



Applicazione dei limiti dinamici di velocità in A22

Resoconto sintetico della seconda fase sperimentale





## Indice

Indice.....	2
Sommario.....	3
1. Obiettivi del progetto BrennerLEC.....	4
2. Risultati di Fase 1 (sintesi).....	5
2.1 Risultati dell'applicazione della riduzione dei limiti dinamici di velocità per fini ambientali.....	5
2.2 Risultati dell'applicazione della riduzione dei limiti dinamici di velocità per fini viabilistici.....	6
3. Risultati di Fase 2.....	7
3.1. Applicazione dei limiti dinamici di velocità per fini ambientali.....	7
3.1.1. Organizzazione delle sessioni di test.....	7
3.1.2 Rispetto dei limiti di velocità.....	11
3.1.3 Metodologia per la valutazione dei benefici ambientali.....	11
3.1.4 Risultati sperimentali sulla riduzione delle concentrazioni a bordo strada.....	11
3.2. Applicazione dei limiti dinamici di velocità per fini viabilistici.....	15
3.2.1 Organizzazione delle sessioni di test.....	15
3.2.2 Rispetto dei limiti di velocità.....	16
3.2.3 Sistema semi-automatico di gestione dei limiti di velocità.....	17
3.2.4 Valutazione dell'efficacia del sistema semi-automatico di gestione dei limiti di velocità dal punto di vista trasportistico- tempi di percorrenza.....	18
3.2.5 Valutazione dell'efficacia del sistema semi-automatico di gestione dei limiti di velocità dal punto di vista trasportistico- andamento della velocità.....	22
3.2.6 Valutazione dell'efficacia del sistema semi-automatico di gestione dei limiti di velocità dal punto di vista trasportistico- classificazione delle giornate di traffico.....	28
3.2.7 Valutazione dell'efficacia del sistema semi-automatico di gestione dei limiti di velocità dal punto di vista delle emissioni di inquinanti.....	33
4. Conclusioni e sviluppi futuri.....	35
Bibliografia.....	37



## Sommario

Questo documento presenta i risultati ottenuti durante la fase 2 del progetto LIFE “BrennerLEC”, che sta sperimentando sull’A22 un concetto avanzato di gestione dei flussi di traffico finalizzato alla riduzione delle emissioni e alla riduzione delle situazioni di congestionamento. Vengono in particolare presentati i risultati delle azioni di progetto collegate alla gestione dinamica della velocità massima consentita in autostrada.

L’applicazione dei limiti dinamici di velocità per fini ambientali ha confermato i risultati della fase 1 del progetto ed in particolare l’efficacia di questa politica per la riduzione delle concentrazioni di inquinanti a bordo autostrada. Tuttavia, la diminuzione delle concentrazioni a bordo autostrada riscontrata in fase 2 è stata inferiore rispetto a quella evidenziata in fase 1, a causa di riduzioni di velocità meno significative da parte dei veicoli leggeri durante le attività sperimentali. La minor diminuzione della velocità durante la fase 2 è strettamente collegata alla differente segnaletica utilizzata in questa fase rispetto a quella della fase 1, a causa di limitazioni normative: in fase 2 è stata infatti utilizzata la segnaletica relativa alla velocità consigliata, mentre in fase 1 era stato possibile utilizzare quella relativa al limite cogente di velocità.

L’applicazione dei limiti dinamici di velocità durante giornate di traffico intenso ha evidenziato risultati positivi sia dal punto di vista della fluidificazione del traffico sia per quanto riguarda la riduzione delle emissioni di inquinanti e di anidride carbonica. In particolare, l’adozione di un sistema semi-automatico di gestione dinamica dei limiti di velocità ha consentito di ottimizzare la gestione del traffico autostradale portando ad una riduzione dei tempi di percorrenza medi e delle emissioni durante le giornate con traffico molto sostenuto.



## 1. Obiettivi del progetto BrennerLEC

Il **progetto BrennerLEC** attua le sue attività sperimentali in un'area sensibile come le Alpi e si pone l'obiettivo di creare un "corridoio a emissioni ridotte" (LEC – *Lower Emissions Corridor*) lungo l'asse autostradale del Brennero al fine di ottenere un **chiaro beneficio ambientale** nei settori della tutela dell'aria e della protezione del clima. Tali obiettivi vengono perseguiti in un'area pilota della **A22** tramite l'implementazione e la validazione di una **serie di misure**:

- **gestione dinamica della capacità autostradale (BLEC-ENV)** attraverso la riduzione dei limiti di velocità qualora si prevedano importanti flussi veicolari e l'apertura temporanea della corsia di emergenza al traffico durante le fasi di saturazione dell'arteria; i benefici ambientali attesi nella tratta interessata che si estende per circa 90 km, da Bolzano nord a Rovereto sud, consistono nella riduzione delle emissioni in atmosfera prodotte dai veicoli leggeri.
- **gestione dinamica della velocità massima consentita (BLEC-AQ)** ai veicoli leggeri in funzione della situazione attuale e prevista della qualità dell'aria; l'azione viene testata su una tratta di circa 10 km compresa tra Egna e San Michele; si attendono riduzioni delle emissioni prodotte dalle autovetture ed in particolare di NO<sub>x</sub> e CO<sub>2</sub>
- **gestione integrata dei sistemi di informazione agli automobilisti (BLEC-LEZ)** in corrispondenza dei maggiori centri abitati al fine di orientare l'utenza su percorsi consigliati. Questa misura si prefigge di ridurre le emissioni in particolare presso gli ingressi e le uscite delle città di Bolzano, Trento e Rovereto.

BrennerLEC si pone inoltre l'obiettivo di ottenere **il miglior compromesso possibile tra benefici ambientali, qualità e sicurezza del servizio offerto e massimo grado di accettazione da parte dell'utenza**.. Per tale ragione è prevista un'intensa attività di **monitoraggio** su diverse matrici: **ambiente** (qualità dell'aria e rumore), **trasporti** (dati di traffico) e **impatto sociale** delle misure.

Un altro obiettivo del progetto è l'elaborazione di linee guida per l'**estensione** di tali misure al **tratto alpino della A22** tra Brennero e Affi e di raccomandazioni per la loro applicazione sull'intero asse autostradale internazionale del Brennero (Kufstein-Affi), in collaborazione con ASFINAG.

L'**aspetto più innovativo** del progetto è costituito dallo sviluppo di un **modello previsionale** delle condizioni meteorologiche, ambientali e viabilistiche che sarà alla base di un **sistema proattivo** di supporto alle decisioni per la **gestione ottimale dei flussi veicolari e per la riduzione degli impatti ambientali** in una zona particolarmente sensibile come quella delle valli alpine.

## 2. Risultati di Fase 1 (sintesi)

### 2.1 Risultati dell'applicazione della riduzione dei limiti dinamici di velocità per fini ambientali

La fase 1 è stata avviata ad aprile 2017 ed è terminata a giugno 2018 ed ha consentito di analizzare dati da 1227 ore di test, durante le quali è stata applicata la riduzione della velocità, allo scopo di ridurre le emissioni di inquinanti da parte dei veicoli leggeri transitanti lungo l'autostrada. A questo scopo è stato esposto il limite di velocità di 100 km/h su una parte della tratta BLEC-AQ, lasciando quella attigua al regime di velocità consueto. Questo set-up sperimentale ha consentito di valutare le riduzioni di concentrazioni di inquinanti a bordo strada derivanti dall'applicazione del limite di velocità ridotto, tramite il confronto tra le misure effettuate nel tratto in cui è stato introdotto il limite e quelle effettuate nel tratto attiguo (Fig. 1)

Durante la fase 1 del progetto BrennerLEC, l'applicazione dei limiti dinamici di velocità per fini ambientali, nonostante l'assenza di sistemi di controllo a fini sanzionatori, ha mostrato risultati positivi ai fini della riduzione delle concentrazioni di inquinanti prodotti dal traffico ed è in linea con gli obiettivi e le aspettative iniziali di progetto: durante la fase di sperimentazione, a fronte di una riduzione della velocità media di circa 15 km/h, è stata misurata una riduzione media delle concentrazioni di biossido di azoto a bordo autostrada pari a circa il 10%.

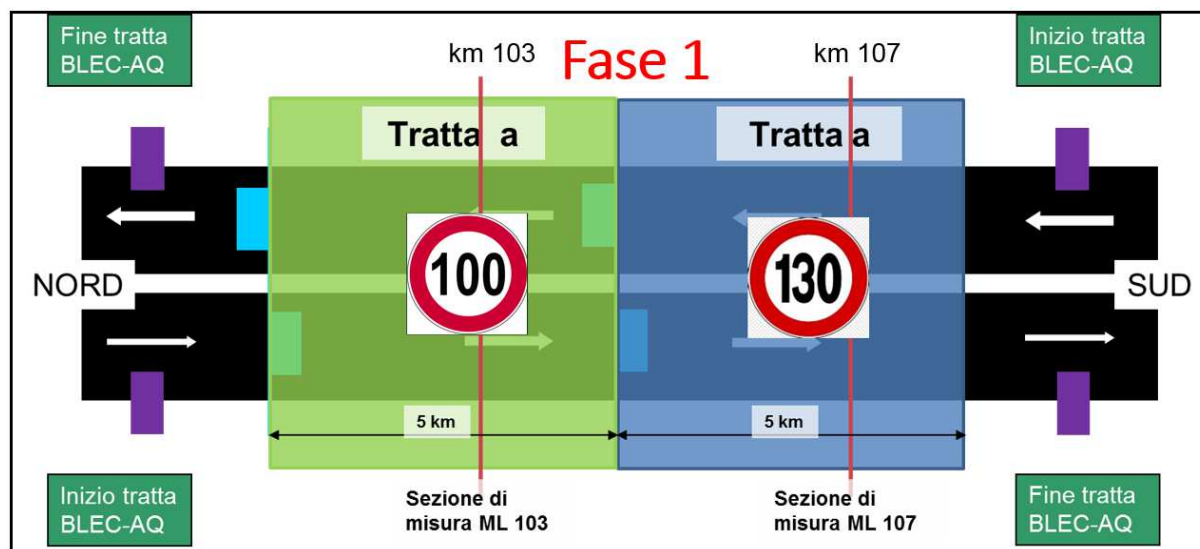


Figura 1: Allestimento del sito di test BLEC-AQ per la prima fase di test con i limiti dinamici di velocità per fini ambientali.



## 2.2 Risultati dell'applicazione della riduzione dei limiti dinamici di velocità per fini viabilistici

I risultati ottenuti dall'elaborazione dei dati raccolti nella prima fase in riferimento alla gestione dinamica della capacità autostradale (BLEC-ENV) hanno confermato i possibili impatti positivi che i limiti dinamici di velocità possono avere sul miglioramento della fluidità di traffico in condizioni di traffico intenso, in particolare limitando le situazioni di stop&go. Per ottenere questo effetto positivo è necessario un costante monitoraggio e adattamento dei limiti di velocità in funzione delle condizioni di traffico, ad esempio attivando immediatamente la riduzione dei limiti di velocità nel momento in cui stanno per iniziare le condizioni prossime alla saturazione.

Viste le difficoltà riscontrate nella gestione di queste procedure, si è deciso di provvedere all'implementazione di un software per il controllo e la gestione del limite di velocità che si occupi di sintetizzare le informazioni derivanti dalle rilevazioni, di determinare i limiti di velocità adeguati e di fornire in modo semplice e continuativo tali informazioni al centro di gestione del traffico di A22 per l'esposizione della messaggistica idonea.

Oltre a un'appropriata applicazione dei limiti di velocità, per ottenere elevate condizioni di stabilità e di omogeneità dei flussi di traffico è necessario un elevato grado di rispetto dei limiti da parte degli utenti. Nel primo periodo della sperimentazione di fase 1, quando il pittogramma del limite di velocità sui pannelli a messaggio variabile era affiancato dal messaggio "tratta monitorata", il tasso di superamento dei limiti era stato del 30% circa, paragonabile a quello riscontrato solitamente in autostrada. In seguito è stato registrato un aumento dei superamenti nel periodo in cui è stato esposto solamente il pittogramma con il limite di velocità.

Confronti preliminari tra giornate con traffico intenso con e senza situazioni di stop&go hanno evidenziato dal punto di vista ambientale potenziali riduzioni delle emissioni di ossidi di azoto e di anidride carbonica. I risultati, effettuati su un campione di dati limitato in fase 1, a causa della variabilità nella gestione delle sperimentazioni, sono stati successivamente approfonditi e indagati in fase 2.



### 3. Risultati di Fase 2

La fase 2 del progetto prevedeva di ampliare lo spettro delle sperimentazioni al fine di ottenere tutte le informazioni necessarie a creare il sistema di gestione previsionale e dinamico che verrà poi implementato nelle fasi successive.

#### 3.1. Applicazione dei limiti dinamici di velocità per fini ambientali

Le misure di riduzione dei limiti di velocità a fini ambientali vengono testate nel tratto autostradale denominato BLEC-AQ (*Air Quality*). Rispetto alla fase 1, il tratto è stato potenziato a livello di segnaletica per poter eseguire i test su tutti i 10 km previsti dal progetto.

##### 3.1.1. Organizzazione delle sessioni di test

La seconda fase di sperimentazione è stata avviata a luglio 2018 ed è terminata a settembre 2019. A differenza di quanto effettuato nella prima fase di progetto, durante i 15 mesi della seconda fase di sperimentazioni è stata esposta la segnaletica relativa alla velocità consigliata e non quella relativa al limite cogente di velocità (vedi Fig. 2 e Fig. 3). Durante l'attivazione dei test gli automobilisti si sono visti quindi proporre la segnaletica dei 100 km/h consigliati, con la quale hanno dovuto dapprima prendere confidenza (viene usata molto di rado in ambito autostradale). La scelta di esporre tale segnaletica è stata dettata da ragioni di carattere normativo (Codice della Strada) e non era prevista dal progetto. Tuttavia, essa ha consentito di ricavare indicazioni utili per il progetto.

La seconda fase di test è stata organizzata in due periodi con modalità differenti tra loro. Nei primi 5 mesi la riduzione di velocità è stata esposta solamente nella sottotratta di 5 km (Fase 2a- Fig. 2) che era già stata sottoposta al limite ridotto durante la Fase 1, al fine di avere dati di confronto diretto tra le due diverse modalità di segnalazione del limite di velocità. Nei 10 mesi successivi, il segnale di velocità consigliata è stato esposto su tutti i 10 km del tratto sperimentale (Fase 2b – Fig. 3).



Figura 2: Allestimento del sito di test BLEC-AQ per la seconda fase di test con i limiti dinamici di velocità per fini ambientali utilizzato da luglio 2018 fino a novembre 2018.

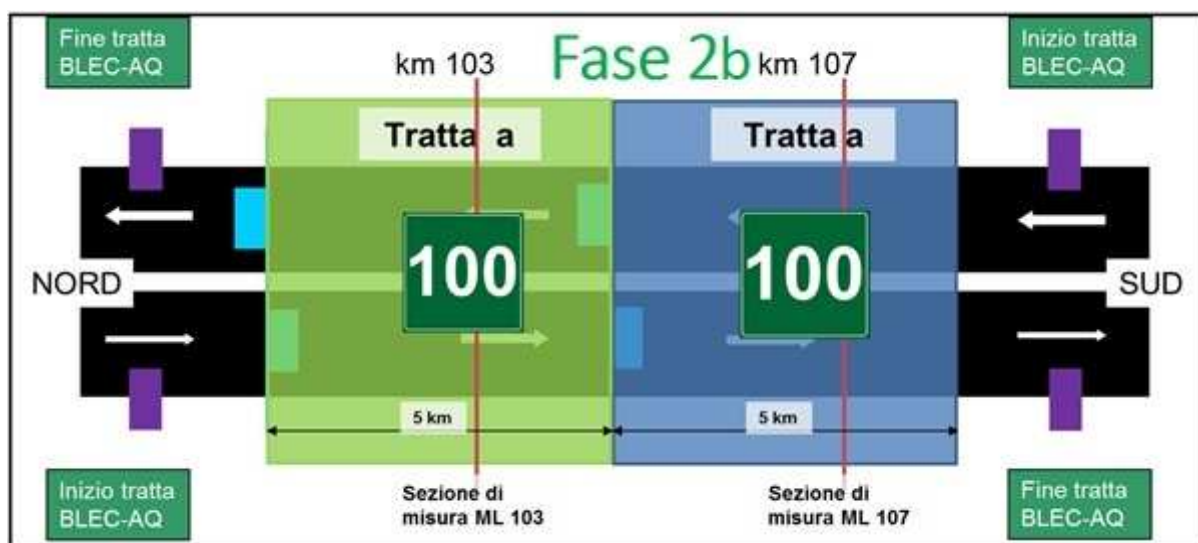


Figura 3: Allestimento del sito di test BLEC-AQ per la seconda fase di test con i limiti dinamici di velocità per fini ambientali utilizzato da dicembre 2018 fino a settembre 2019.

La messaggistica di supporto al segnale di velocità consigliata è stata esposta utilizzando due pannelli a messaggio variabile (PMV) a cavalletto riportanti il messaggio: “Tratta monitorata” (Fig. 4). I PMV





impiegati per esporre i segnali di velocità consigliata erano complessivamente 8 per ambedue le carreggiate. 6 di questi PMV erano alimentati da pannelli fotovoltaici posizionati a bordo autostrada e ben visibili anche in presenza di camion in transito (Fig. 5).



Figura 4: Messaggio esposto sul PMV a cavalletto di ingresso al tratto sperimentale BLEC-AQ durante una delle sessioni di test.



Figura 5: PMV fotovoltaico utilizzato per esporre il pittogramma di velocità consigliata durante le sessioni di test.



L'area di test è caratterizzata dalla presenza di due siti completi di monitoraggio del traffico e della qualità dell'aria (uno al km 103+700 - ML103, e l'altro al km 107+800 - ML107), che consentono di determinare le correlazioni tra traffico (veicoli in transito e velocità di transito) e qualità dell'aria, per valutare l'efficacia dell'azione messa in campo. Il monitoraggio ambientale viene effettuato per mezzo di stazioni di qualità dell'aria, conformi alle disposizioni vigenti per la misura delle concentrazioni di inquinanti. Il monitoraggio del traffico è realizzato per mezzo di spire induttive tradizionali.

L'obiettivo è stato quello di attivare i limiti dinamici di velocità secondo un calendario di riferimento, che permettesse la raccolta di un numero di ore di test statisticamente rappresentativo di un anno, sia sotto il profilo delle diverse condizioni di traffico che meteorologiche.

Uno sguardo d'insieme alla mole di sessioni di test complessivamente realizzate è disponibile in Tabella 1.

Durata complessiva delle sessioni di test	2.188 ore
Durata complessiva delle sessioni di test valide	1.836 ore
In giorni feriali	69%
In giorni festivi e pre-festivi	31%
In estate	29%
In inverno	38%
Nelle altre stagioni	33%

**Tabella 1: Riassunto delle sessioni di test con i limiti dinamici di velocità applicati per motivi ambientali.**

Le sessioni di test sono state condotte dalle 7 alle 21, orario della giornata che durante la prima fase sperimentale ha portato i maggiori benefici, sia in termini di riduzione della velocità, sia sotto il profilo ambientale.

Per essere considerata "valida" una sessione ha dovuto soddisfare le seguenti condizioni: (i) funzionamento completo di tutta l'infrastruttura di campo; (ii) assenza di eventi di traffico o meteo, che hanno determinato la necessità di usare i PMV per altri fini; (iii) riduzione minima della velocità dei veicoli leggeri, quantificata in termini di differenza delle velocità medie misurate nei due punti di misura al km 103+700 ed al km 107+800 per singola carreggiata maggiori o uguali a 5 km/h. Quest'ultima condizione è stata verificata esclusivamente quando i test sono stati svolti nella modalità di Fase 2a (Fig. 2). Nella modalità di test di Fase 2b le due sottotratte avevano uguale regime di velocità e pertanto un confronto delle velocità tra le due postazioni di misura non è significativo.



### 3.1.2 Rispetto dei limiti di velocità

La velocità media durante le sessioni di test valide è stata pari a circa 114 km/h; il limite ridotto di velocità è stato rispettato da circa il 21% dei veicoli leggeri transitati.

Per valutare la differenza media di velocità nella Fase 2b tra le sessioni di test e i periodi di non test, sono state calcolate le velocità medie dei veicoli leggeri relative al periodo compreso tra le 7:00 e le 21:00 delle giornate di non test. In tal modo è stato possibile confrontare le velocità medie di transito dei veicoli leggeri tra i due differenti regimi di velocità: 100 km/h consigliati esposti durante le sessioni di test e limite di 130 km/h in vigore in assenza di test. Si è ricavata in questo modo una differenza di velocità media pari a circa 5 km/h.

### 3.1.3 Metodologia per la valutazione dei benefici ambientali

I benefici ambientali derivanti dalla riduzione della velocità dei veicoli leggeri in autostrada sono stati valutati analizzando le misure di monossido e di biossido di azoto raccolte dalle stazioni di qualità dell'aria ML103 e ML107, posizionate a bordo autostrada nei tratti interessati dai test. In particolare, le misure corrispondenti ai periodi in cui la riduzione della velocità era attiva sono state confrontate con quelle effettuate durante i periodi non interessati dai test. L'analisi preliminare delle misure ha evidenziato che i campioni di dati raccolti durante le sessioni di test non erano uniformemente distribuiti durante l'anno e quindi pienamente rappresentativi della variabilità annuale delle concentrazioni di ossidi di azoto, a causa del fatto che i test di riduzione della velocità sono stati effettuati più frequentemente nella stagione invernale rispetto a quella estiva. In particolare, questo rendeva non immediatamente confrontabili i dati raccolti durante i test con quelli raccolti in assenza di test, a causa di una loro non omogenea distribuzione nei diversi mesi della fase 2 di progetto. Per questo motivo, prima di procedere all'analisi dei benefici ambientali, i dati sono stati pre-trattati per renderli omogenei e in particolare per rendere i due campioni di dati pienamente confrontabili. Quindi il campione dei dati raccolto in assenza di test è stato pesato sulla base della numerosità del campione di dati raccolto durante i test, lavorando su base mensile.

### 3.1.4 Risultati sperimentali sulla riduzione delle concentrazioni a bordo strada

I grafici riportati nelle Figure 6-9 evidenziano come la riduzione della velocità riscontrata lungo il tratto autostradale in esame abbia portato ad una moderata riduzione delle concentrazioni di monossido e di biossido di azoto, sia alla stazione ML103 che alla stazione ML107. Come ci si aspettava, la riduzione delle concentrazioni riscontrata è minore rispetto a quella trovata durante la fase 1 del progetto, a causa della minore riduzione delle velocità dei veicoli leggeri durante le sessioni di test della fase 2 rispetto a quelle della fase 1, così come evidenziato nel Paragrafo 3.1.2. In particolare, nella fase 2 si



sono riscontrate diminuzioni di circa il 7% per il monossido di azoto e di circa il 2-3% per il biossido di azoto, a fronte di riduzioni del 10% per entrambe le specie nella fase 1. La distribuzione temporale dei benefici ambientali è comunque coerente con quella riscontrata durante la fase 1 del progetto, con benefici maggiori al mattino e alla sera, in corrispondenza dei picchi del traffico in transito lungo l'autostrada.

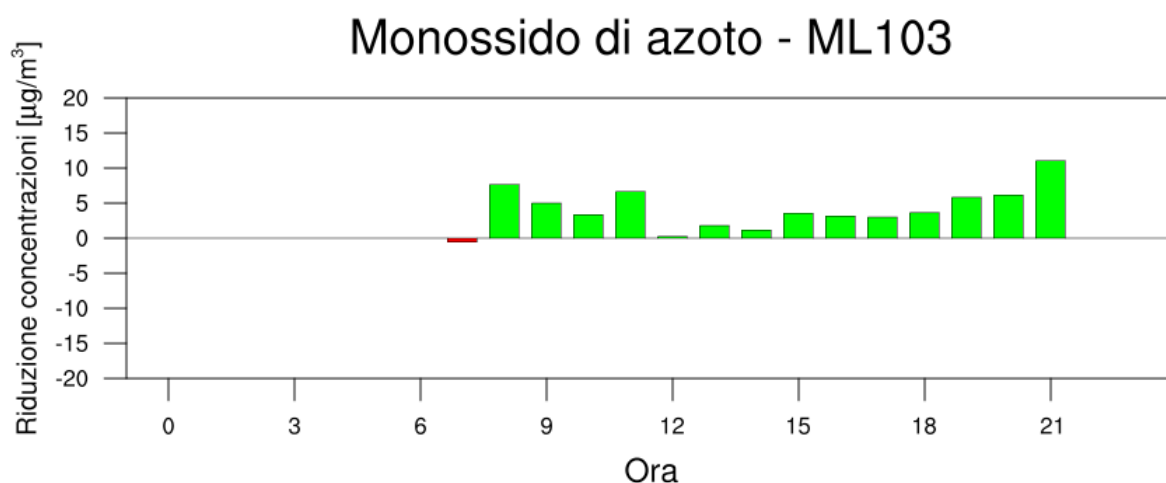


Figura 6: Benefici ambientali ottenuti durante i test di fase 2 alla stazione ML103 per quanto riguarda il monossido di azoto.

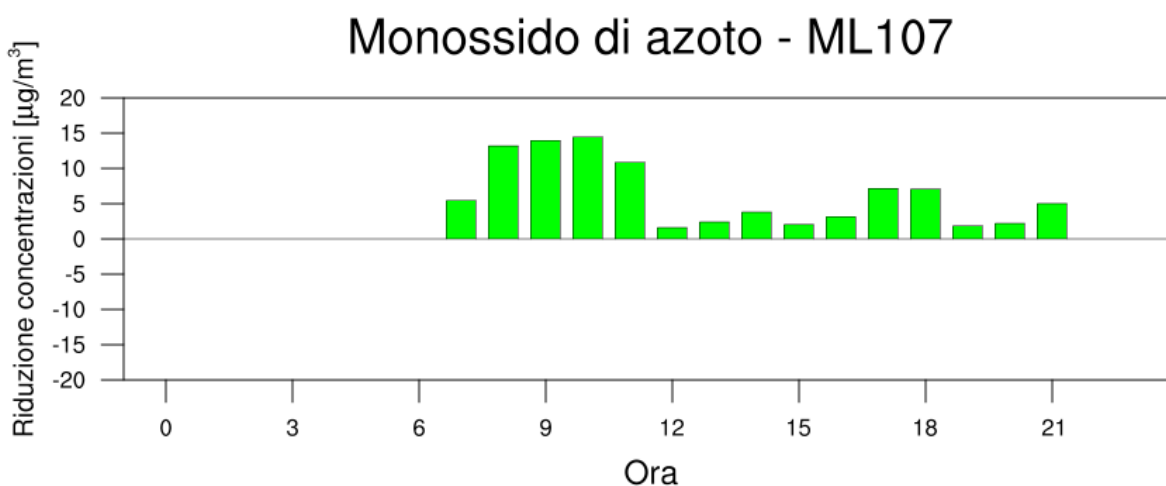


Figura 7: Benefici ambientali ottenuti durante i test di fase 2 alla stazione ML107 per quanto riguarda il monossido di azoto.

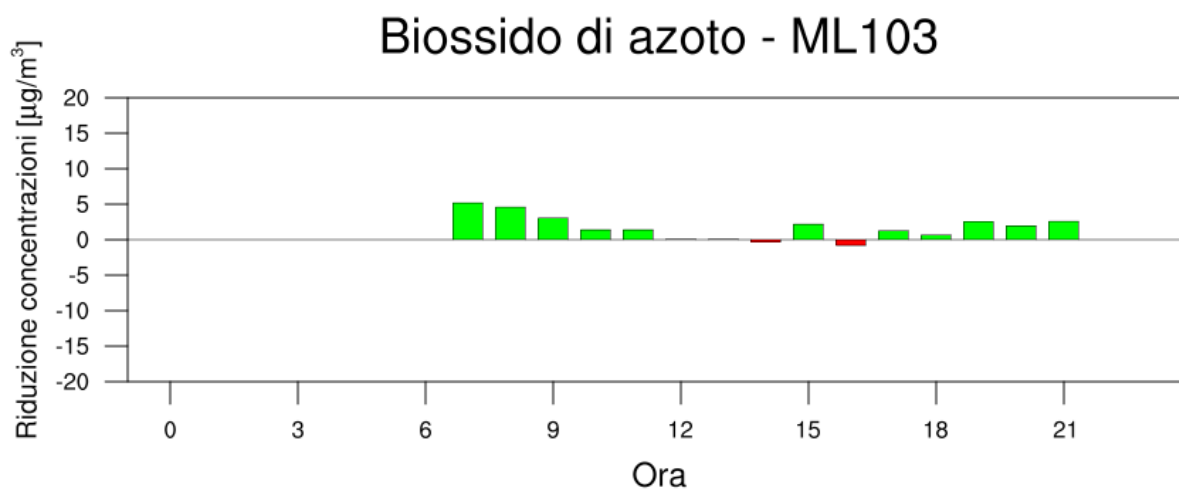


Figura 8: Benefici ambientali ottenuti durante i test di fase 2 alla stazione ML103 per quanto riguarda il biossido di azoto.

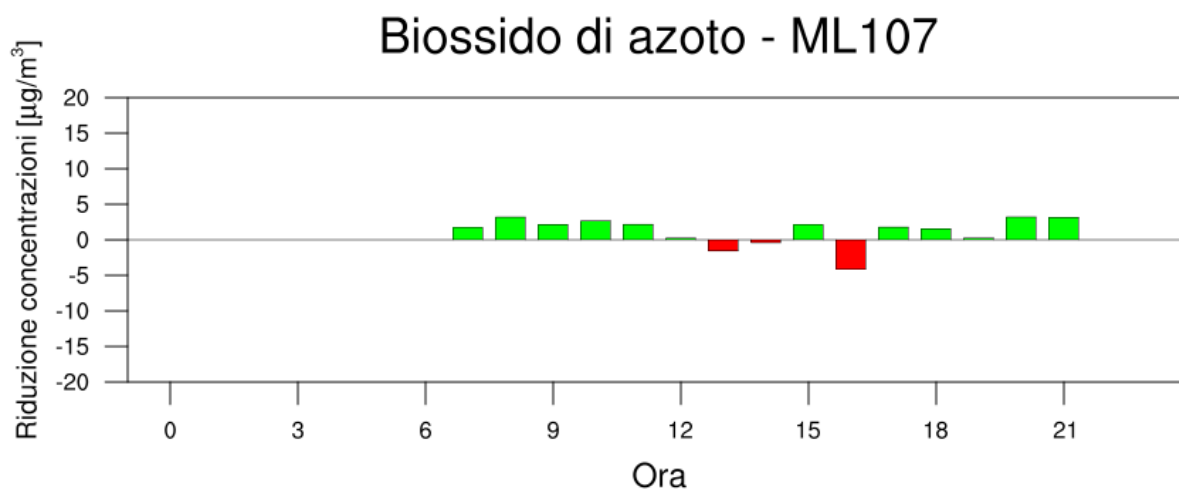


Figura 9: Benefici ambientali ottenuti durante i test di fase 2 alla stazione ML107 per quanto riguarda il biossido di azoto.

La diminuzione delle concentrazioni di ossidi di azoto misurata a bordo autostrada è coerente anche con il confronto tra le emissioni di queste specie nei test di fase 1 e di fase 2 e nelle giornate non interessate dai test di riduzione della velocità (Fig. 10). Si può notare chiaramente come le maggiori riduzioni di emissioni si siano ottenute durante i test di fase 1, mentre i test di fase 2 hanno fatto riscontrare una diminuzione delle emissioni di ossidi di azoto inferiore, ma comunque significativa.

Considerazioni analoghe possono essere fatte anche per le emissioni di biossido di carbonio, che mostrano un comportamento del tutto simile a quello delle emissioni di ossidi di azoto (Fig. 11).

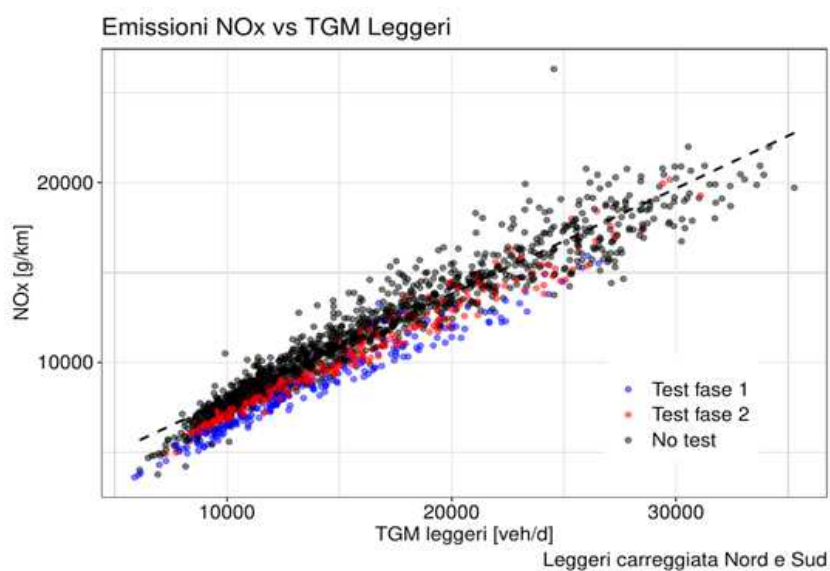


Figura 10: Emissioni di ossidi di azoto [g/km] in funzione del numero totale giornaliero di veicoli leggeri durante i test di fase 1 (punti blu), i test di fase 2 (punti rossi) e le giornate senza test (punti neri).

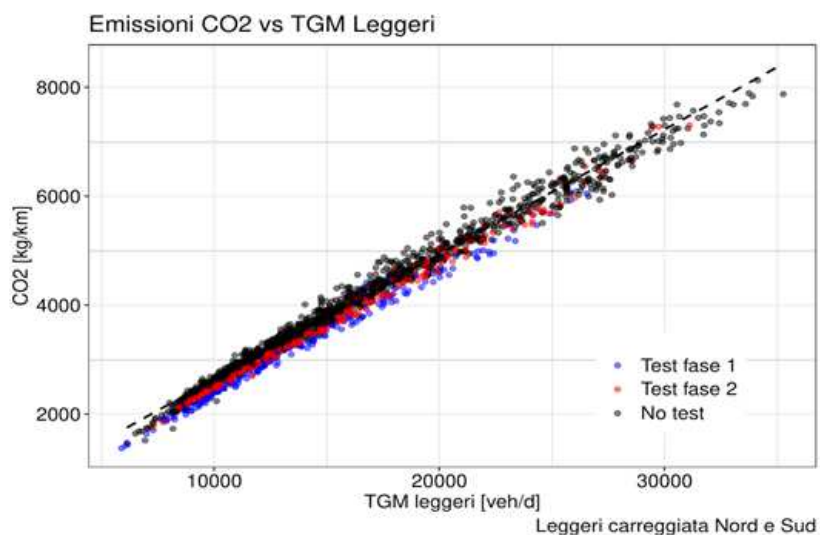


Figura 11: Emissioni di biossido di carbonio [g/km] in funzione del numero totale giornaliero di veicoli leggeri durante i test di fase 1 (punti blu), i test di fase 2 (punti rossi) e le giornate senza test (punti neri).



### 3.2. Applicazione dei limiti dinamici di velocità per fini viabilistici

Il secondo insieme di misure in corso di studio nell'ambito del progetto consiste nella sperimentazione dell'applicazione dei limiti dinamici di velocità in condizioni di traffico elevato, combinata con l'apertura temporanea della corsia di emergenza al traffico in condizioni di flusso quasi saturato. L'implementazione della misura in particolari condizioni di traffico intenso e di stop&go ha l'obiettivo di gestire il traffico in maniera ottimale al fine di aumentare la capacità autostradale, fluidificare il traffico e ottenere un beneficio sulla qualità dell'aria in termini di riduzione di emissioni di inquinanti. Il progetto prevede di testare queste misure sull'intera tratta sperimentale dell'autostrada A22, compreso tra le stazioni autostradali di Bolzano nord e Rovereto sud, che distano tra loro circa 90 km. Questo tratto di test è chiamato BLEC-ENV (Environment) [1]. Questa misura è applicata solamente in carreggiata sud.

#### 3.2.1 Organizzazione delle sessioni di test

Per la seconda fase si è deciso di mantenere come tratto per la sperimentazione delle misure la stessa porzione ridotta del tratto BLEC-ENV individuata durante la prima fase del progetto, ovvero quella a partire dalla stazione autostradale di Trento sud fino a quella di Rovereto sud, in modo da testare il nuovo sistema semi-automatico di gestione dei limiti di velocità su un tratto ridotto, per poi estenderne l'applicazione a tutto il percorso autostradale BLEC-ENV in una fase successiva, dopo averne verificato il corretto funzionamento. Il tratto Trento sud - Rovereto sud era stato scelto nella prima fase, in quanto dotato di una corsia di emergenza di maggiore larghezza e di una più fitta rete di pannelli a messaggio variabile (in media ogni 2-3 km), che consentono l'apertura temporanea della corsia di emergenza al traffico. L'area di test è caratterizzata dalla presenza di un sito completo di monitoraggio del traffico (spira induttiva) e della qualità dell'aria, posizionato al km 164+400, e di due spire induttive al km 138+100 ed al km 156+000.

Le sessioni di test della seconda fase si sono svolte da gennaio 2019 a settembre 2019. Sono state effettuate 77 giornate di test per un totale di 544 ore (Tabella 2).

Numero delle sessioni di test	77
Durante i venerdì	11
Durante i sabati	28
Durante le domeniche	25
Durante le festività e altre giornate di traffico intenso	13
Numero di ore di test	544 ore

Tabella 2: Riassunto delle sessioni di test con i limiti dinamici di velocità applicati a fini viabilistici.

I test sono stati stati eseguiti durante i fine settimana invernali, le festività primaverili e soprattutto durante i week-end di esodo estivo.

L'apertura temporanea della corsia di emergenza al traffico non è stata effettuata nella seconda fase per mettere a punto protocolli di sicurezza sufficientemente collaudati per la gestione delle operazioni di intervento in caso di incidente.

### 3.2.2 Rispetto dei limiti di velocità

La valutazione del rispetto dei limiti di velocità è stata effettuata considerando le giornate di test con traffico non prossimo alla saturazione. In altre parole, sono state considerate solo le situazioni ove si aveva la possibilità di viaggiare a velocità superiori al limite di velocità imposto, senza eccessivi condizionamenti da parte degli altri veicoli.



Figura 12: Limite di velocità esposto sui pannelli a messaggio variabile con associato il messaggio “tratta monitorata” sui PMV.





Durante la fase 1, all’inizio della sperimentazione, il pittogramma del limite di velocità era esposto sui PMV in associazione al messaggio “tratta monitorata” (Fig. 12) e la percentuale dei superamenti del limite di velocità in fase di test era stato del 30%, paragonabile a quello che si ha normalmente in autostrada in condizioni di flusso libero.

Successivamente, il pittogramma del limite di velocità non è stato più associato al messaggio “tratta monitorata”. Si attribuisce all’assenza di questo messaggio, unita all’abitudine da parte degli utenti all’esposizione dei limiti di velocità, il fatto che negli anni successivi la percentuale dei superamenti è andata via via aumentando, raggiungendo il 42% nel 2018 e il 54% in fase 2 nel 2019.

In generale è stato poi rilevato che, in condizioni di traffico più fluido, l’utenza rispetta meno i limiti: la percentuale dei superamenti nel periodo tra gennaio e maggio è del 62%, mentre nel periodo estivo, nel quale il traffico è più intenso, la percentuale dei superamenti scende al 49%.

### **3.2.3 Sistema semi-automatico di gestione dei limiti di velocità**

Nella prima fase l’applicazione dei limiti di velocità era gestita sulla base dell’esperienza degli operatori Centro Assistenza Utenti (CAU) di A22, che attivavano manualmente la riduzione dei limiti di velocità a 110 km/h, scendendo in alcuni casi fino a 100 e 90 km/h in caso di traffico particolarmente intenso.

Nella seconda fase l’intento è stato quello di standardizzare la gestione dei limiti di velocità, ideando e sperimentando un sistema di gestione semi-automatico, che, tramite un applicativo (Fig. 13), fornisse al CAU una misura continuativa del traffico e della sua evoluzione, con l’obiettivo di dare un’indicazione oggettiva, univoca e semplice da visualizzare, circa l’attivazione e la variazione dei limiti di velocità.

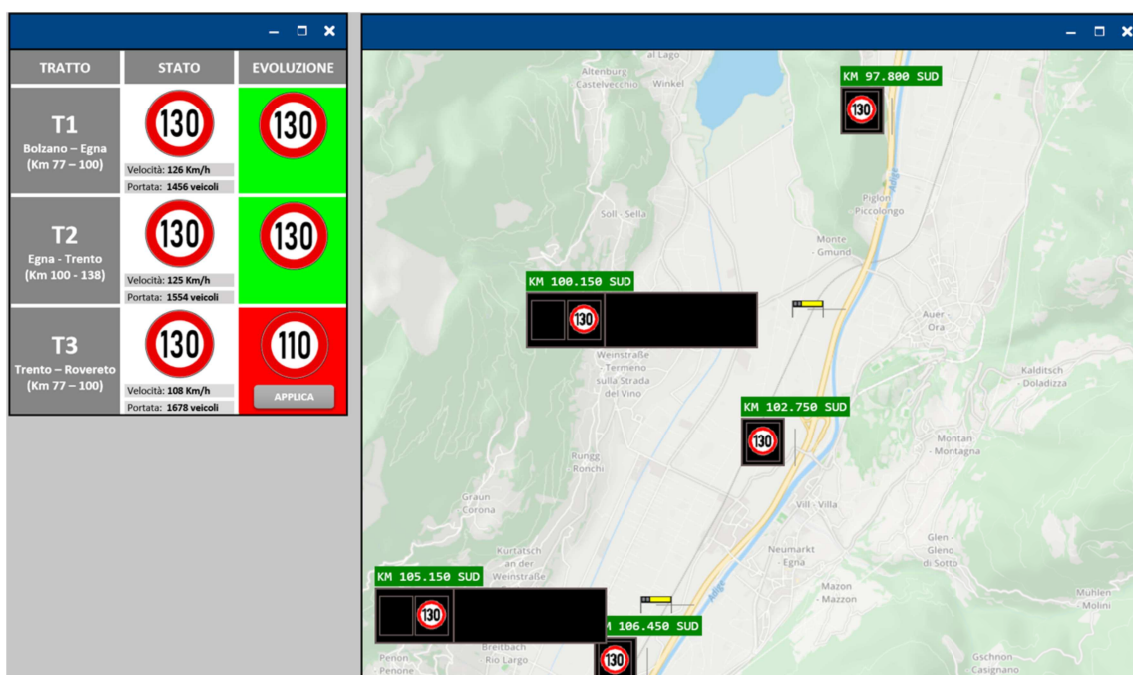


Figura 13: Interfaccia del sistema di gestione semi-automatica dei limiti di velocità.

Tale informazione è il risultato dell'elaborazione dei dati misurati dalle spire induttive posizionate lungo la tratta autostradale Trento sud - Rovereto sud ai km 138, 156 e 164, relativamente al numero di passaggi di veicoli e alla loro velocità. L'applicativo è stato fornito agli operatori del CAU a inizio estate 2019, in modo da avere da loro un feedback rispetto al funzionamento, per poi essere impiegato in modo sistematico dal 1° agosto 2019 esclusivamente su questa tratta. L'obiettivo è, una volta testato su questo tratto ridotto, di utilizzarlo su tutto il percorso BLEC-ENV, da Bolzano nord a Rovereto sud.

### 3.2.4 Valutazione dell'efficacia del sistema semi-automatico di gestione dei limiti di velocità dal punto di vista trasportistico- tempi di percorrenza

Al fine di valutare l'efficacia dal punto di vista trasportistico del sistema semi-automatico di gestione dei limiti di velocità implementato nella strumentazione del Centro Assistenza Utente, è stata effettuata un'analisi dei tempi di percorrenza dei veicoli leggeri nei fine settimana estivi (dal 29 giugno al 29 settembre 2019) dalla stazione di Trento centro a quella di Rovereto sud (poco più di 32 km).

Sono state analizzate in totale 28 giornate, in 17 delle quali è stata operata la riduzione dei limiti di velocità suggerita dal sistema semi-automatico di gestione del traffico. Nelle restanti 11 giornate invece il sistema semi-automatico non è stato utilizzato.

Mediamente nella tratta di test sono transitati più di 35000 veicoli al giorno (dai 24000 del 28 settembre ai 42000 del 24 agosto), di cui l'80% concentrato nella fascia oraria tra le ore 8 e le ore 20,

con punte orarie di più di 3000 veicoli/ora. Come si può notare in Figura 14, il volume di veicoli leggeri transitato nelle giornate nelle quali è stato utilizzato il sistema semi-automatico di gestione del traffico è simile a quello presente nelle rimanenti giornate.

In condizioni di flusso libero il tempo medio teorico di percorrenza del tratto tra la stazione di Trento centro e la stazione di Rovereto sud è di 20 minuti. Si è riscontrato che, nelle giornate con flussi di traffico elevati nelle quali è stata applicata la riduzione dinamica della velocità suggerita dal sistema semi-automatico di gestione del traffico, i tempi di percorrenza nella fascia oraria 8-20 sono stati di 24 minuti, con velocità medie di 82 km/h. Nella stessa fascia oraria 8-20, non utilizzando il sistema semi-automatico di gestione dinamica delle velocità, sono stati invece registrati tempi medi di percorrenza di 28 minuti, con velocità medie di 73 km/h.

		<b>NO</b>	<b>SI</b>	<b>confronto</b>
test con il sistema semi-automatico di gestione		<b>11</b>	<b>17</b>	
numero medio veicoli transitati nella fascia 0-24		<b>34.540</b>	<b>36.296</b>	<b>+ 5%</b>
numero medio veicoli transitati nella fascia 8-20		<b>27.299</b>	<b>27.958</b>	<b>+ 2%</b>
% veicoli transitati nella fascia 8-20		<b>77%</b>	<b>80%</b>	
tempo (min) medio di percorrenza tratto Trento c. - Rovereto s. nella fascia 8-20		<b>28</b>	<b>24</b>	<b>- 13%</b>
velocità (Km/h) media		<b>73</b>	<b>82</b>	<b>+ 13%</b>
durata turbative al traffico (ore)		<b>7</b>	<b>5</b>	<b>- 25%</b>
tempo (min) medio teorico di percorrenza tratto Trento c. - Rovereto s.		<b>20</b>	<b>20</b>	
differenza (min) tra tempo medio registrato nella fascia 8-20 e tempo teorico		<b>+ 8</b>	<b>+ 4</b>	
differenza (%) tra tempo medio registrato nella fascia 8-20 e tempo teorico		<b>+ 40%</b>	<b>+ 21%</b>	<b>- 46%</b>

Figura 14: Confronto dei tempi di percorrenza nel tratto Trento centro- Rovereto sud in giornate con e senza il sistema semi-automatico di gestione dei limiti di velocità.



In Figura 15 viene proposto il confronto dei tempi di percorrenza tra una giornata in cui si è utilizzato il sistema semi-automatico di gestione delle velocità (10 agosto) ed una in cui non è stato utilizzato (21 luglio). Nella giornata del 10 agosto, in cui ci si è avvalsi del sistema semi-automatico di gestione del traffico, nonostante il maggior numero di veicoli transitanti sia nell'arco della giornata (39656 veicoli transitati, 7% in più rispetto alla giornata del 21 luglio) sia nella fascia oraria 8-20 (30114 transiti, 5% in più del 21 luglio) il tempo di percorrenza medio è risultato inferiore del 34% (23 minuti contro 35) e conseguentemente la velocità media più alta del 47% (81 km/h contro 55 km/h).

Una sintesi degli indicatori viabilistici relativi a tutte le giornate di test analizzate è proposto in Tabella 3.








	dom 21/07/2019	sab 10/08/2019	confronto
test con il sistema semi-automatico di gestione 	<b>NO</b>	<b>SI</b>	
numero veicoli transitati nella fascia 0-24 	<b>37.216</b>	<b>39.656</b>	<b>+ 7%</b>
numero veicoli transitati nella fascia 8-20 	<b>28.785</b>	<b>30.114</b>	<b>+ 5%</b>
tempo (min) medio di percorrenza tratto Trento c. - Rovereto s. nella fascia 8-20 	<b>35</b>	<b>23</b>	<b>- 34%</b>
velocità (Km/h) media 	<b>55</b>	<b>81</b>	<b>+ 47%</b>
durata turbative al traffico (ore) 	<b>9</b>	<b>7</b>	<b>- 22%</b>
tempo (min) medio teorico di percorrenza tratto Trento c. - Rovereto s. 	<b>20</b>	<b>20</b>	
differenza (min) tra tempo medio registrato nella fascia 8-20 e tempo teorico	<b>+ 15</b>	<b>+ 3</b>	
differenza (%) tra tempo medio registrato nella fascia 8-20 e tempo teorico	<b>+ 75%</b>	<b>+ 15%</b>	<b>- 80%</b>

Figura 15: Confronto dei tempi di percorrenza nel tratto Trento centro- Rovereto sud nella giornata del 21/07/2019 (senza sistema semi-automatico di gestione del traffico) e nella giornata del 10/08/2019 (con sistema semi-automatico di gestione del traffico).

**Test SENZA il sistema semi-automatico di gestione 21 luglio 2019**

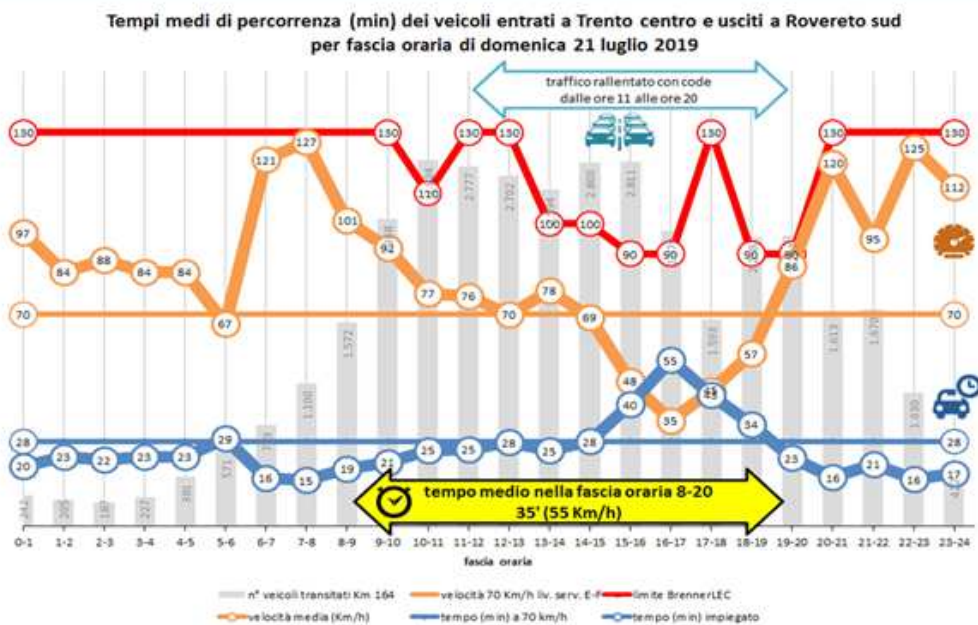


Figura 16: Riassunto delle principali variabili trasportistiche rilevate il 21 luglio 2019.

**Test CON il sistema semi-automatico di gestione 10 agosto 2019**

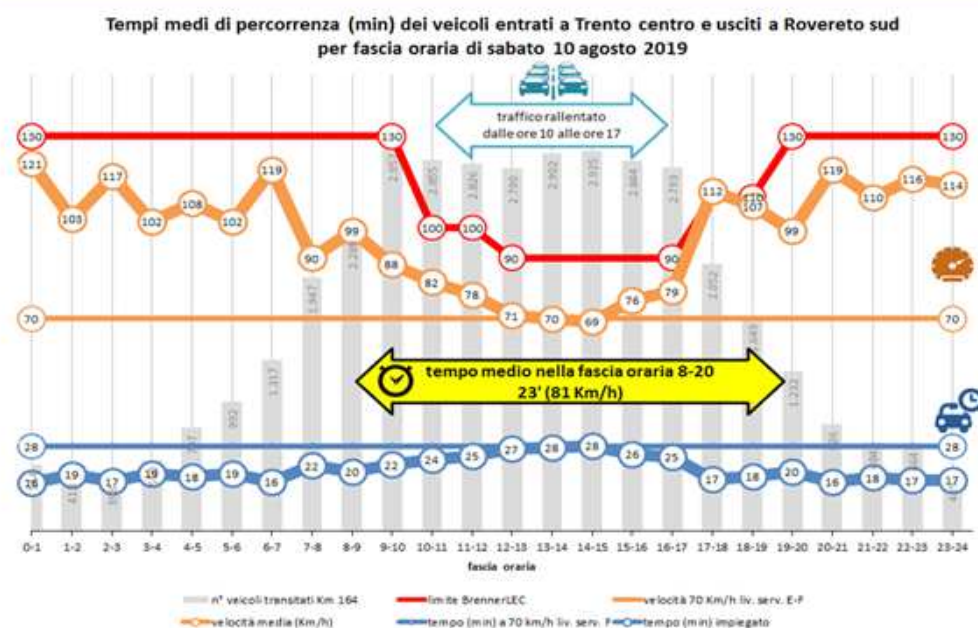


Figura 17: Riassunto delle principali variabili trasportistiche rilevate il 10 agosto 2019.



data	test con il sistema semi automatico di gestione	numero veicoli transitati nella fascia 0-24	numero veicoli transitati nella fascia 8-20	%veicoli transitati nella fascia 8-20	tempo (min) medio di percorrenza tratto Trento c. Rovereto s. nella fascia 8-20	velocità (km/h) media	durata turbative al traffico (ore)	tempo (min) medio teorico di percorrenza tratto Trento c. Rovereto s.	differenza (min) tra tempo medio registrato nella fascia 8-20 e tempo teorico	differenza (%) tra tempo medio registrato nella fascia 8-20 e tempo teorico	n° ore con tempo di percorrenza > 28 min	massimo tempo (min) orario medio di percorrenza
sa b 29/06/2019	NO	32.175	23.678	74%	21	92	0	20	1	5%	0	23
dom 30/06/2019	NO	36.791	28.121	76%	20	97	4	20	4	0%	0	24
sa b 06/07/2019	SI	34.937	26.220	75%	21	92	4	20	1	5%	0	24
dom 07/07/2019	NO	37.376	29.395	79%	23	78	7	20	5	25%	4	41
sa b 13/07/2019	NO	38.335	29.410	77%	23	84	8	20	3	15%	2	42
dom 14/07/2019	NO	39.323	31.052	79%	23	78	11	20	3	25%	4	41
sa b 20/07/2019	SI	37.504	28.956	77%	23	77	9	20	5	25%	3	35
dom 21/07/2019	NO	37.216	28.785	77%	23	55	9	20	15	75%	4	35
sa b 27/07/2019	NO	38.188	28.436	74%	23	77	4	20	3	25%	4	35
dom 28/07/2019	NO	34.217	27.066	79%	23	77	8	20	5	25%	6	40
sa b 03/08/2019	SI	35.950	26.808	75%	20	97	6	20	0	0%	0	26
dom 04/08/2019	SI	35.384	26.841	76%	24	81	4	20	4	20%	3	45
sa b 10/08/2019	SI	39.656	30.114	76%	23	81	7	20	3	15%	0	28
dom 11/08/2019	SI	34.417	27.406	80%	21	92	4	20	1	5%	0	24
sa b 17/08/2019	SI	41.109	30.154	73%	23	55	9	20	13	75%	9	32
dom 18/08/2019	SI	39.138	30.003	77%	21	63	7	20	11	55%	8	44
sa b 24/08/2019	NO	42.101	29.598	70%	43	45	10	20	23	115%	9	63
dom 25/08/2019	SI	39.838	30.618	77%	20	65	9	20	10	50%	7	36
sa b 31/08/2019	SI	38.184	29.312	77%	27	72	9	20	7	35%	6	51
dom 01/09/2019	SI	38.672	31.632	82%	23	78	3	20	5	25%	3	36
sa b 07/09/2019	SI	33.489	27.530	83%	23	84	5	20	3	15%	2	30
dom 08/09/2019	SI	30.944	26.434	85%	29	67	6	20	9	45%	7	46
sa b 14/09/2019	NO	31.262	25.679	82%	21	92	4	20	1	5%	0	27
dom 15/09/2019	NO	32.276	26.329	82%	24	81	7	20	4	20%	3	35
sa b 21/09/2019	SI	25.193	20.646	82%	19	102	0	20	1	5%	0	21
dom 22/09/2019	SI	29.850	26.005	87%	20	97	0	20	0	0%	0	24
sa b 28/09/2019	SI	24.122	20.102	83%	20	97	0	20	0	0%	0	22
dom 29/09/2019	SI	28.780	25.206	88%	20	97	2	20	0	0%	0	26

Tabella 3: Sintesi degli indicatori viabilistici relativi al tratto autostradale compreso tra Trento centro e Rovereto sud misurati nelle giornate di test eseguite in condizioni di traffico intenso tra il 29 giugno 2019 e il 29 settembre 2019.

### 3.2.5 Valutazione dell'efficacia del sistema semi-automatico di gestione dei limiti di velocità dal punto di vista trasportistico- andamento della velocità

Per valutare nel dettaglio l'efficacia del sistema semi-automatico di gestione del traffico sulle velocità medie, sono stati analizzati più accuratamente i dati misurati dalle spire comprese nel tratto BLEC-ENV interessato dalla sperimentazione e relativi ai singoli passaggi di veicoli leggeri. In particolare, i singoli passaggi sono stati aggregati temporalmente a 1 minuto e per ciascun minuto sono stati calcolati i parametri medi come la velocità dei veicoli leggeri, il numero di veicoli transitati, il livello di servizio e la deviazione standard della velocità.

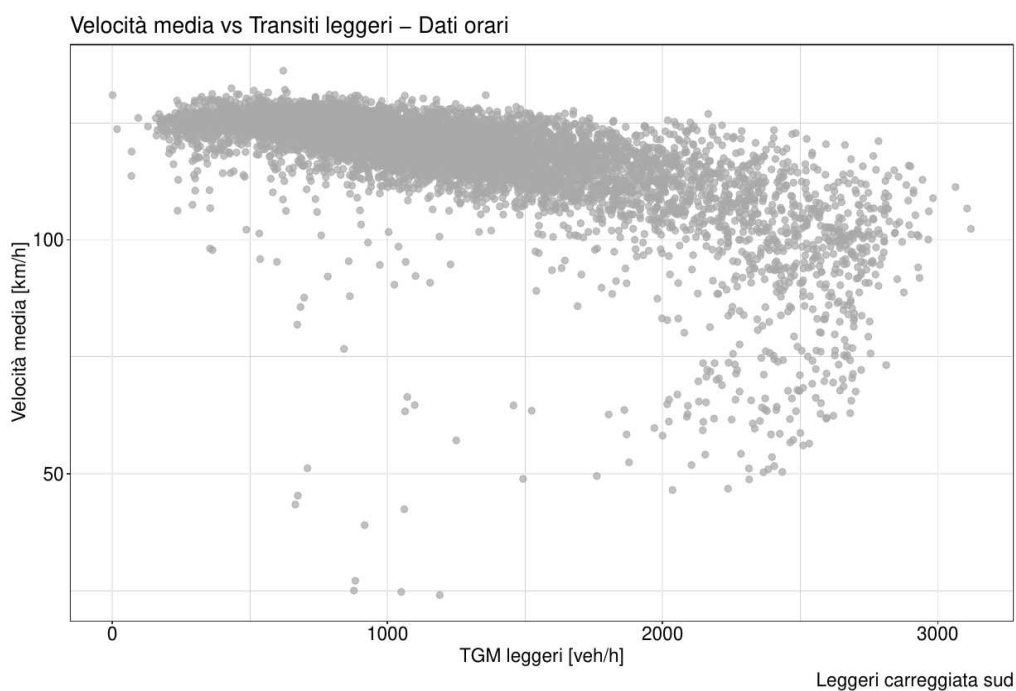
Successivamente si è provveduto ad aggregare i dati su base oraria, considerando tutte le giornate con test e senza test e isolando le ore comprese nella fascia oraria dalle 7 alle 21, in cui transita la maggior



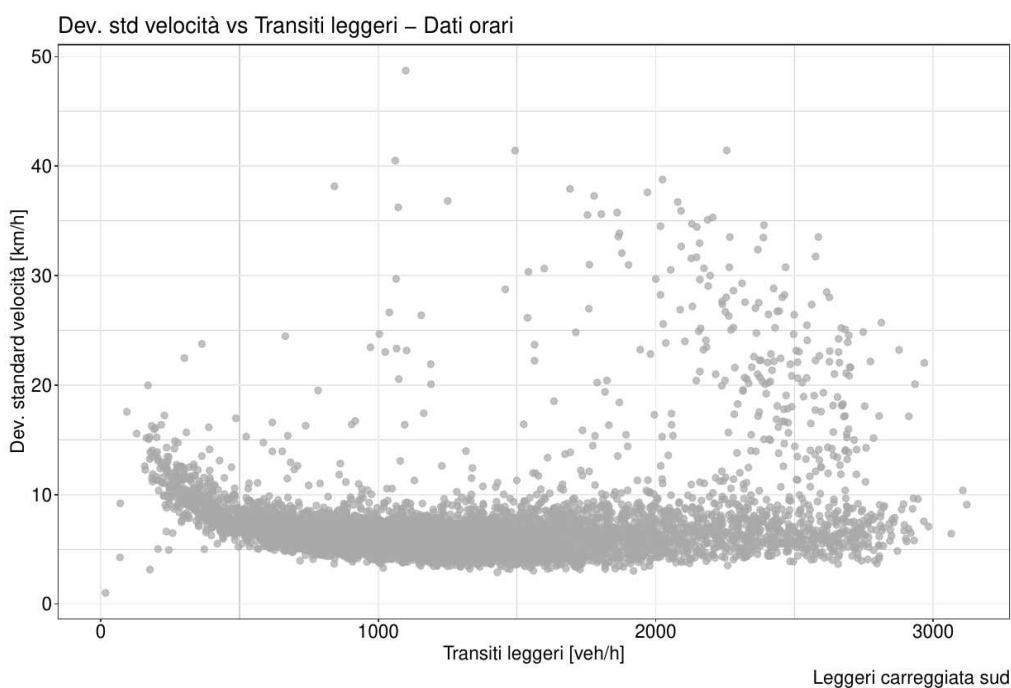
parte dei veicoli e in cui solitamente si concentrano tutte le condizioni di traffico intenso. In Figura 18 sono riportati i valori orari di velocità media e i transiti di veicoli leggeri presso la spira al km 164, misurati a partire dal 18/04/2018 nella fascia oraria 7-21. Ciascun punto corrisponde a una singola ora.

Si può notare come più elevati sono i transiti orari, più basse risultano essere le velocità medie registrate.

In Figura 19 sono invece riportati i valori orari di deviazione standard della velocità e i transiti di veicoli leggeri, sempre misurati presso la spira al km 164. In questo caso si osserva come in alcune ore si sono registrati valori molto elevati di deviazione standard della velocità, evidenziando come in condizioni di traffico intenso la velocità sia molto disomogenea con continue variazioni dovute a fenomeni di stop&go.



**Figura 18: Grafico dei dati orari di velocità media e del numero di transiti di veicoli leggeri misurati presso la spira al km 164 dal 18/04/2018.**



**Figura 19: Grafico dei dati orari di deviazione standard della velocità e del numero di transiti di veicoli leggeri misurati presso la spira al km 164 dal 18/04/2018.**

Nelle Figure 20-23 sono evidenziati i dati orari relativi alle due giornate esaminate precedentemente, in cui sono stati calcolati i tempi di percorrenza medi. Nel primo caso (21/07/2019, senza sistema semi-automatico di gestione del traffico) si può notare come le ore 11 e le ore comprese tra le 16 e le 19 siano caratterizzate da velocità medie molto basse, a parità di veicoli transitati. Se si guarda l'andamento temporale di velocità e flussi di traffico riportati in Figura 24 si vede che gli episodi di maggiore congestione del traffico si sono verificati proprio alle 11 e dalle 16 alle 19. Queste ore sono quelle in cui la deviazione standard della velocità è maggiore, perché al fenomeno di congestionamento del traffico è associato il verificarsi di episodi di stop&go.



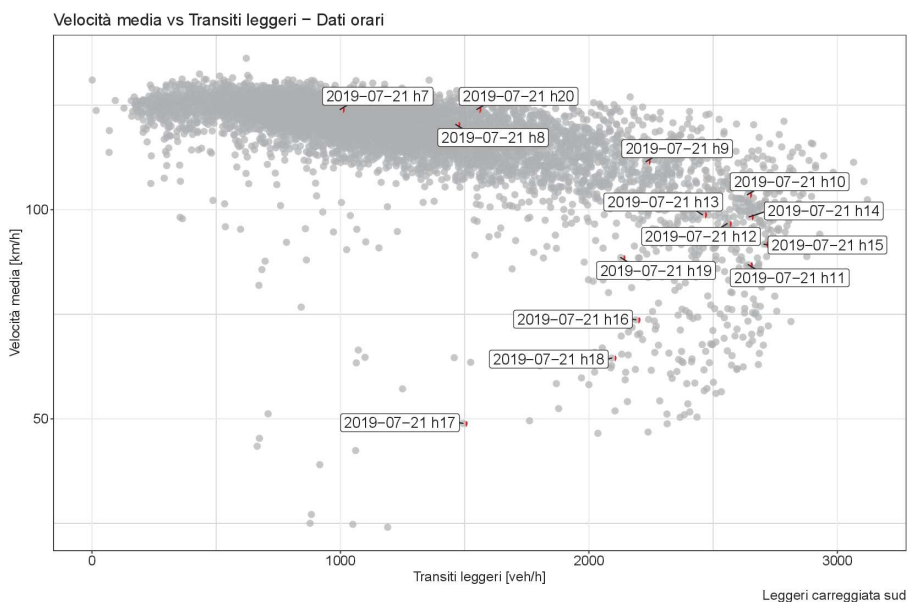


Figura 20: Grafico dei dati orari di velocità media e del numero di transiti di veicoli leggeri misurati presso la spirale al km 164 dal 18/04/2018 in cui sono evidenziate le ore relative alla giornata del 21/07/2019.

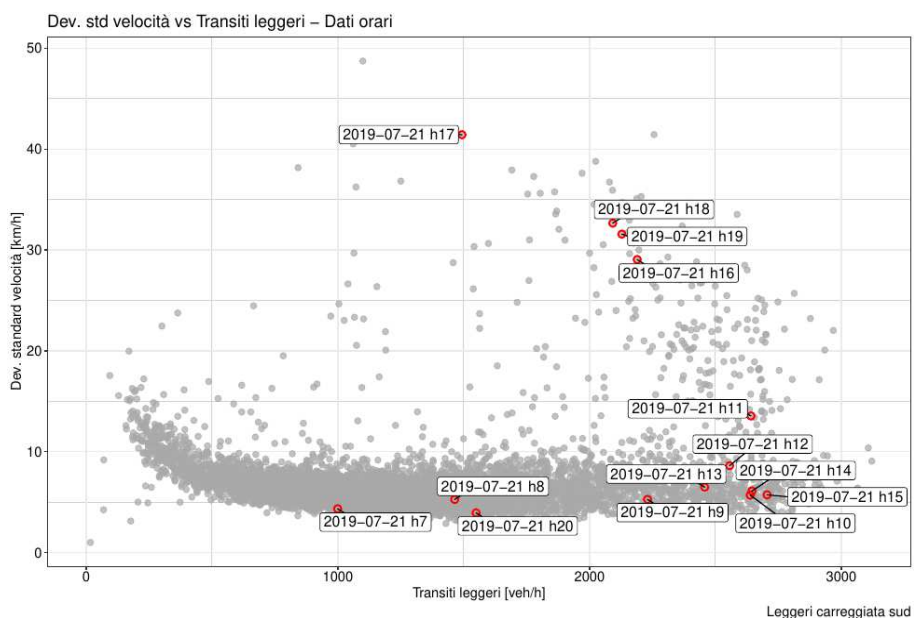


Figura 21: Grafico dei dati orari di deviazione standard della velocità e del numero di transiti di veicoli leggeri



misurati presso la spira al km 164 dal 18/04/2018 in cui sono evidenziate le ore relative alla giornata del 21/07/2019.

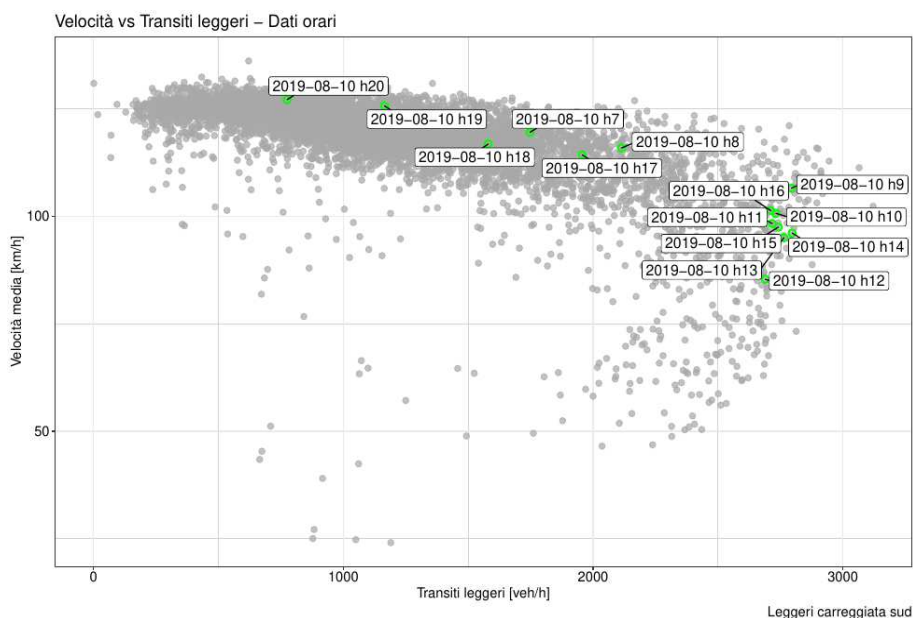


Figura 22: Grafico dei dati orari di velocità media e del numero di transiti di veicoli leggeri misurati presso la spira al km 164 dal 18/04/2018 in cui sono evidenziate le ore relative alla giornata del 10/08/2019.

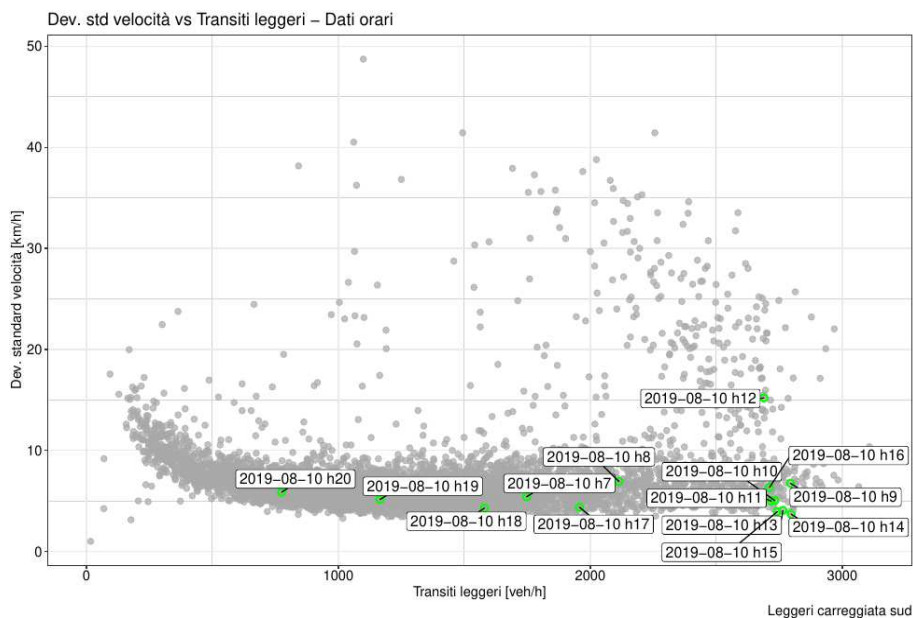


Figura 23: Grafico dei dati orari di deviazione standard della velocità e del numero di transiti di veicoli leggeri



**misurati presso la spira al km 164 dal 18/04/2018 in cui sono evidenziate le ore relative alla giornata del 10/08/2019.**

Nel secondo caso, relativo al giorno 10/08/2019 (con sistema semi-automatico di gestione del traffico) e riportato in Figura 22 e in Figura 23, si può notare come si sia verificato un rallentamento del traffico attorno alle ore 12, mentre nel resto della giornata le velocità medie si siano mantenute comunque sempre piuttosto elevate, compatibilmente con il traffico molto elevato. Anche in questo caso, se si guarda all'andamento temporale di velocità e flussi di traffico riportato in Figura 25, si vede che l'episodio di maggiore rallentamento del traffico si è verificato intorno alle 12, ma che globalmente le velocità sono rimaste abbastanza elevate durante tutta la giornata.

Queste analisi confermano quanto evidenziato dal calcolo dei tempi di percorrenza media e consentono di valutare in quali e quante ore di ciascuna giornata si siano verificati fenomeni di congestionamento del traffico con abbassamento delle velocità ed episodi di stop&go, che comportano conseguentemente anche maggiori tempi di percorrenza e maggiori emissioni di inquinanti.

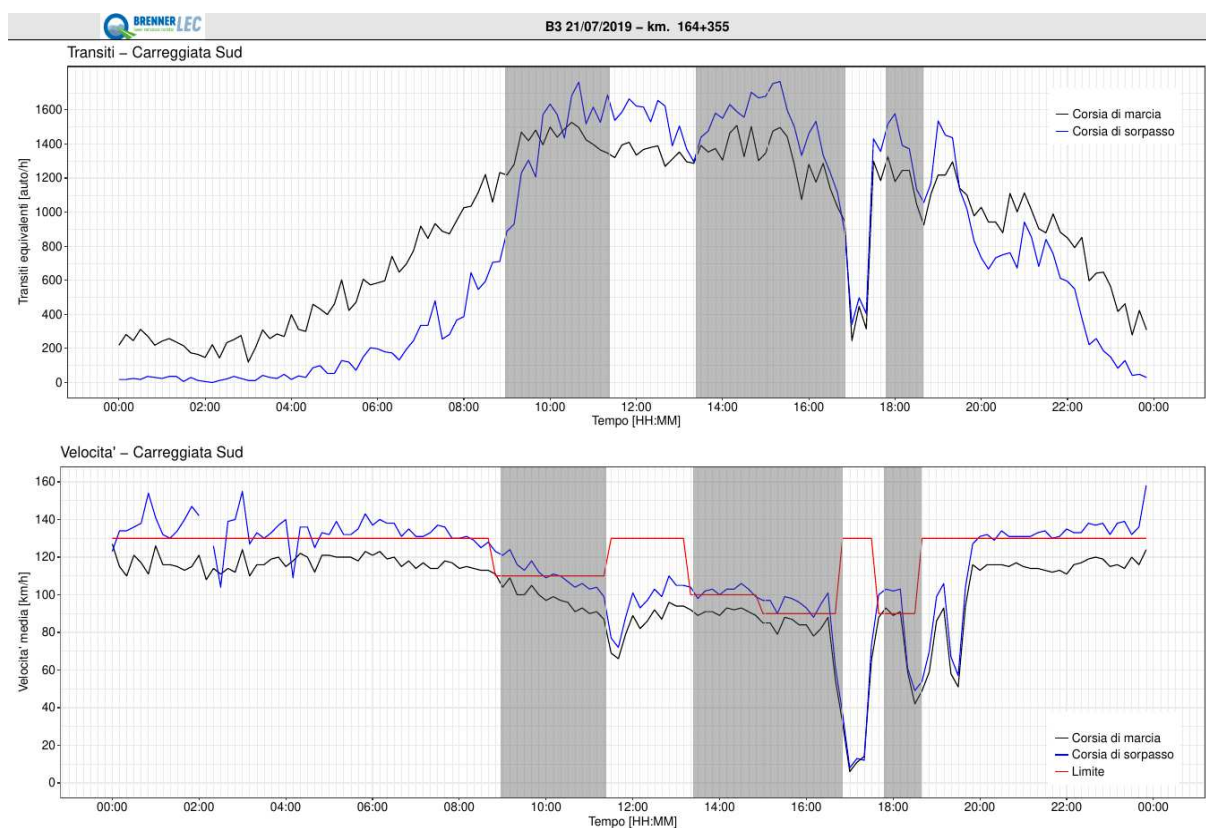


Figura 24: Andamento temporale dei transiti di veicoli leggeri e delle velocità medie presso la spira al km 164 nella giornata del 21/07/2019.



Figura 25: Andamento temporale dei transiti di veicoli leggeri e delle velocità medie misurati presso la spira al km 164 nella giornata del 10/08/2019.

### 3.2.6 Valutazione dell'efficacia del sistema semi-automatico di gestione dei limiti di velocità dal punto di vista trasportistico- classificazione delle giornate di traffico

A partire dal 18/04/2018 è stato calcolato per ciascuna giornata il numero di ore con un transito di veicoli leggeri superiore a 2000 veicoli l'ora, cioè quelle caratterizzate da elevato traffico. Inoltre si è calcolato quante di queste ore sono state caratterizzate da un valore di deviazione standard della velocità superiore a 10 km/h, un valore di soglia individuato sulla base dei dati rilevati dalla spira che bene identifica le situazioni di traffico rallentato con presenza di fenomeni di stop&go. Sulla base di questi due parametri, si è calcolato un indice sintetico di congestionamento del traffico, definito sulla base del rapporto:

$$\text{Indice congest.} = \frac{n. \text{ ore con veh. leggeri} > 2000 \text{ veh/h e dev. std} > 10 \text{ km/h}}{n. \text{ ore con veh. leggeri} > 2000 \text{ veh/h}}$$

Si è quindi classificato il comportamento medio del traffico giornaliero sulla base del valore di questo indice:

- indice congestione compreso tra 0% e 20% → Buono
- indice congestione compreso tra 20% e 40% → Discreto
- indice congestione compreso tra 40% e 60% → Medio
- indice congestione compreso tra 60% e 80% → Intenso
- indice congestione compreso tra 80% e 100% → Congestionato

Il risultato di questa classificazione è riassunto nelle Figure 26 e 27.

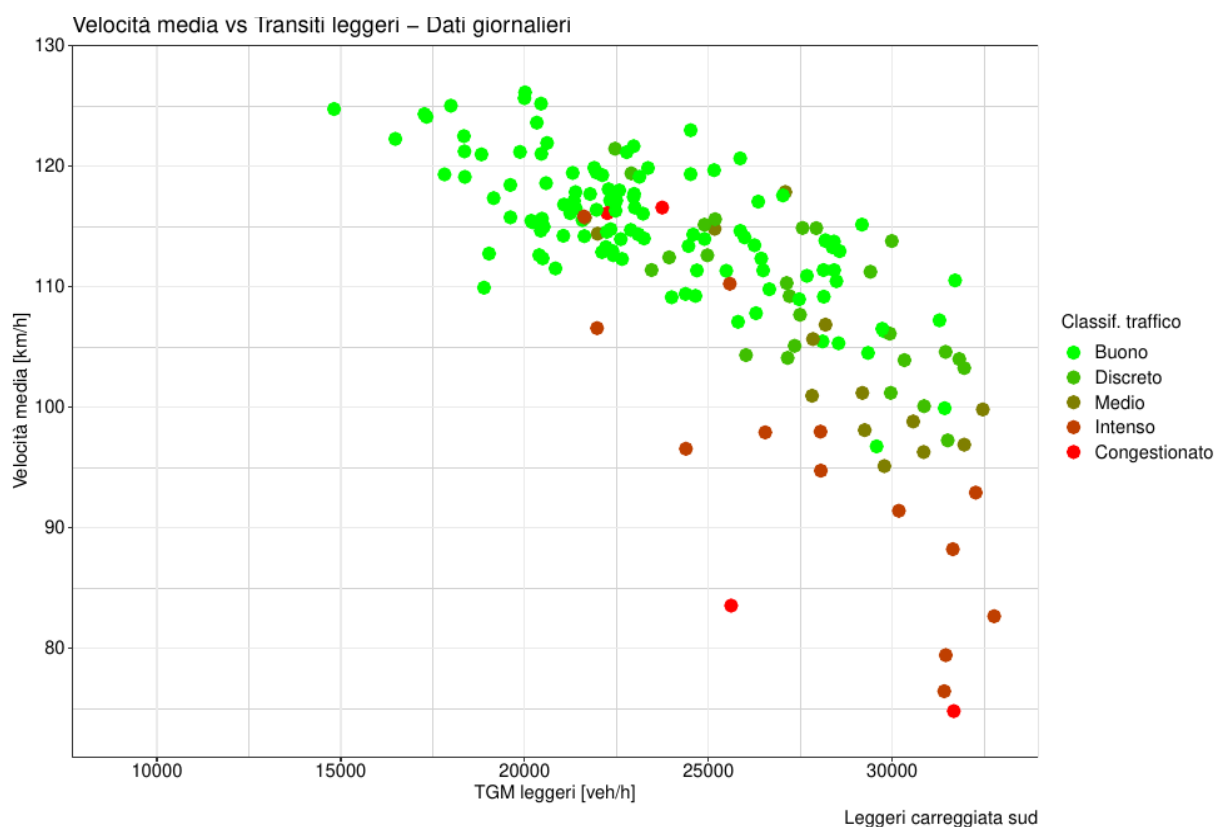


Figura 26: Classificazione del traffico, velocità media e numero di transiti di veicoli leggeri misurati presso la spirale al km 164 dal 18/04/2018 - valori medi giornalieri.

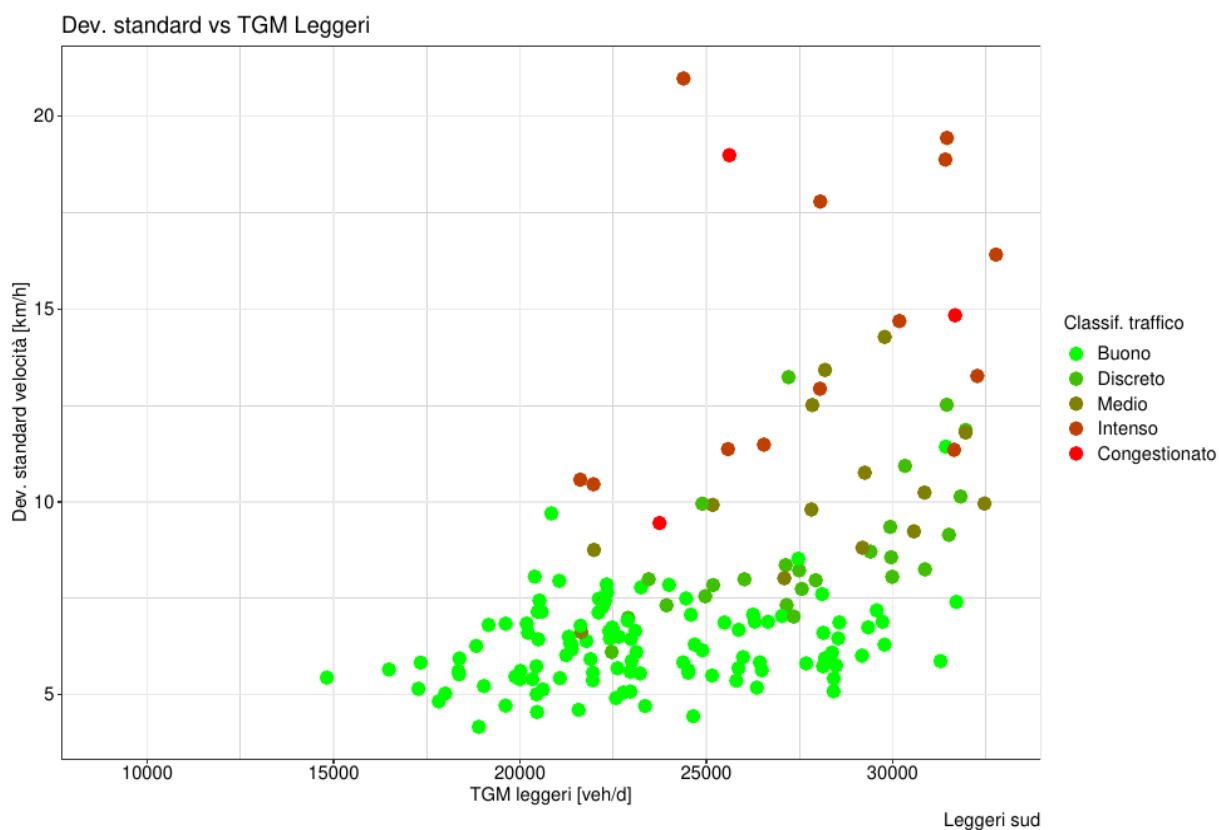
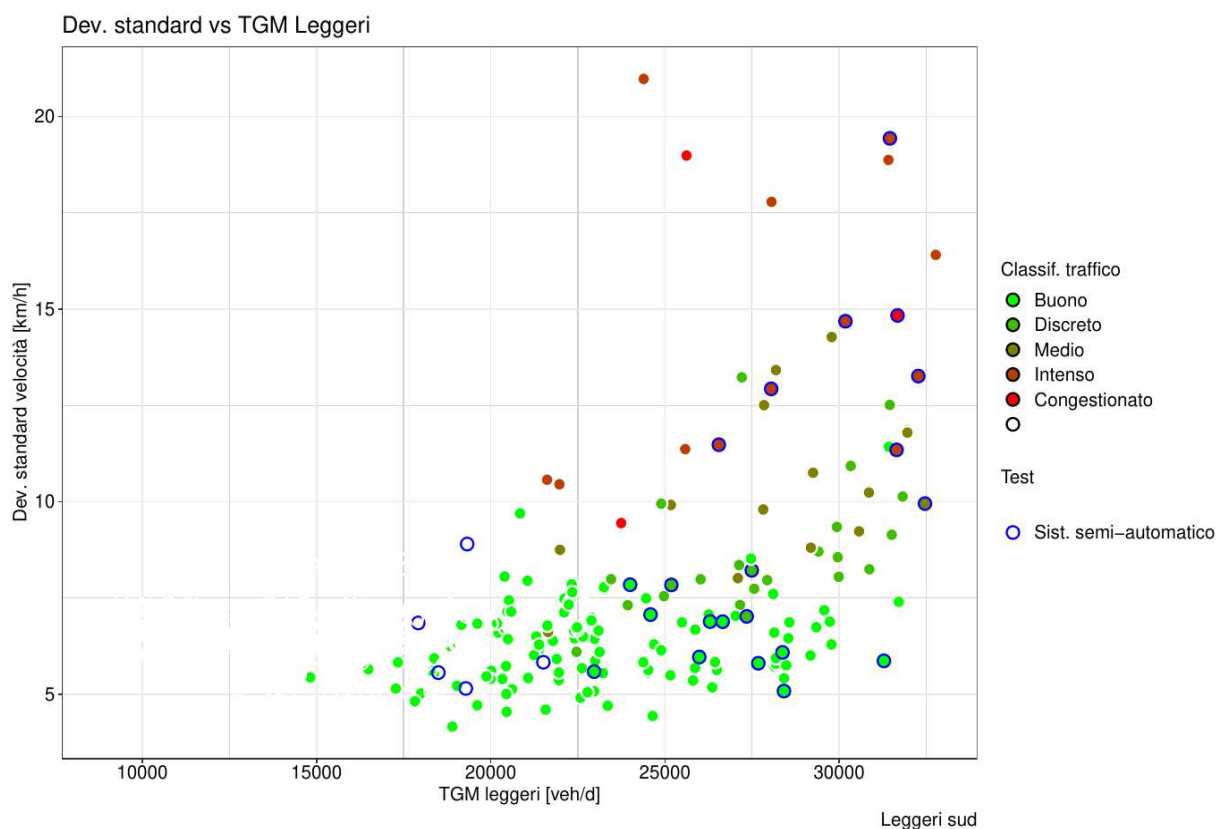


Figura 27: Classificazione del traffico, deviazione standard della velocità e numero di transiti di veicoli leggeri misurati presso la spira al km 164 dal 18/04/2018- valori medi giornalieri.

Come si può osservare, le giornate con maggiore traffico tendenzialmente sono caratterizzate da minore velocità media, maggiore deviazione standard della velocità e maggiore congestionamento del traffico; in alcuni casi però si hanno giornate di traffico intenso o congestionato anche quando il numero totale di veicoli leggeri non è troppo elevato; in questi casi si tratta di episodi di traffico che non riguardano l'intera giornata, ma solo poche ore in cui però l'elevato afflusso non è stato smaltito in modo fluido, ma ha determinato condizioni di traffico rallentato.



**Figura 28: Classificazione del traffico, deviazione standard della velocità, numero di transiti di veicoli leggeri misurati presso la spira al km 164 dal 18/04/2018 e presenza del sistema semi-automatico- valori medi giornalieri.**

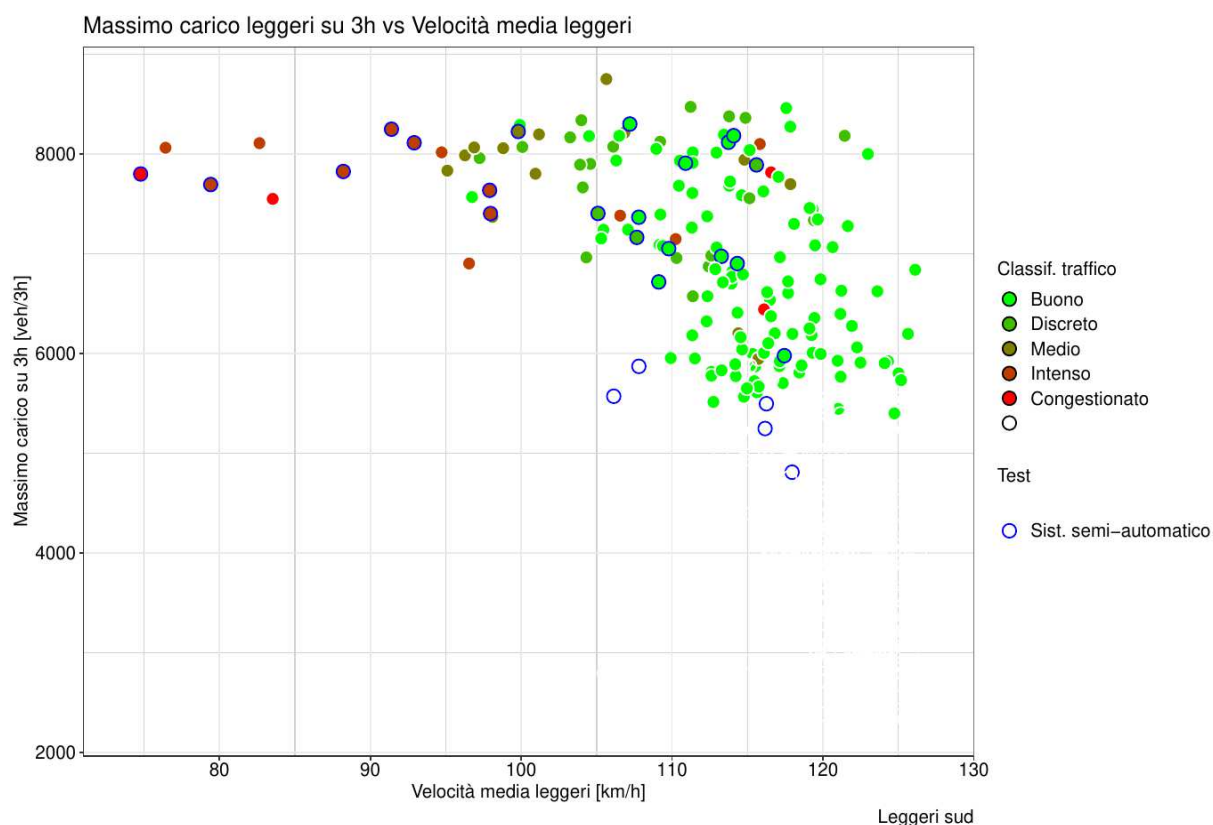
In Figura 28 è riportata la stessa classificazione presentata in Figura 27, ma sono evidenziate anche le giornate in cui era in funzione il sistema semi-automatico di gestione della velocità dinamica. Come si può notare, per molte di queste giornate il traffico si è mantenuto per lo più fluido nonostante la portata intensa di veicoli; in altre giornate invece è risultato congestionato o comunque intenso.

Le variabili che influenzano il traffico sono del resto molteplici, prima fra tutte la curva di carico che porta a un determinato traffico giornaliero; importanti possono essere anche fattori molto casuali come ad esempio il comportamento dell'automobilista, che cambia a seconda della composizione del traffico.

Per evidenziare il ruolo della curva di carico e del modo in cui si concentrano i veicoli nel corso della giornata, è stato calcolato per ciascuna giornata il massimo valore dei transiti di veicoli leggeri su tre ore consecutive. Come si vede dal grafico riportato in Figura 29, a parità di massimo carico registrato, si sono verificate condizioni di velocità media molto differenti, diversamente da quanto ci si potrebbe



aspettare. Esistono giornate cioè con una curva di carico molto simile che mostrano però un comportamento molto diverso in termini di fluidità del traffico, proprio perché i fenomeni che condizionano il traffico possono essere molteplici e non sempre sono prevedibili o gestibili.



**Figura 29: Classificazione del traffico, massimo carico di veicoli leggeri su tre ore e numero totale di transiti di veicoli leggeri misurati presso la spira al km 164 dal 18/04/2018 e presenza del sistema semi-automatico- valori giornalieri.**

L'utilizzo di un sistema semi-automatico per la gestione dei limiti dinamici di velocità riveste dunque un'elevata importanza, perché regolando i limiti di velocità a seconda del traffico tende a rendere più omogenea le velocità dei singoli veicoli e a ridurre la probabilità che si verifichino fenomeni di turbativa.

L'analisi futura di ciascuna giornata cercherà proprio di mettere in evidenza quanto un sistema di gestione semi-automatica della velocità sia in grado, sul medio/lungo periodo, di ridurre il verificarsi di questi episodi, mantenendo al contrario velocità maggiori e quindi una maggiore fluidificazione del traffico.

### 3.2.7 Valutazione dell'efficacia del sistema semi-automatico di gestione dei limiti di velocità dal punto di vista delle emissioni di inquinanti

In Figura 30 e in Figura 31 vengono riportate le emissioni di biossido di carbonio e di ossidi di azoto nelle varie giornate di test effettuate dall'inizio della sperimentazione nel 2017 fino a settembre 2019. Tali emissioni sono relative ai soli veicoli leggeri per chilometro percorso. Il buffer grigio lungo la curva di tendenza rappresenta l'area del grafico dove si avrebbero le migliori condizioni dal punto di vista emissivo in funzione della velocità media giornaliera, calcolate facendo riferimento alla stima delle emissioni del parco auto circolante dei veicoli leggeri.

Prendendo sempre ad esempio le due giornate di test analizzate precedentemente, si può notare che il giorno 21 luglio 2019 (punto rosso nei grafici) le emissioni sono state superiori a quelle che si avrebbero in condizioni ottimali di traffico per quella velocità. Le emissioni nel giorno 10 agosto 2019 (punto verde nei grafici), nel quale era attivo il sistema di gestione semi-automatico dei limiti di velocità, sono invece più vicine al buffer grigio e quindi alle condizioni ottimali, evidenziando come la fluidificazione del traffico e la riduzione delle situazioni di stop&go possa avere un effetto positivo anche per quanto riguarda le emissioni da parte dei veicoli.

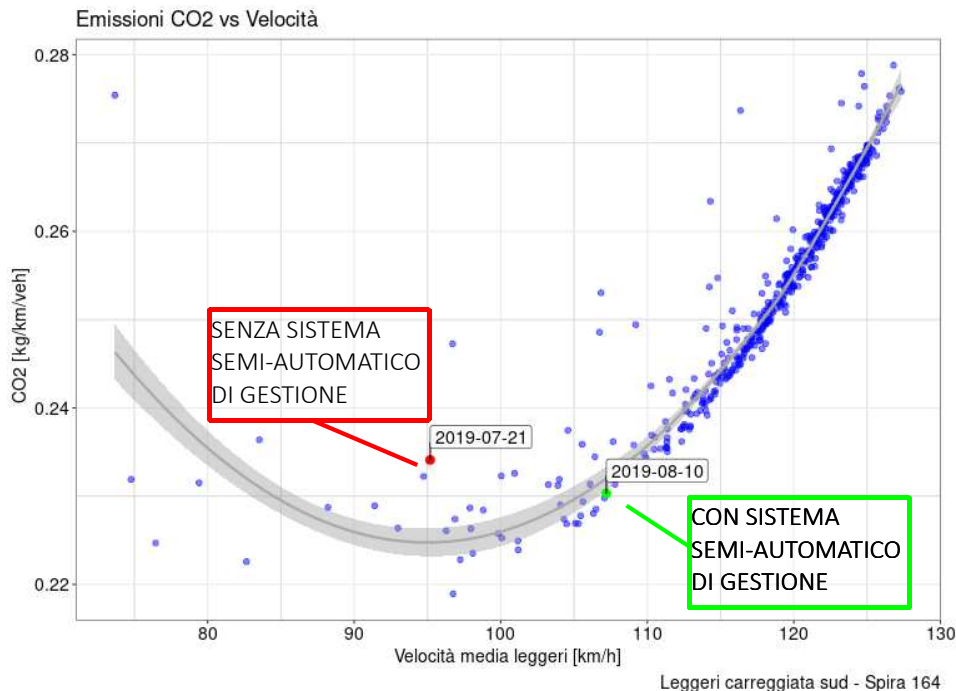


Figura 30: Emissioni di biossido di carbonio durante ciascuna giornata di test per veicolo leggero per chilometro di tratta percorsa.

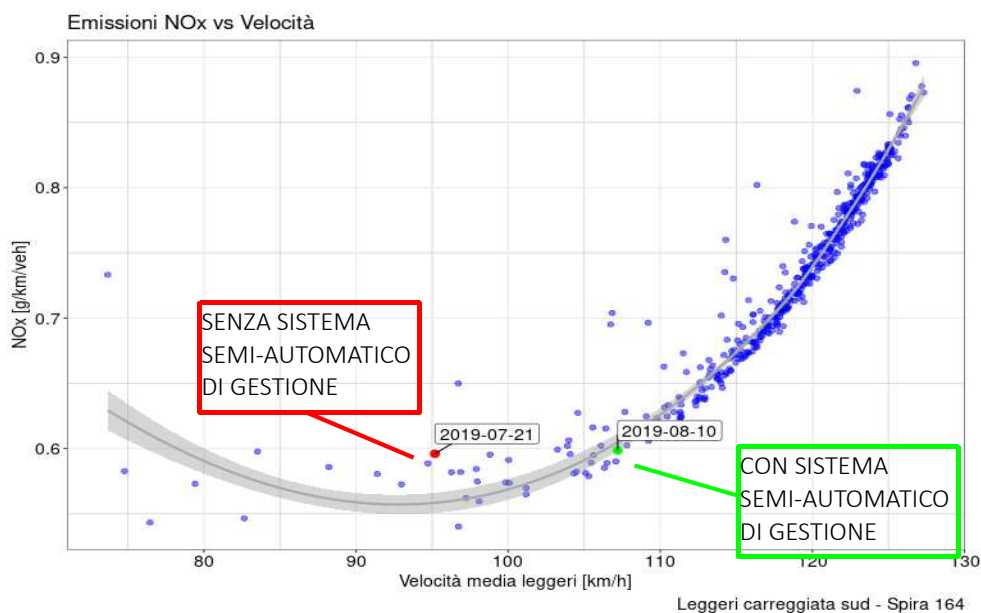


Figura 31: Emissioni di ossidi di azoto durante ciascuna giornata di test per veicolo leggero per chilometro di tratta percorsa.

#### 4. Conclusioni e sviluppi futuri

Questo report ha sintetizzato i risultati ottenuti nella fase 2 del progetto europeo LIFE BrennerLEC, con particolare riferimento alle sperimentazioni relative alla riduzione dinamica della velocità per fini ambientali e per l'ottimizzazione della capacità autostradale. I risultati confermano gli impatti positivi dell'applicazione dei limiti dinamici di velocità già evidenziati durante la fase 1 di progetto, sia per quanto riguarda il miglioramento della fluidità del traffico in giornate con un elevato numero di



passaggi veicolari, sia in termini di miglioramento della qualità dell'aria.

L'applicazione dei limiti di velocità ridotti per l'ottimizzazione della capacità autostradale ha tratto beneficio dall'implementazione di un sistema semi-automatico di gestione del traffico, che ha consentito di ottimizzare la gestione dinamica dei limiti di velocità con ricadute positive sulla riduzione delle situazioni di traffico congestionato e di conseguenza sulle emissioni di inquinanti. L'applicazione dei limiti di velocità a fini ambientali ha invece visto benefici inferiori rispetto a quelli evidenziati durante la fase 1, a causa di una minore riduzione della velocità da parte dei veicoli leggeri durante le sperimentazioni. Questo è stato causato dalla necessità, dettata da ragioni di carattere normativo, di esporre il segnale di velocità consigliata invece di quello di limite di velocità, utilizzato durante la fase 1. In ogni caso i risultati ottenuti in termini di riduzione delle concentrazioni di ossidi di azoto a bordo autostrada sono coerenti con la diminuzione di velocità registrata durante le sessioni sperimentali. In particolare, i dati sperimentali raccolti durante la fase 2 hanno evidenziato diminuzioni di circa il 7% per il monossido di azoto e di circa il 2-3% per il biossido di azoto con una riduzione media della velocità dei veicoli leggeri di circa 5 km/h, a fronte di riduzioni del 10% per entrambe le specie nella fase 1 con una riduzione media della velocità dei veicoli leggeri di circa 14 km/h.

Nella prossima fase di progetto, per quanto riguarda l'applicazione della riduzione dei limiti dinamici di velocità per fini ambientali, i test non verranno più definiti a calendario, bensì sulla base di risultati previsionali delle condizioni meteorologiche e dell'intensità del traffico; in tale maniera si interverrà nei periodi in cui si ha una maggiore efficacia della misura attuata ai fini del miglioramento della qualità dell'aria (concentrazioni di NO<sub>2</sub>). Obiettivo dell'ultima fase di progetto sarà quello di dotare il Centro Assistenza Utente (CAU) del gestore autostradale di un sistema di intervento testato ed efficace potenzialmente applicabile su ogni tratta di competenza.

Per quanto riguarda invece la gestione dinamica della capacità autostradale, nella prossima fase di progetto si prevede, una volta consolidato il funzionamento del sistema di gestione semi-automatico dei limiti di velocità, di estendere la sperimentazione a tutto il tratto autostradale interessato dal progetto, ovvero da Bolzano nord a Rovereto sud. È inoltre prevista l'apertura temporanea della corsia di emergenza al traffico tra i caselli di Trento sud e Rovereto sud in condizioni di flusso quasi saturato.



## Bibliografia

- [1] Progetto BrennerLEC, "Sintesi tecnica del progetto," 2016.