato d'usura sulle lastre in calcestruzzo	Criterio risultante dalla valutazione della ripartizione degli indici di stato (rilievo 2018) dei passi del Monte Ceneri e del Lucomagno, in abbinamento a varianti di filtri applicati sull'insieme delle strade in calcestruzzo. Criterio: $I_1-C1 \geq 2.2$ e $I_2 \geq 2.2$
----	---	---

**Se per un segmento aggregato risultassero attuabili contemporaneamente più
provvedimenti, si dovrà considerare quello più severo.**

ALLEGATO 3: LISTA DEI FILE DI DATI E DI RISULTATI (SU SUPPORTO DIGITALE)**A3.1 Dati ricevuti dal committente**

Nome file	Descrizione contenuto
1. Elenco segmenti aggregati rilievo ARAN 2022	Definizione limiti dei segmenti PMS
2. Conservazione stradale - provvedimenti e costi (4.10.2022)	-
3. Definizione criteri provvedimenti di cons strad (21.10.22)	-
4.1 Definizione della rete AxeAprile2022_CM	-
4.2 Definizione della rete AxeAprile2022_CMsc	-
4.3 Definizione della rete rpt_2022	Lista dei PR con lunghezze di segmenti
5. Assi stradali cantonali - Interruzioni di continuità (25.01.2022)	-
6.1 Assi e PR 50m rete SC completa (dopo NEB) - 30.03.2022	-
6.2 Assi e PR 50m rete SC completa (dopo NEB) - 07.09.2022	Indicazione data di posa pavimentazione
7. Microrivestimenti posati su SC dal 1996 - aprile 2022	Indicazione data di posa pavimentazione
8. Elenco rotonde - stato gennaio 2022	-
9. Rilievo ARAN 2022 risultati finali degli indici (2022.07.01_V3)	Dati definitivi del rilievo ARAN 2022
10. Elenco manufatti SC 2022	-

A3.2 Documenti

Nome file	Descrizione contenuto
2023.01.12_Rapporto finale.doc	Documento del rapporto finale, formato Word
2023.01.12_Rapporto finale.pdf	Documento del rapporto finale, formato PDF
2023.01.12_Allegato_1.doc	Documento conservazione stradale – Provvedimenti e costi (Divisione delle costruzioni), formato Word
2023.01.12_Allegato_1.pdf	Documento conservazione stradale – Provvedimenti e costi (Divisione delle costruzioni), formato PDF
2023.01.12_Allegato_2.doc	Documento definizione dei criteri dei provvedimenti di conservazione stradale (Divisione delle costruzioni), formato Word
A2023.01.12_Allegato_2.pdf	Documento definizione dei criteri dei provvedimenti di conservazione stradale (Divisione delle costruzioni), formato PDF
2023.01.12_Allegato_3.doc	Lista dei file di dati e di risultati (su supporto digitale), formato Word
2023.01.12_Allegato_3.pdf	Lista dei file di dati e di risultati (su supporto digitale), formato Word
2023.01.12_Allegato_4.doc	Documento analisi modelli degrado, formato Word
2023.01.12_Allegato_4.pdf	Documento analisi modelli degrado, formato PDF

A3.3 File di risultati analisi VIAPMS (formato Excel)

Nome file	Descrizione contenuto
01_Distribuzione_indici_aggregati	Risultati della distribuzione di stato per i segmenti aggregati
02_Risultati_provvedimenti	Risultati proposte interventi scenari di budget B14 e B16
03_Risultati_provvedimenti_altri_scenari	Risultati proposte interventi per scenari di budget B12, B18 e B20
04_Evoluzione_condizione_media	Evoluzione della condizione media, indici I ₁ , I ₂ , I ₃ per gli scenari di budget B12, B14, B16, B18, B20
05_Confronto_provvedimenti	Confronto dei provvedimenti Risultati per gli scenari di budget B12, B14, B16, B18, B20
06_Impatto_di_investimento	Risultati impatto su rete per analisi PMS (evoluzione indice medio e lunghezza backlog)
07_Leggi_Degrado-AC_SDA	Analisi dei dati del rilievo 2022 in vista dell'ottenimento di leggi di degrado dello stato della pavimentazione

ALLEGATO 4: ANALISI DEI DATI DEL RILIEVO 2022 IN VISTA DELL'OTTENIMENTO DI LEGGI DI DEGRADO DELLO STATO DELLA PAVIMENTAZIONE

Introduzione

Il presente documento riassume i risultati dell'analisi dei dati riferiti al rilievo 2022 per le pavimentazioni in asfalto ed un confronto con i modelli impiegati nell'analisi precedente. Una prima serie di leggi di degrado era infatti stata sviluppata e applicata nell'ambito dello studio PMS-TI 2010 e poi verificata in quello seguente nel 2014.

Per l'analisi PMS-TI 2022 si è concordato di mantenere i modelli elaborati nello studio precedente (vedi capitolo 4.4.1 del rapporto), sia per le pavimentazioni in calcestruzzo che per quelle in asfalto. Si osserva inoltre che per le funzioni di degrado delle pavimentazioni in asfalto non è stata prevista una distinzione delle diverse tipologie di strato di usura (miscela tipo AC o SDA).

Procedura di analisi

La tipologia di analisi adottata a questo scopo corrisponde a quella dello studio PMS-TI 2014 e riprende quanto già eseguito nell'ambito di un incarico di ricerca dall'ing. Ivan Scazziga ("Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen, Schadensprozesse und Zustandsverläufe, Rapporto di ricerca USTRA/DATEC No. 1304, 2008") e di altri studi effettuati in precedenza. Nella fattispecie, questa analisi consiste nella determinazione di leggi di degrado per ogni singolo indicatore di base, in funzione dell'età, dello strato di usura e della classe di traffico. Il termine "indicatore di base" significa che per i parametri della regolarità longitudinale e trasversale, caratterizzati da un modo di calcolo diverso dell'indice corrispondente (I_2 , I_3) a dipendenza del tipo di strada, i modelli di degrado sono stati stabiliti per il coefficiente s_w nel caso della regolarità longitudinale (e in questo caso particolare è stato considerato il valore medio fra i risultati per le due tracce delle ruote) e per il valore di ormaia massima T_{max} per la regolarità trasversale.

Per l'analisi sono stati utilizzati i dati delle pavimentazioni in asfalto secondo rilievo ARAN 2022. Considerato che la lunghezza delle pavimentazioni in calcestruzzo è ulteriormente diminuita rispetto all'analisi precedente e che i segmenti manifestano un crescente peggioramento, non si è reso necessario procedere con un'analisi specifica per questo tipo di pavimentazione.

Le diverse fasi di elaborazione dei dati possono essere descritte in modo sommario come segue:

- aggregazione dei valori dei parametri considerati (indici I_{A1} a I_{A5} , s_w e T_{max}) nella prospettiva che contiene i dati originali sull'età della pavimentazione e ne definisce i vari segmenti;
- suddivisione dei segmenti secondo la tipologia di miscela di strato d'usura (AC o SDA);
- esclusione dei segmenti con una lunghezza inferiore a 100 m per i quali è stato considerato problematico il calcolo di valori aggregati (media + deviazione standard);
- eliminazione di tutti i dati "impossibili", essenzialmente di tutti i valori di classe di qualità "sufficiente" e "peggiori" nei primi anni di vita utile della pavimentazione;
- determinazione della media ponderata del valore del parametro considerato per classe di traffico e anno di età (ponderazione sulla base della lunghezza dei singoli elementi);
- determinazione della legge di degrado scegliendo in Excel il tipo di regressione con il più alto coefficiente di regressione.

Non da ultimo è importante segnalare come la qualità dei modelli ottenuti dipenda in modo essenziale dalla qualità ed affidabilità dei dati di rilievo di stato della pavimentazione analizzati. Questa osservazione vale in ugual misura anche per tutta l'analisi PMS.

Risultati per pavimentazioni in asfalto, miscele tipo AC

Le figure seguenti presentano i modelli ottenuti per i vari indici o indicatori per le classi di traffico da T2 a T5, unicamente per i segmenti con miscele tipo AC. L'insieme dei modelli (formule per le curve di degrado) è rappresentato alla tabella 1 assieme ai valori impiegati nello studio.

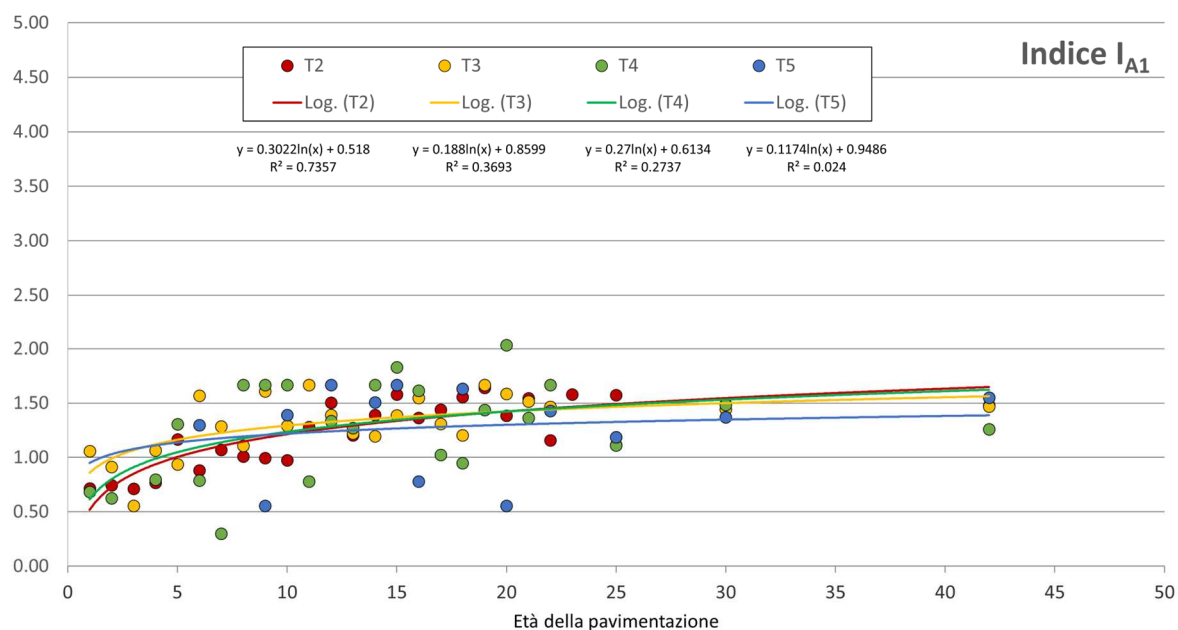


Figura A2.1: Modelli di degrado per l'indice I_{A1} (scivolosità), miscele tipo AC

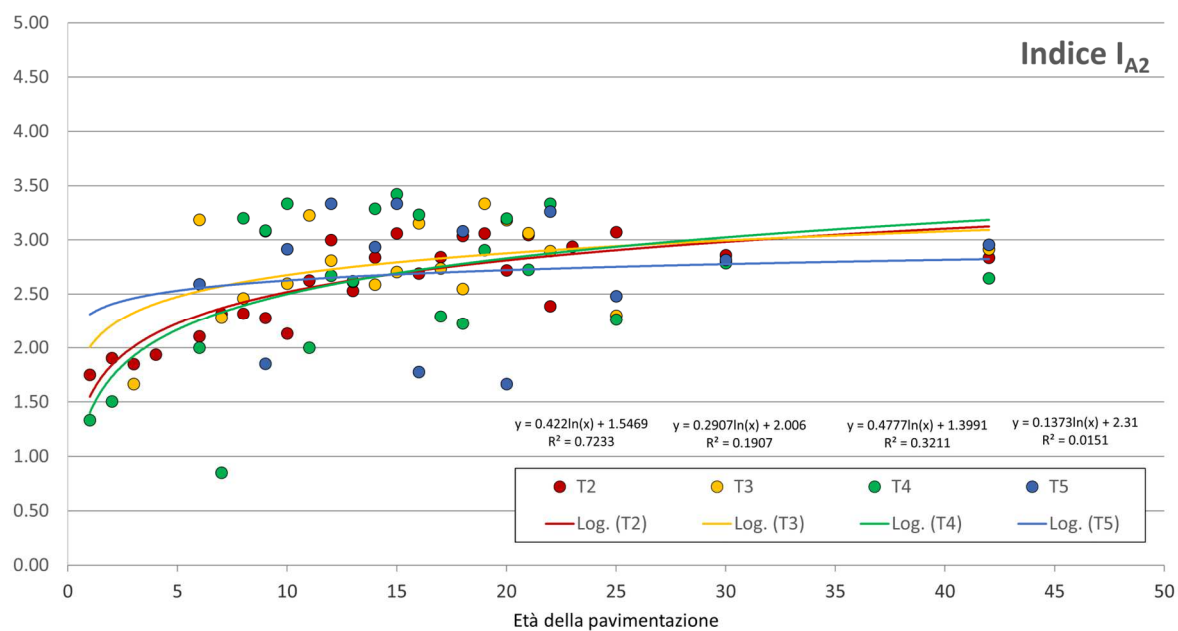


Figura A2.2: Modelli di degrado per l'indice I_{A2} (danni al rivestimento), miscele tipo AC

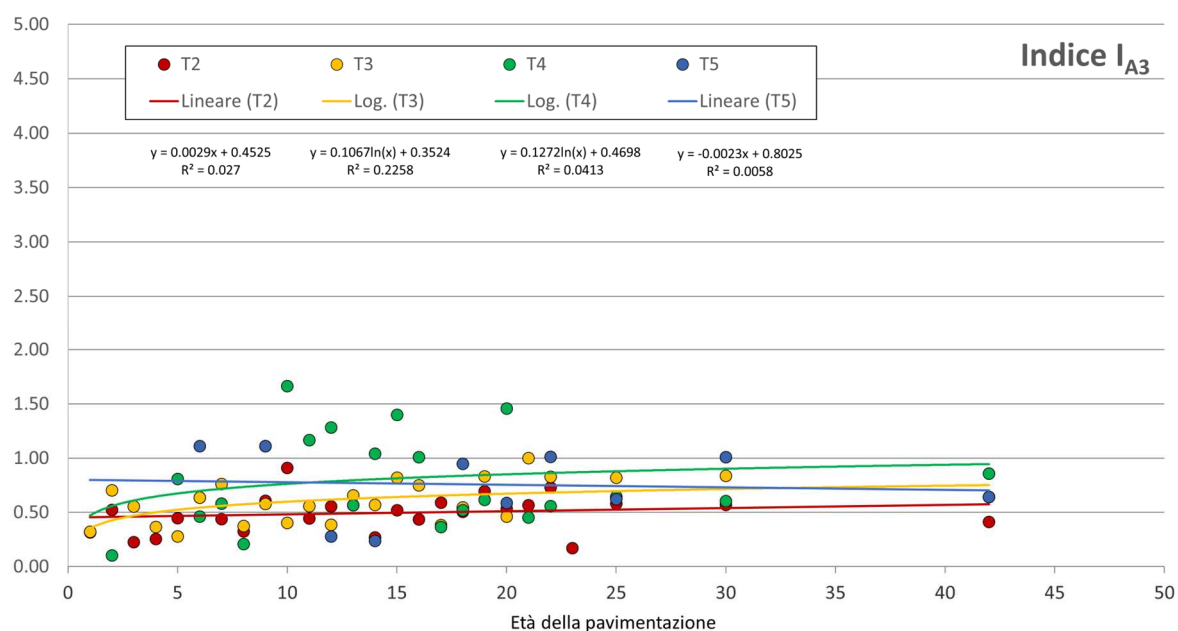


Figura A2.3: Modelli di degrado per l'indice I_{A3} (deformazioni del rivestimento), miscele tipo AC

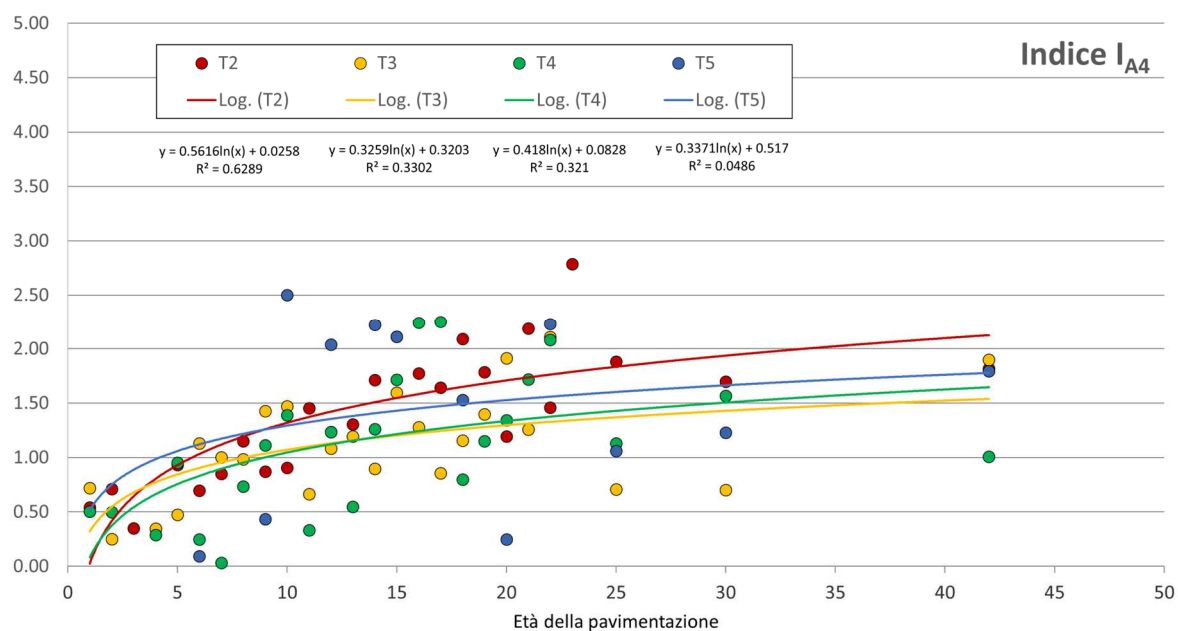


Figura A2.4: Modelli di degrado per l'indice I_{A4} (danni strutturali), miscele tipo AC

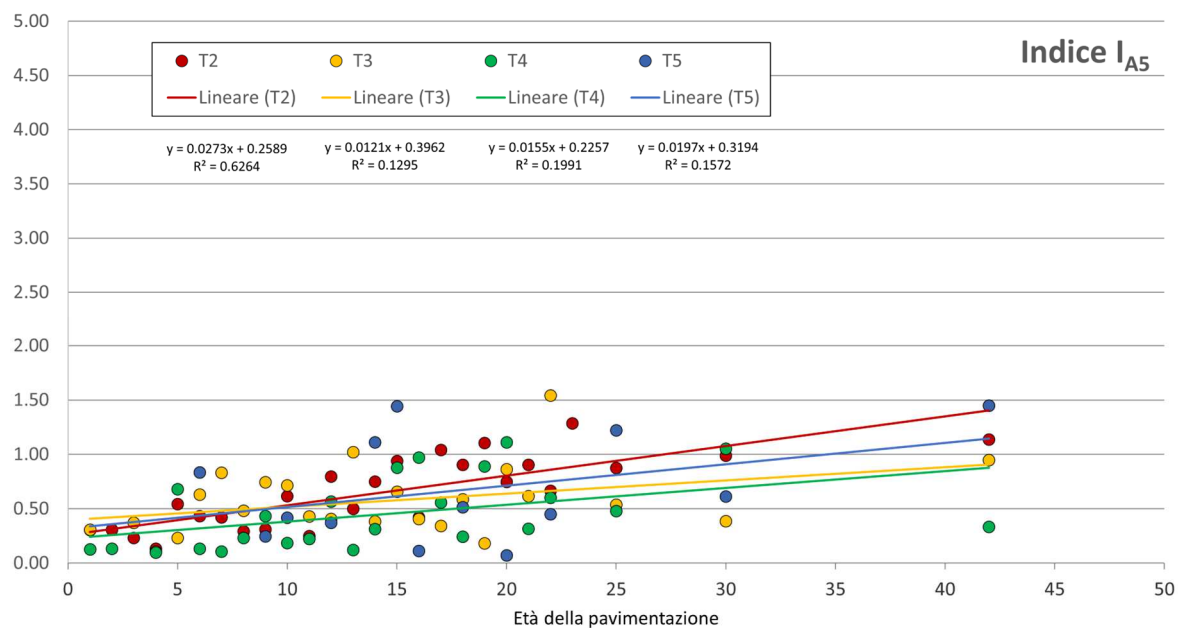


Figura A2.5: Modelli di degrado per l'indice I_{A5} (riparazioni), miscele tipo AC

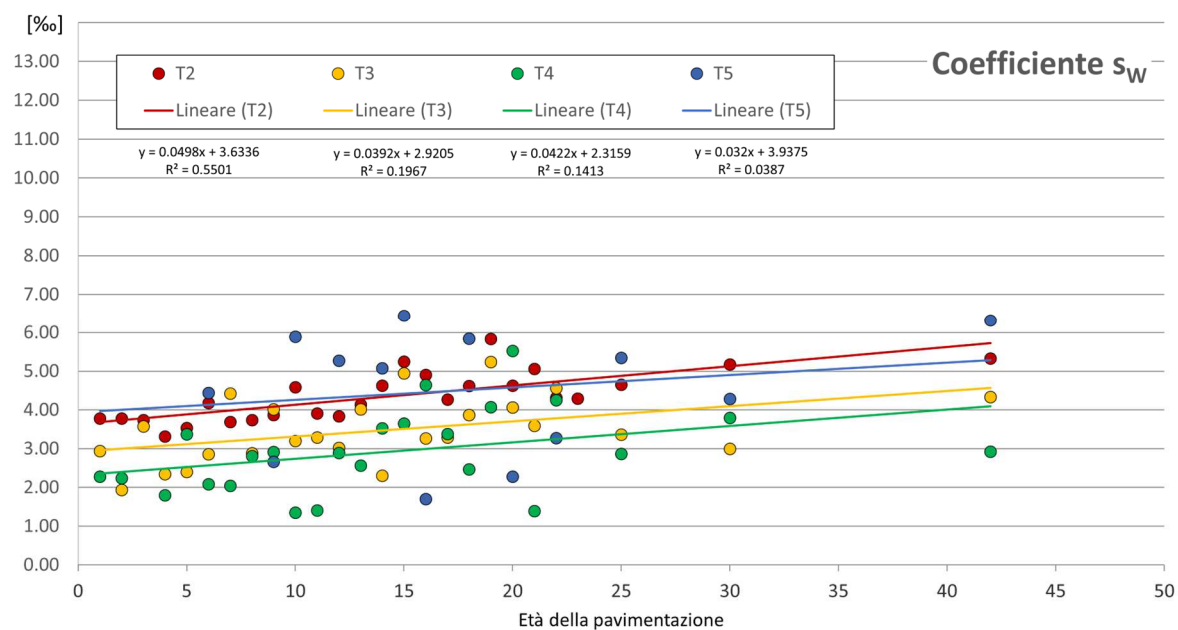


Figura A2.6: Modelli di degrado per il coefficiente di regolarità longitudinale s_w , miscele tipo AC

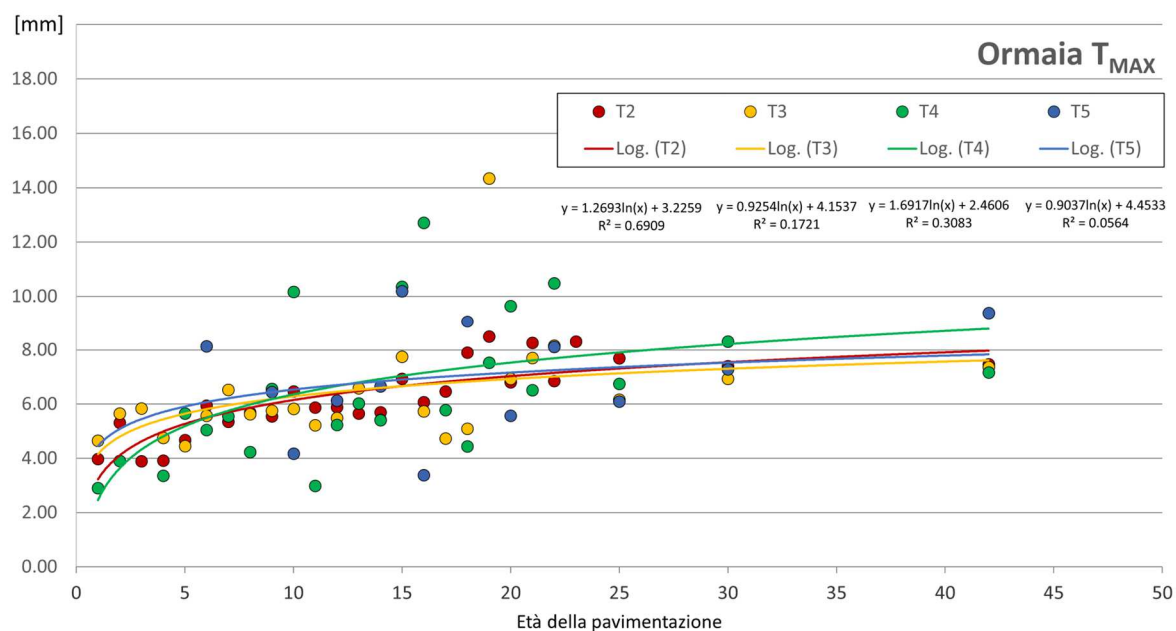


Figura A2.7: Modelli di degrado per la profondità massima di ormaia T_{max} , miscele tipo AC

Tabella 1: Lista modelli calcolati e confronto con quelli utilizzati, pavimentazioni in asfalto, miscele tipo AC.

Indice	Classe di traffico	Modello dati aggiornati	R^2 2022	Modello previsto nell'analisi PMS-TI 2022	R^2
I_{A1}	T2	$0.3022 \times \ln(Età) + 0.5180$	0.7357	$0.2418 \times Età + 0.9228$	0.7134
	T3	$0.1888 \times \ln(Età) + 0.8599$	0.3693	$0.2023 \times Età + 1.1044$	0.3776
	T4	$0.2700 \times \ln(Età) + 0.6134$	0.2737	$0.3439 \times Età + 0.8391$	0.6289
	T5	$0.1174 \times \ln(Età) + 0.9486$	0.0240	$0.3948 \times Età + 0.7130$	0.4318
I_{A2}	T2	$0.4220 \times \ln(Età) + 1.5469$	0.7233	$0.5335 \times Età + 0.8436$	0.6135
	T3	$0.2907 \times \ln(Età) + 2.0060$	0.1907	$0.3780 \times Età + 1.0031$	0.4445
	T4	$0.4777 \times \ln(Età) + 1.3991$	0.3211	$0.1962 \times Età + 1.5420$	0.2362
	T5	$0.1373 \times \ln(Età) + 2.3100$	0.0151	$0.3022 \times Età + 1.3788$	0.2095
I_{A3}	T2	$0.029 \times Età + 0.4525$	0.0027	$0.6244 \times Età + 0.0308$	0.8241
	T3	$0.1067 \times \ln(Età) + 0.3524$	0.2258	$0.4665 \times Età + 0.2710$	0.4968
	T4	$0.1272 \times \ln(Età) + 0.4698$	0.0413	$0.7520 \times Età - 0.2539$	0.6688
	T5	$-0.0023 \times Età + 0.8025$	0.0058	$0.4263 \times Età + 0.1984$	0.2253
I_{A4}	T2	$0.5616 \times \ln(Età) + 0.0258$	0.6289	$0.7148 \times Età - 0.1949$	0.6815
	T3	$0.3259 \times \ln(Età) + 0.3203$	0.3302	$0.4387 \times Età - 0.0228$	0.3020
	T4	$0.4180 \times \ln(Età) + 0.0828$	0.3210	$0.6384 \times Età - 0.6101$	0.4171
	T5	$0.3371 \times \ln(Età) + 0.5170$	0.0486	$0.2984 \times Età + 0.1727$	0.1166
I_{A5}	T2	$0.0273 \times Età + 0.2589$	0.6264	$0.0323 \times Età + 0.0997$	0.7005
	T3	$0.0121 \times Età + 0.3962$	0.1295	$0.0238 \times Età + 0.2367$	0.4416
	T4	$0.0155 \times Età + 0.2257$	0.1991	$0.0405 \times Età + 0.0011$	0.7335
	T5	$0.0197 \times Età + 0.3194$	0.1572	$0.0539 \times Età - 0.0961$	0.3809
S_W	T2	$0.0498 \times Età + 3.6336$	0.5501	$0.1588 \times Età + 1.5138$	0.7497
	T3	$0.0392 \times Età + 2.9205$	0.1967	$0.0849 \times Età + 2.1566$	0.4224
	T4	$0.0422 \times Età + 2.3159$	0.1413	$0.1372 \times Età + 1.6920$	0.7666
	T5	$0.0320 \times Età + 3.9375$	0.0387	$0.1015 \times Età + 1.7375$	0.3702
T_{max}	T2	$1.2693 \times \ln(Età) + 3.2259$	0.6909	$2.9869 \times \ln(Età) + 2.2071$	0.7405
	T3	$0.9254 \times \ln(Età) + 4.1537$	0.1721	$1.3239 \times \ln(Età) + 5.1128$	0.3915
	T4	$1.6917 \times \ln(Età) + 2.4606$	0.3083	$3.3664 \times \ln(Età) + 1.0397$	0.5463
	T5	$0.9037 \times \ln(Età) + 4.4533$	0.0564	$1.7364 \times \ln(Età) + 3.5184$	0.3386

Nota: nella tabella sono evidenziati con caratteri di colore blu i coefficienti di regressione migliori.

Risultati per pavimentazioni in asfalto, miscele tipo SDA

Le figure seguenti presentano i modelli ottenuti per i vari indici o indicatori per le classi di traffico da T2 a T5, unicamente per i segmenti con miscele tipo SDA. L'insieme dei modelli (formule per le curve di degrado) è rappresentato alla tabella 2 assieme ai valori impiegati nello studio.

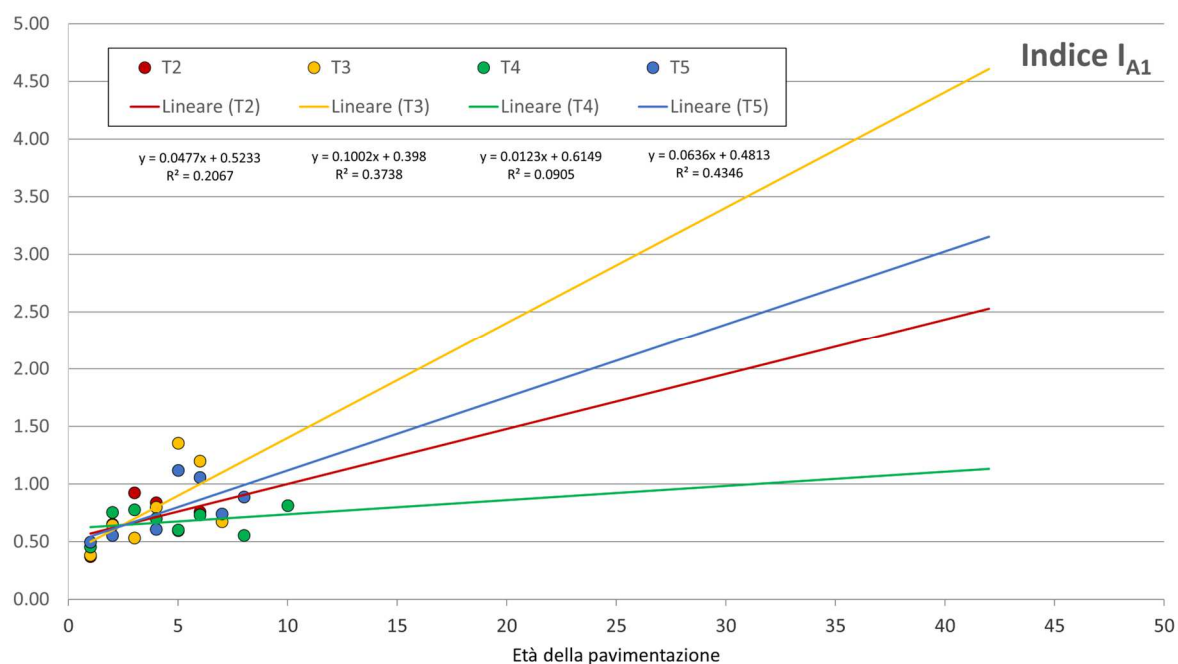


Figura A2.8: Modelli di degrado per l'indice I_{A1} (scivolosità), miscele tipo SDA

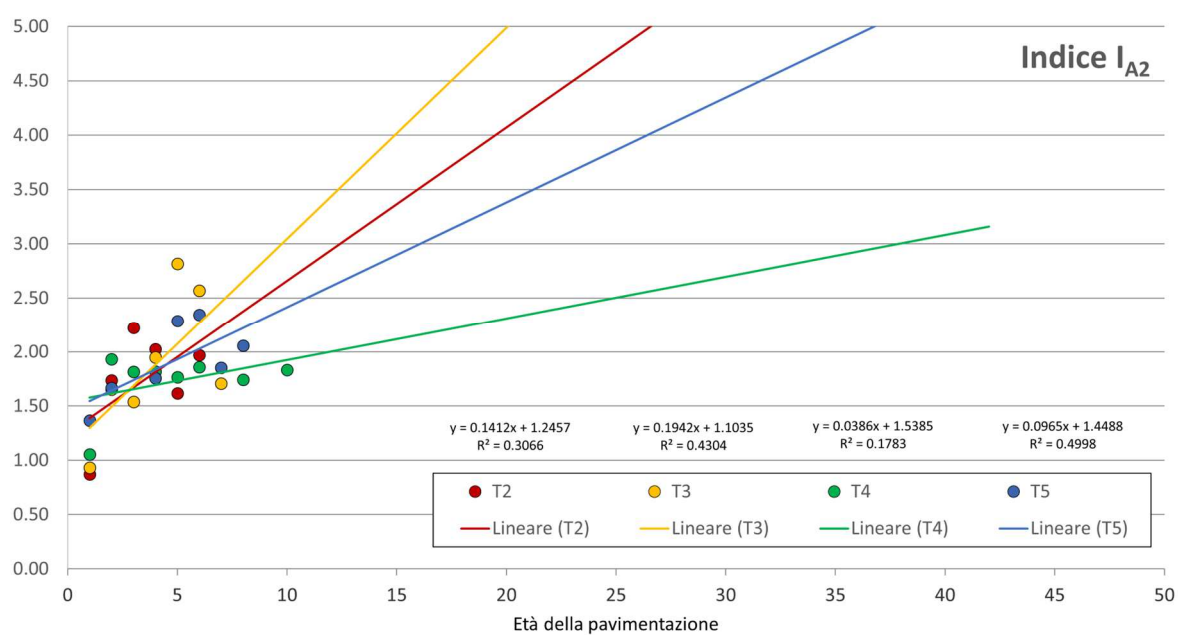


Figura A2.9: Modelli di degrado per l'indice I_{A2} (danni al rivestimento), miscele tipo SDA

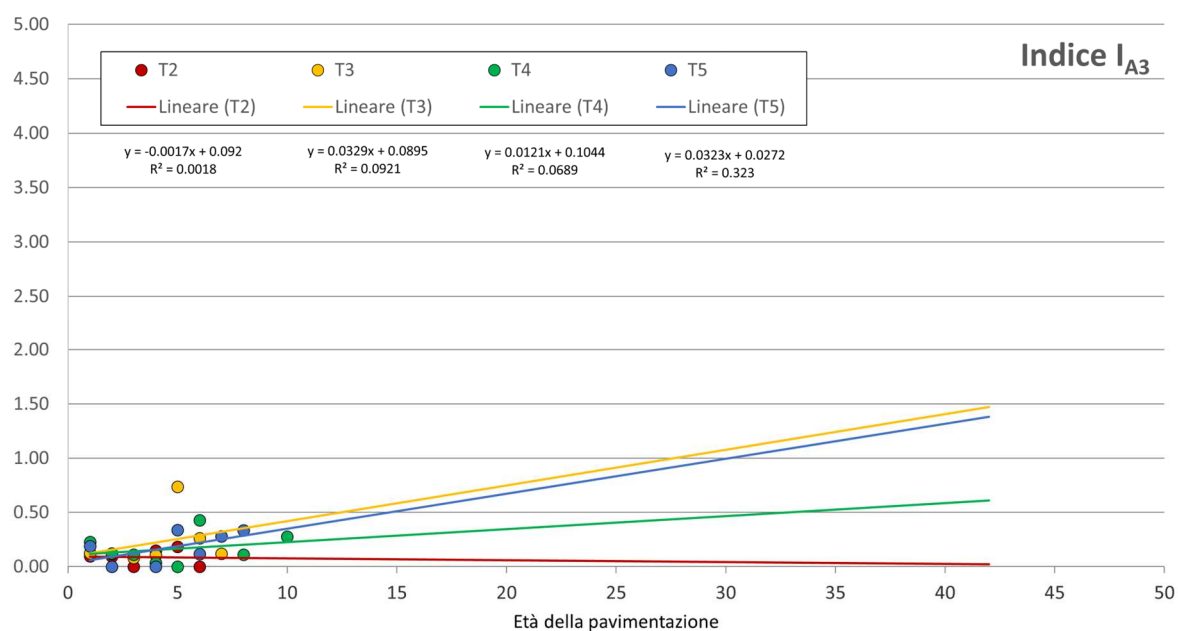


Figura A2.10: Modelli di degrado per l'indice I_{A3} (deformazioni del rivestimento), miscele tipo SDA

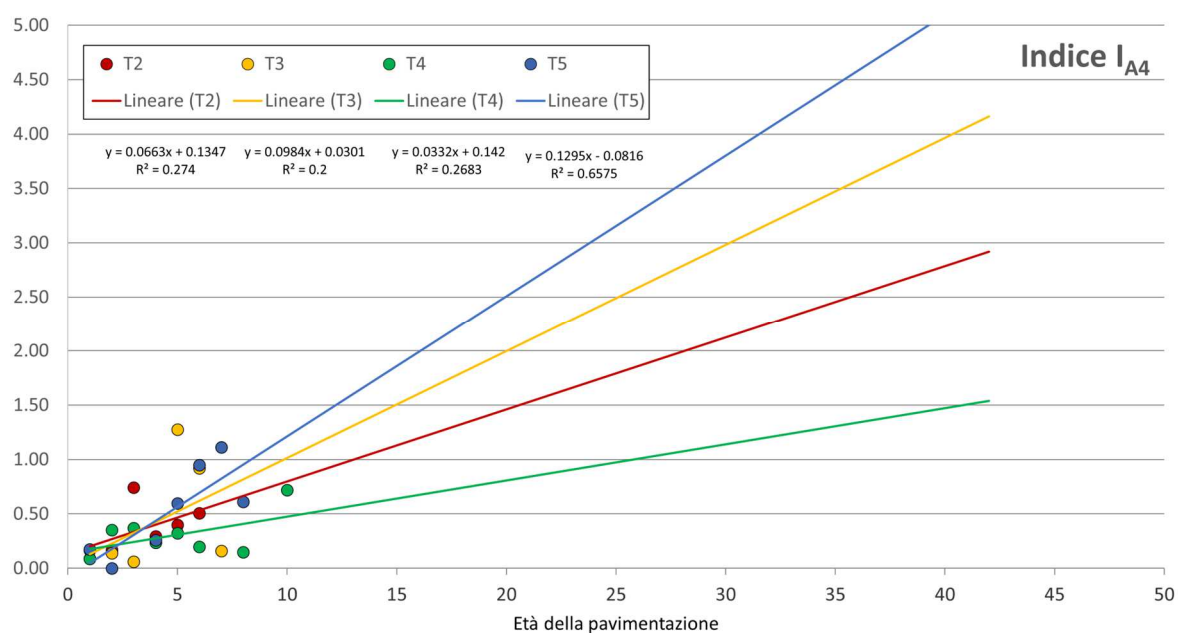


Figura A2.11: Modelli di degrado per l'indice I_{A4} (danni strutturali), miscele tipo SDA

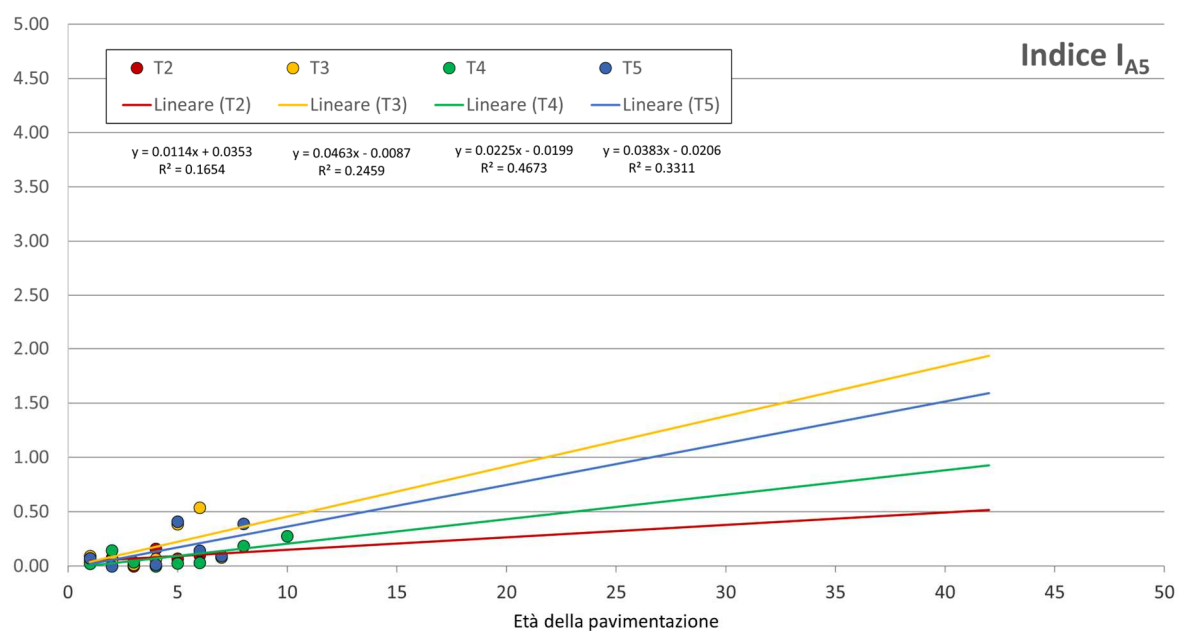


Figura A2.12: Modelli di degrado per l'indice I_{A5} (riparazioni), miscele tipo SDA

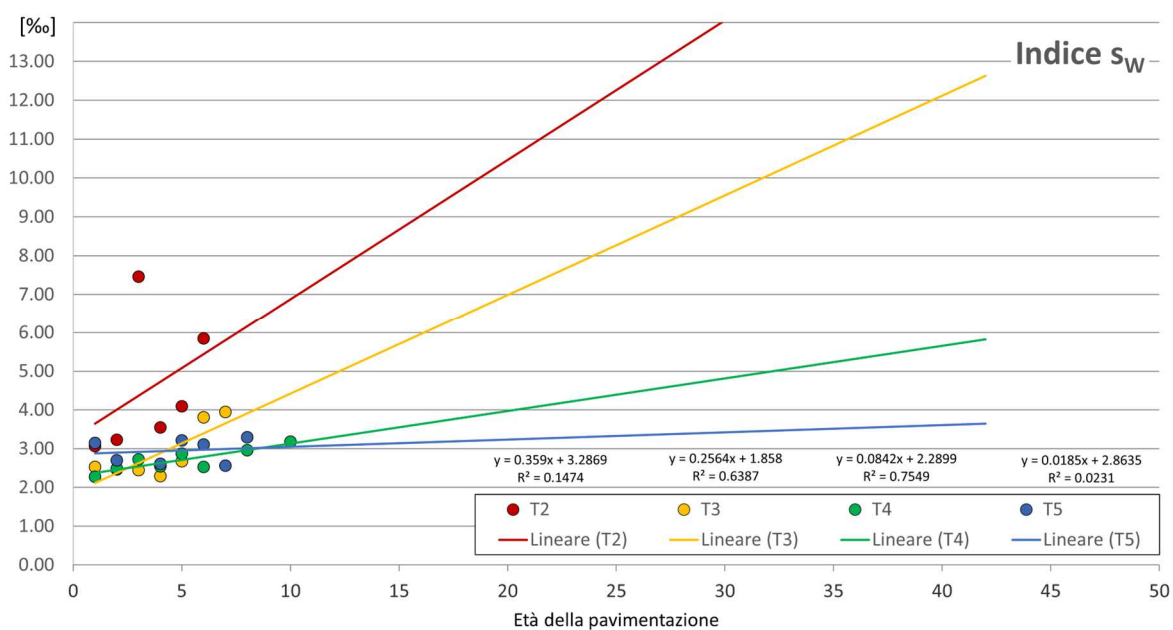


Figura A2.13: Modelli di degrado per il coefficiente di regolarità longitudinale s_w , miscele tipo SDA

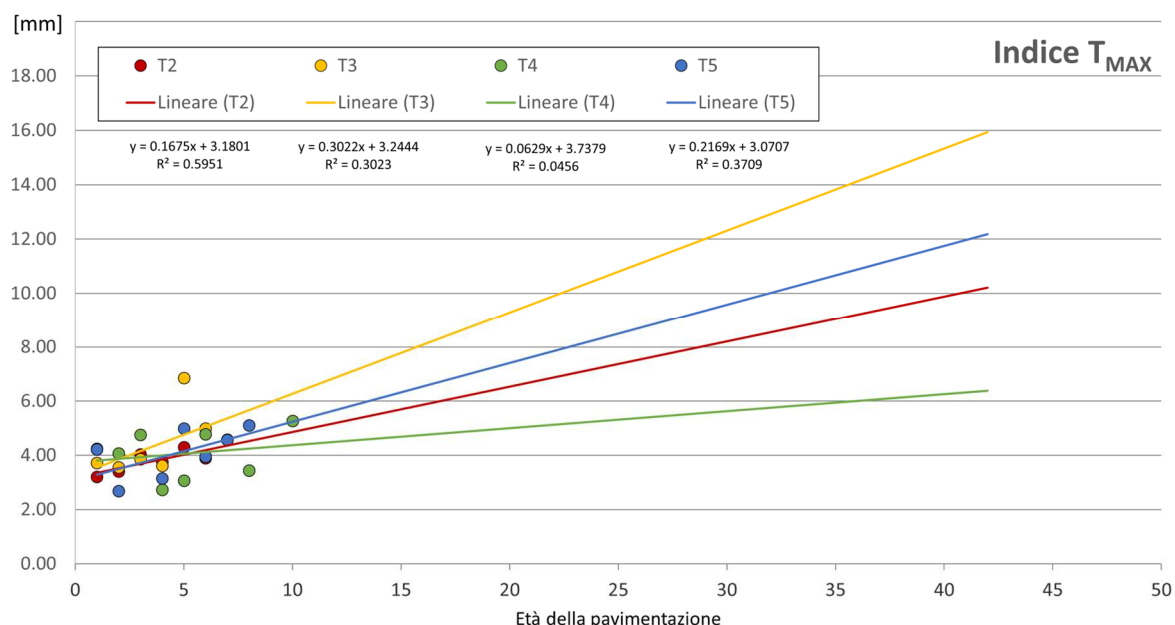


Figura A2.14: Modelli di degrado per la profondità massima di ormaia T_{max} , miscele tipo SDA

Tabella 2: Lista modelli calcolati e confronto con quelli utilizzati, pavimentazioni in asfalto, miscele tipo SDA.

Indice	Classe di traffico	Modello dati aggiornati	R ² 2022	Modello previsto nell'analisi PMS-TI 2022	R ²
I _{A1}	T2	0.0477 x Età + 0.5233	0.2067	0.2418x Età + 0.9228	0.7134
	T3	0.1002 x Età + 0.3980	0.3738	0.2023 x Età + 1.1044	0.3776
	T4	0.0123 x Età + 0.6149	0.0905	0.3439 x Età + 0.8391	0.6289
	T5	0.0636 x Età + 0.4813	0.4346	0.3948 x Età + 0.7130	0.4318
I _{A2}	T2	0.1412 x Età + 1.2457	0.3066	0.5335 x Età + 0.8436	0.6135
	T3	0.1942 x Età + 1.1035	0.4304	0.3780 x Età + 1.0031	0.4445
	T4	0.0386 x Età + 1.5385	0.1783	0.1962 x Età + 1.5420	0.2362
	T5	0.0965 x Età + 1.4488	0.4998	0.3022 x Età + 1.3788	0.2095
I _{A3}	T2	-0.0017 x Età + 0.0920	0.0018	0.6244 x Età + 0.0308	0.8241
	T3	0.0329 x Età + 0.0895	0.0921	0.4665 x Età + 0.2710	0.4968
	T4	0.0121 x Età + 0.1044	0.0689	0.7520 x Età - 0.2539	0.6688
	T5	0.0323 x Età + 0.0272	0.3230	0.4263 x Età + 0.1984	0.2253
I _{A4}	T2	0.0663 x Età + 0.1347	0.2740	0.7148 x Età - 0.1949	0.6815
	T3	0.0984 x Età + 0.0301	0.2000	0.4387 x Età - 0.0228	0.3020
	T4	0.0332 x Età + 0.1420	0.2683	0.6384 x Età - 0.6101	0.4171
	T5	0.1295 x Età - 0.0816	0.6575	0.2984 x Età + 0.1727	0.1166
I _{A5}	T2	0.0114 x Età + 0.0353	0.1654	0.0323 x Età + 0.0997	0.7005
	T3	0.0463 x Età - 0.0087	0.2459	0.0238 x Età + 0.2367	0.4416
	T4	0.0225 x Età - 0.0199	0.4673	0.0405 x Età + 0.0011	0.7335
	T5	0.0383 x Età - 0.0206	0.3311	0.0539 x Età - 0.0961	0.3809
S _w	T2	0.3590 x Età + 3.2869	0.1474	0.1588 x Età + 1.5138	0.7497
	T3	0.2564 x Età + 1.8580	0.6387	0.0849 x Età + 2.1566	0.4224
	T4	0.0842 x Età + 2.2899	0.7549	0.1372 x Età + 1.6920	0.7666
	T5	0.0185 x Età + 2.8635	0.0231	0.1015 x Età + 1.7375	0.3702
T _{max}	T2	0.1675 x Età + 3.1801	0.5951	2.9869 x Ln(Età) + 2.2071	0.7405
	T3	0.3022 x Età + 3.2444	0.3023	1.3239 x Ln(Età) + 5.1128	0.3915
	T4	0.0629 x Età + 3.7379	0.0456	3.3664 x Ln(Età) + 1.0397	0.5463
	T5	0.2169 x Età + 3.0707	0.3709	1.7364 x Ln(Età) + 3.5184	0.3386

Nota: nella tabella sono evidenziati con caratteri di colore blu i coefficienti di regressione migliori.

Confronto risultati modelli attualizzati con quelli impiegati nell'analisi PMS-TI 2022***Pavimentazioni in asfalto, miscele tipo AC***

- Indice I_{A1} : la progressione rilevata è molto simile ai risultati ottenuti nell'analisi precedente, ma i coefficienti di regressione sono generalmente più bassi. Si osserva un raggiungimento di un valore di indice di circa 1.50 per tutte le classi di traffico dopo 40 anni.
- Indice I_{A2} : i risultati tendenzialmente elevati osservati nell'analisi precedente si sono stabilizzati attorno al valore 3.00.
- Indice I_{A3} : i nuovi risultati mostrano una distribuzione elevata (coefficienti di regressione molto bassi) ed un appiattimento notevole di tutte le curve, con valori non superiori a 1.00. Si osserva che la linea di tendenza della classe T5 presenta un miglioramento poco verosimile dei valori a lungo termine.
- Indice I_{A4} : il modello logaritmico è simile ai risultati ottenuti nell'analisi precedente, ma i coefficienti di regressione sono generalmente più bassi. Si osserva un raggruppamento delle curve per le diverse classi di traffico e valori compresi tra 1.50 e 2.20 dopo 40 anni.
- Indice I_{A5} : per questo indice si osserva un andamento lineare con coefficienti di regressione peggiori rispetto ai modelli d'analisi precedenti. I valori dopo 40 anni si attestano tra 1.00 e 1.50.
- Indice I_2 (coefficiente s_w): Il miglioramento rilevato nell'ultimo aggiornamento si conferma anche durante l'analisi attuale. L'andamento dopo 40 anni si attesta tra 4.00 e 6.00 ‰, inferiore ai valori rilevati nell'analisi precedente. I coefficienti di regressione sono peggiori.
- Indice I_3 (profondità di ormaia T_{max}): La progressione più marcata rilevata nel 2014 non è confermata dall'analisi 2022. Dopo 40 anni, i valori si attestano tra 7.00 e 9.00 mm, inferiori a quelli rilevati nel modello precedente. I coefficienti di regressione sono peggiori.

Pavimentazioni in asfalto, miscele tipo SDA

Si premette che la rete stradale attuale presenta unicamente 100 km di strade (sui 220 km pubblicati) con pavimentazione a carattere fonoassorbente (tipologia SDA). I dati del rilievo dello stato a disposizione non permettono al momento di definire delle curve di degrado attendibili. In effetti, i coefficienti di regressione sono generalmente peggiori rispetto alle funzioni determinate per le miscele tipo AC e si osservano delle tendenze poco verosimili per questa tipologia di miscela.

- Indice I_{A1} : si osserva un andamento lineare dei punti. La banca dati attuale non può essere considerata rappresentativa, siccome le linee di tendenza per le classi T2, T4 e T5 sono migliori di quelle di una pavimentazione con miscela tipo AC.
- Indice I_{A2} : l'andamento lineare dei valori è molto marcato e si osserva un netto peggioramento dei valori, rispetto alle miscele tipo AC, già dopo 10-15 anni.
- Indice I_{A3} : anche in questo caso si osserva un andamento lineare dei punti e con valori a lungo termine nettamente inferiori e poco verosimili se paragonati con le miscele tipo AC.
- Indice I_{A4} : banca dati attualmente non ancora attendibile, poiché dopo 30 anni alcune rette sono migliori rispetto a quelle con miscela tipo AC. Si denota anche in questo caso un andamento lineare delle linee di tendenza.
- Indice I_{A5} : diversi segmenti con valori uguali a 0.00 (rappezzi e riparazioni non presenti). I dati per questo indice non sono al momento rappresentativi per sviluppare dei modelli attendibili.
- Indice I_2 (coefficiente s_w): si evince una netta tendenza al peggioramento per le classi T2 e T3, ma non rilevata per le classi T4 e T5.
- Indice I_3 (profondità di ormaia T_{max}): valori generalmente inferiori rispetto ai modelli con miscele tipo AC e pertanto non considerati rappresentativi.