Applicazione dei limiti dinamici di velocità in A22

Resoconto sintetico della terza fase sperimentale

Indice

Sommario 4

1. Obiettivi del progetto BrennerLEC 5

2. Risultati della fase 1 (sintesi) 6

2.1. Risultati dell'applicazione della riduzione dei limiti dinamici di velocità per fini ambientali 6

2.2. Risultati dell'applicazione della riduzione dei limiti dinamici di velocità per fini viabilistici 7

3. Risultati della fase 2 (sintesi) 8

3.1. Applicazione dei limiti dinamici di velocità per fini ambientali 8

3.2. Applicazione dei limiti dinamici di velocità per fini viabilistici 9

4. Fase 3: riduzione dinamica della velocità per fini ambientali 12

4.1. Organizzazione delle sessioni di test 12

4.2. Obiettivi della fase 3 14

4.3. Criteri di attivazione dei test 14

4.4. Periodi di attivazione dei test 21

4.5. Interruzione dei test – Emergenza "Covid-19" 24

4.6. Rispetto della segnaletica di velocità consigliata ridotta 24

4.6.1. Confronto mensile delle velocità medie dei veicoli leggeri tra la fase 2 e la fase 3 24

4.6.2. Confronto tra scenario "hard" e scenario "soft" 26

4.7. Concentrazioni a bordo strada ed emissioni 27

4.7.1. Valutazione emissiva con scenari ipotetici di comportamento degli utenti 30

5. Fase 3: limiti dinamici di velocità per fini viabilistici 33

5.1. Organizzazione delle sessioni di test 33

5.2. Sistema semi-automatico di gestione dei limiti di velocità 34

5.3. Valutazione dell'efficacia del sistema semi-automatico di gestione dei limiti di velocità dal punto di vista trasportistico - tempi di percorrenza 37

5.4. Valutazione dell'efficacia del sistema semi-automatico di gestione dei limiti di velocità dal punto

di vista trasportistico - andamento della velocità 41

5.5. Valutazione dell'efficacia del sistema semi-automatico di gestione dei limiti di velocità dal punto di vista trasportistico - classificazione delle giornate di traffico 44

5.6. Valutazione dell'efficacia del sistema semi-automatico di gestione dei limiti di velocità dal punto di vista delle emissioni di inquinanti 48

6. Conclusioni 50

Sommario

Questo documento presenta i risultati ottenuti durante la fase 3 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.

La sperimentazione dei limiti dinamici di velocità per fini ambientali ha fatto riscontrare un calo rilevante del rispetto della segnaletica di velocità consigliata rispetto alla fase 2. Come conseguenza, non sono stati registrati risultati significativi dal punto di vista ambientale, in particolare per quanto riguarda le concentrazioni di biossido di azoto a bordo autostrada. Tale risultato è stato confermato dal confronto tra le emissioni stimate con uno scenario “*business as usual*” e quelle con le velocità effettivamente misurate durante i test della fase 3: tale confronto ha evidenziato una diminuzione solo del 4% delle emissioni di NO_x, troppo ridotta per apprezzare diminuzioni significative delle concentrazioni di biossido di azoto a bordo autostrada. La stima delle emissioni prodotte dai veicoli leggeri in diversi scenari di rispetto del limite di velocità ha comunque confermato le potenzialità di questa misura. In particolare, si è evidenziato come l’introduzione di un sistema di controllo delle velocità di tipo section control potrebbe portare a riduzioni delle emissioni di NO_x del 25%.

L’applicazione dei limiti dinamici di velocità durante giornate di traffico intenso ha evidenziato come l’utilizzo di un sistema semi-automatico di gestione dei limiti di velocità possa portare benefici significativi sia dal punto di vista trasportistico (fluidificazione del traffico), sia dal punto di vista ambientale (riduzione delle emissioni come conseguenza di situazioni di stop&go meno frequenti). Il numero ridotto di test effettuati, a causa della pandemia dovuta alla diffusione del virus SARS-CoV-2 e al conseguente drastico calo del traffico lungo l’autostrada, non ha però consentito di raccogliere un numero elevato di dati: sarà quindi necessario effettuare ulteriori analisi nella prossima fase di progetto per poter consolidare i risultati ottenuti.

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_x e CO_2

- **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 grado di accettazione delle misure proposte 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 della 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 imposto 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 per quanto riguarda la riduzione delle concentrazioni di inquinanti prodotti dal traffico, 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 14 km/h, è stata misurata una riduzione media delle concentrazioni di biossido di azoto a bordo autostrada pari a circa il 10%.

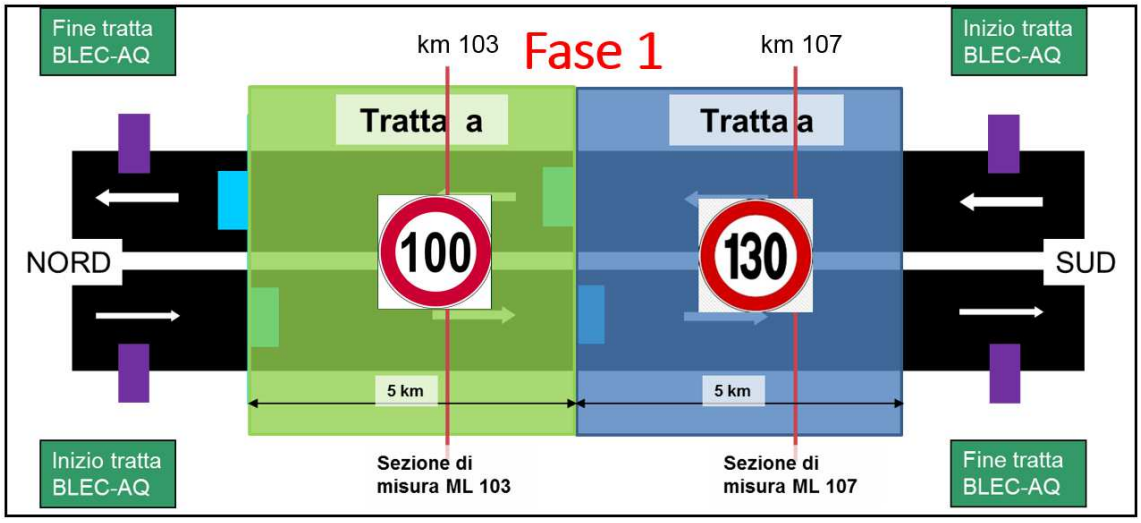

Figura 1: Allestimento del sito di test BLEC-AQ per la prima fase di test con i limiti dinamici di velocità per fini ambientali.

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 flusso veicolare 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, si è 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 della fase 2 (sintesi)

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

3.1. Applicazione dei limiti dinamici di velocità per fini ambientali

La seconda fase di sperimentazione è stata avviata a luglio 2018 ed è terminata a settembre 2019 ed ha consentito di analizzare dati da 1836 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 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).

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 ottenere 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).

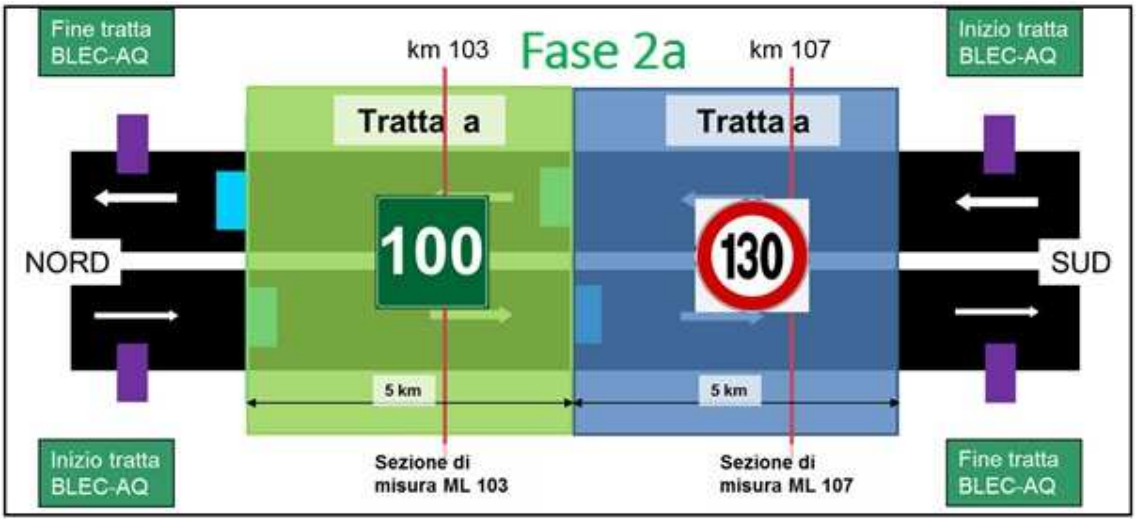

Figura 2: Allestimento del sito di test BLEC-AQ per la seconda fase di test con i limiti dinamici di velocità per fini ambientali utilizzato da luglio 2018 fino a novembre 2018.

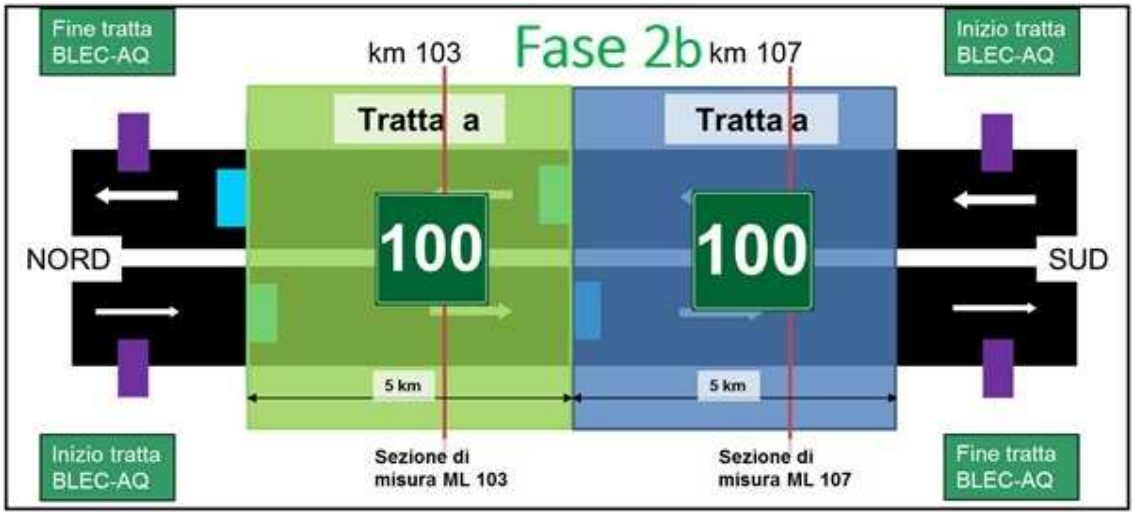

Figura 3: Allestimento del sito di test BLEC-AQ per la seconda fase di test con i limiti dinamici di velocità per fini ambientali utilizzato da dicembre 2018 fino a settembre 2019.

L'applicazione dei limiti di velocità a fini ambientali ha prodotto benefici inferiori durante la fase 2 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.

3.2. Applicazione dei limiti dinamici di velocità per fini viabilistici

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.

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.

Nella fase 2 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 nel corso del tempo la percentuale dei superamenti del limite 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 stata del 62%, mentre nel periodo estivo, nel quale il traffico è più intenso, la percentuale dei superamenti è scesa al 49%.

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.

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 Utenza, 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). In particolare, sono state analizzate in totale 28 giornate con traffico intenso, 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.

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.

Confrontando i tempi di percorrenza tra due giornate con flussi di traffico simili, una 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 prima 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). Per quanto riguarda le emissioni, prendendo sempre ad esempio le due giornate di test analizzate precedentemente, si è riscontrato che il giorno 21 luglio 2019 esse sono state superiori a quelle che si avrebbero a pari velocità in condizioni ottimali di traffico. Le emissioni nel giorno 10 agosto 2019, nel quale era attivo il sistema di gestione semi-automatico dei limiti di velocità, sono state invece più vicine 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.

4. Fase 3: riduzione dinamica della velocità per fini ambientali

4.1. Organizzazione delle sessioni di test

La terza fase di test ha interessato l'intero tratto BLEC-AQ di lunghezza pari a circa 10 km. I test sono stati realizzati utilizzando l'infrastruttura presentata graficamente in ***Figura 4***.

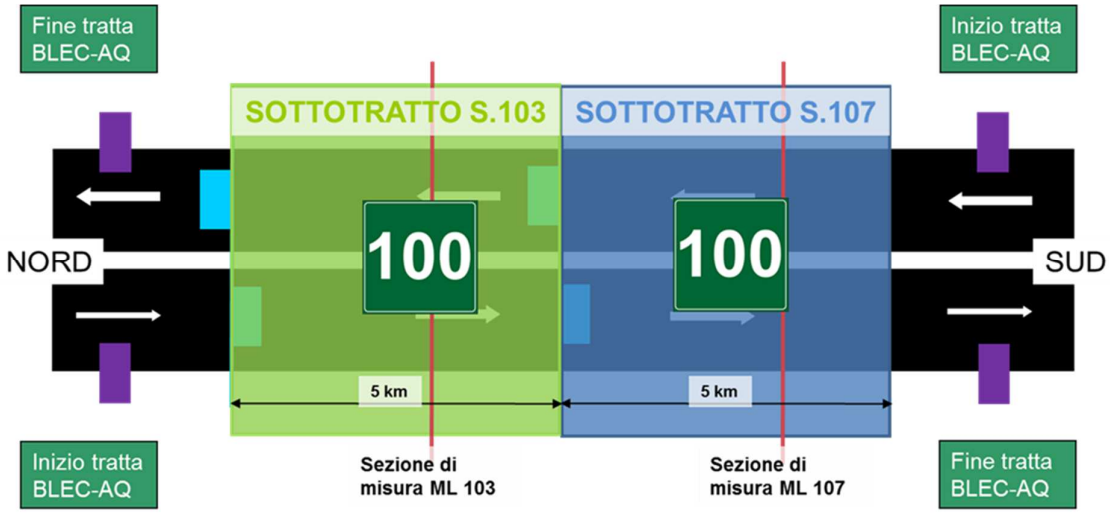

Figura 4: Allestimento del sito di test BLEC-AQ per la terza fase di test con la segnaletica dinamica di velocità consigliata per fini ambientali.

L'esposizione della segnaletica di velocità consigliata è stata effettuata utilizzando pannelli a messaggio variabile (PMV) a cavalletto e PMV fotovoltaici posizionati a bordo autostrada e distribuiti tra le due carreggiate di transito. Per rendere maggiormente visibili i test estesi a tutta la tratta sperimentale, è stata utilizzata anche l'infrastruttura preesistente al di fuori della tratta BLEC-AQ; in questa maniera è stato possibile presegnalare l'attivazione dei test attivando un messaggio sui PMV a cavalletto al km 119+600 in carreggiata Nord e al km 87+875 in carreggiata Sud.

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 e l'altro al km 107+800), 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 introdotta. 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 mediante spire induttive tradizionali.

Figura 5: Messaggio esposto sul PMV a cavalletto nel tratto sperimentale BLEC-AQ durante i test.

Figura 6: PMV fotovoltaico utilizzato per esporre i pittogrammi della velocità consigliata durante i test.

4.2. Obiettivi della fase 3

La fase 3 del progetto risulta particolarmente funzionale agli sviluppi della fase 4, ovvero l'ultima del progetto, nonché alla predisposizione degli strumenti che permetteranno di continuare ad applicare le politiche di riduzione dinamica della velocità anche dopo il termine del progetto, quando i decisori politici e il gestore autostradale potranno valutare l'estensione delle strategie adottate sull'intero corridoio alpino del Brennero.

Gli obiettivi della fase 3 vengono elencati di seguito:

- creare un sistema di attivazione della riduzione della velocità in modalità previsionale non automatizzato; al gestore autostradale viene fornita un'indicazione di attivazione sulla base di previsioni meteorologiche e di traffico e tarata sui dati sperimentali già raccolti in fase 1 e 2;
- testare la modalità di attivazione manuale del sistema da parte del centro operativo del gestore autostradale (CAU);
- tarare il sistema di attivazione della segnaletica di riduzione di velocità.

4.3. Criteri di attivazione dei test

Nella fase 3 del progetto cambia sensibilmente la logica di attivazione dei test di riduzione della velocità consigliata a fini ambientali. Infatti, nelle prime due fasi di progetto, l'attivazione dei test era prevista in maniera del tutto arbitraria, scegliendo solo determinate giornate e fasce orarie predefinite, con l'accortezza di collezionare nell'arco dell'anno un numero di test statisticamente significativo. Con l'avvento della fase 3, al contrario, i test sono potenzialmente possibili tutti i giorni e in fasce orarie variabili (Figura 7), in funzione delle indicazioni di un algoritmo previsionale, il cui funzionamento viene esplicitato nei prossimi paragrafi.

La segnaletica di velocità consigliata ridotta viene attivata nella fase 3 di progetto ogni qualvolta i benefici ambientali potenziali sono ritenuti significativi, cioè quando le riduzioni delle concentrazioni di biossido di azoto derivanti dall'applicazione della riduzione della velocità sono potenzialmente rilevanti. Tali benefici ambientali sono ottenibili in diverse condizioni di traffico e condizioni meteorologiche e sono stati quantificati analizzando i dati sperimentali raccolti in fase 1 e 2.

I test di riduzione della velocità consigliata vengono attivati quindi sulla base dei risultati previsionali di:

- numero orario di veicoli leggeri transitanti su entrambe le carreggiate; il criterio tiene in considerazione solo i veicoli leggeri, poiché sono gli unici che risentono dell'introduzione del limite di velocità ridotto;
- meteorologia, dove la variabile oraria di riferimento è il gradiente verticale di temperatura, indicatore della stabilità atmosferica; in aggiunta a questo parametro, si tiene in considerazione anche dell'informazione relativa alla precipitazione cumulata.

Al variare delle combinazioni delle due variabili principali sopracitate, cambiano sia le fonti emissive che la capacità dell'atmosfera di disperdere gli inquinanti. In particolare, la capacità dell'atmosfera di disperdere gli inquinanti è fortemente collegata alla stabilità atmosferica, che può essere valutata sulla base del gradiente verticale di temperatura. Infatti, se una sorgente emette una certa quantità di inquinante e ci si trova in condizioni di atmosfera stabile (es. in inverno), la sostanza tende a rimanere nelle vicinanze della sorgente, negli strati inferiori dell'atmosfera, per cui la concentrazione misurata risulterà elevata. Al contrario, se la stessa quantità di inquinante viene rilasciata in un momento in cui sono presenti moti convettivi (es. in estate), a causa del rimescolamento dell'aria prodotto dalla convezione l'inquinante viene disperso e la concentrazione misurata risulterà minore. In questa fase di progetto si attivano le sperimentazioni quando i parametri previsti di traffico e stabilità atmosferica determinano condizioni più sfavorevoli dal punto di vista dell'inquinamento dell'aria ambiente.

	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
01-ott	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0
02-ott	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
03-ott	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
04-ott	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
05-ott	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0
06-ott	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0
07-ott	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0
08-ott	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
09-ott	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
10-ott	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
11-ott	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
12-ott	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0
13-ott	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
14-ott	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0
15-ott	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
16-ott	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
17-ott	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
18-ott	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
19-ott	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0
20-ott	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
21-ott	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0
22-ott	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0
23-ott	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
24-ott	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
25-ott	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0
26-ott	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0
27-ott	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0
28-ott	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
29-ott	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
30-ott	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
31-ott	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1

Figura 7: Riepilogo attivazioni nel mese di ottobre 2019 del test B4 - fase 3.

Sono stati pertanto definiti due scenari di attivazione della segnaletica di riduzione della velocità in funzione della previsione del beneficio ambientale ottenibile, denominati *"hard"* e *"soft"*. Lo scenario *hard* indica un numero elevato di ore di attivazione del test, mentre lo scenario *soft* comporta un numero inferiore di attivazioni. I due scenari rappresentano due diversi compromessi tra i benefici ambientali ottenibili e i possibili disagi per l'utenza autostradale dovuti alla riduzione del limite di velocità. Lo scenario *hard* è maggiormente sbilanciato verso la massimizzazione dei benefici ambientali, mentre lo scenario *soft* mira a ridurre i disagi per l'utenza.

Si riportano in ***Tabella 1*** e ***Tabella 2*** le matrici utilizzate per definire quali combinazioni delle due variabili previsionali, viabilistica e meteorologica, comportano attivazione o meno della segnaletica di velocità consigliata ridotta; nelle matrici, il simbolo della spunta verde indica la condizione di attivazione del test, viceversa, la crocetta rossa indica la disattivazione.

Traffico (autovetture)	Stabilità atmosferica (gradiente di temperatura)		
Classe	Γ > 5°C/km	-5 < Γ < 5°C/km	Γ < -5°C/km
n < 500	✗	✗	✗
500 ≤ n < 1000	✗	✗	✓
1000 ≤ n < 1500	✗	✓	✓
1500 ≤ n < 2000	✓	✓	✓
2000 ≤ n < 2500	✓	✓	✓
2500 ≤ n < 3000	✓	✓	✓
n ≥ 3000	✓	✓	✓

Tabella 1: Criteri di attivazione test B4 fase 3 - scenario "hard". Γ rappresenta il gradiente verticale di temperatura, mentre n il numero di veicoli leggeri transitante in un'ora su entrambe le carreggiate.

Traffico (autovetture)	Stabilità atmosferica (gradiente di temperatura)		
Classe	Γ > 5°C/km	-5 < Γ < 5°C/km	Γ < -5°C/km
n < 500	✗	✗	✗
500 ≤ n < 1000	✗	✗	✗
1000 ≤ n < 1500	✗	✗	✓
1500 ≤ n < 2000	✗	✓	✓
2000 ≤ n < 2500	✓	✓	✓
2500 ≤ n < 3000	✓	✓	✓
n ≥ 3000	✓	✓	✓

Tabella 2: Criteri di attivazione test B4 fase 3 - scenario "soft". Γ rappresenta il gradiente verticale di temperatura, mentre n il numero di veicoli leggeri transitante in un'ora su entrambe le carreggiate.

Da un punto di vista operativo, CISMA elabora la previsione del numero orario di autovetture transitanti sulla base dei dati storici forniti da A22, mentre l'Università di Trento redige giornalmente una previsione meteorologica comprendente l'informazione relativa al gradiente verticale di temperatura nel tratto di interesse. Un algoritmo implementato dall'Università di Trento unisce le due

previsioni e, a seconda dello scenario scelto, vengono definiti gli intervalli orari di attivazione dei test. L'informazione delle attivazioni viene inviata all'Agenzia per la protezione dell'ambiente e la tutela del clima di Bolzano (APPABZ), che effettua una verifica ed un eventuale aggiustamento manuale delle previsioni di avviamento dei test; dopodiché, APPABZ inoltra a sua volta giornalmente al CAU (Centro Assistenza Utenti di A22) un report contenente le informazioni orarie di attivazione delle sperimentazioni, correlate dalle previsioni orarie del traffico e della precipitazione cumulata (Figura 8). Attraverso la gestione manuale, le sperimentazioni hanno avuto luogo quasi esclusivamente dal martedì alla domenica. Infatti, il report delle attivazioni veniva inviato, dal lunedì al giovedì, per il solo giorno successivo; il venerdì, il report veniva inviato con le informazioni riguardanti il sabato e la domenica; nella giornata di lunedì, invece, non erano generalmente previsti test, a causa del limite temporale della previsione meteorologica elaborata nella giornata di venerdì, ultimo giorno lavorativo della settimana di APPABZ. Negli uffici di A22, il CAU carica manualmente nel "cruscotto", ovvero il computer del centro di comando, gli intervalli di attivazione dei test.

Data: **15-10-2019** **Tratta Egna - San Michele**

Attivazione Test B4

h_iniz	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
On/Off	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0

Precipitazioni previste (mm)

h_iniz	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
Prec	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,9	2,3	1,4	0	0

Veicoli leggeri Nord+Sud

h_iniz	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
Traff	280	181	142	127	142	209	415	769	1503	2507	3285	3236	2711	2367	2610	2977	3177	3303	2956	2106	1424	1005	612	394

* h_iniz = Ora inizio Test

Test
Spento
Attivo

Intensità Precipitazioni	
Assente/Pioviggine	< 0.5 mm
Debole	0.5-2 mm
Moderata	2-6 mm
Forte	6-10 mm
Rovescio	> 10 mm

Nr. Autovetture su entrambe le carreggiate
> 500
500-1000
1000-1500
1500-2000
2000-2500
2500-3000
> 3000

Figura 8: Esempio di Report giornaliero "manuale" fornito al CAU di A22.

L'aggiustamento manuale delle attivazioni da parte di APPABZ è volto a limitare il numero massimo giornaliero di attivazione dei test (massimo 3), a rimuovere singole ore di avviamento e ad attivare manualmente i test qualora si verifichi una sola ora di interruzione all'interno di tre ore consecutive di sperimentazione (es. in Figura 9).

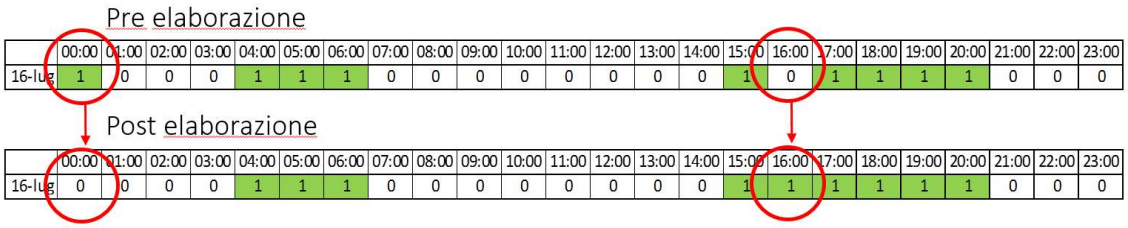

Figura 9: Esempio di aggiustamento manuale della previsione di attivazione dei test B4 - fase 3.

In un primo periodo, i test sono stati disabilitati in maniera soggettiva da parte di APPABZ anche quando la precipitazione prevista per il giorno seguente risultava particolarmente intensa o ininterrotta per diverse ore consecutive; sono state stabilite successivamente delle soglie di precipitazione oggettive tali da giustificare la cancellazione dei test (Tabella 3). È bene sottolineare che il CAU ha in ogni momento la facoltà di interrompere i test per cause di forza maggiore (eventi non programmati come incidenti, anomalie della viabilità, veicoli fermi, segnalazioni di code e rallentamenti, eventi meteorologici, ecc.). Dal punto di vista pratico, cancellare in anticipo un test oppure interromperlo in caso di necessità, implica di non esporre la segnaletica specifica di velocità consigliata lungo la tratta, al fine di permettere al gestore autostradale di utilizzare i PMV per esigenze di sicurezza stradale. A titolo esemplificativo, durante eventi meteorici vengono esposti messaggi testuali che invitano l'utenza autostradale a maggiore prudenza, oltre ad evidenziare un limite di velocità ridotto; infatti, secondo il Codice della Strada, in caso di pioggia, il limite di velocità cogente in autostrada viene ridotto da 130 km/h a 110 km/h.

Durata precipitazione prevista	Soglia di precipitazione cumulata
1 ora	5 mm
2 ore	7 mm
4 ore	10 mm
8 ore	14 mm

Tabella 3: Soglie di precipitazione per la disattivazione dei test in funzione della durata.

A seguito di alcuni mesi di sperimentazione, le logiche di aggiustamento manuale delle singole ore di attivazione o disattivazione descritte nei paragrafi precedenti sono state implementate nel modello previsionale. Quindi, a partire dal giorno 27/02/2020, la procedura di supervisione e redazione del report giornaliero è stata automatizzata; tale procedura prevede che il report utilizzato, concettualmente identico a quello precedente ma con un layout differente (Figura 10), venga inviato direttamente da parte dell'Università di Trento al CAU.

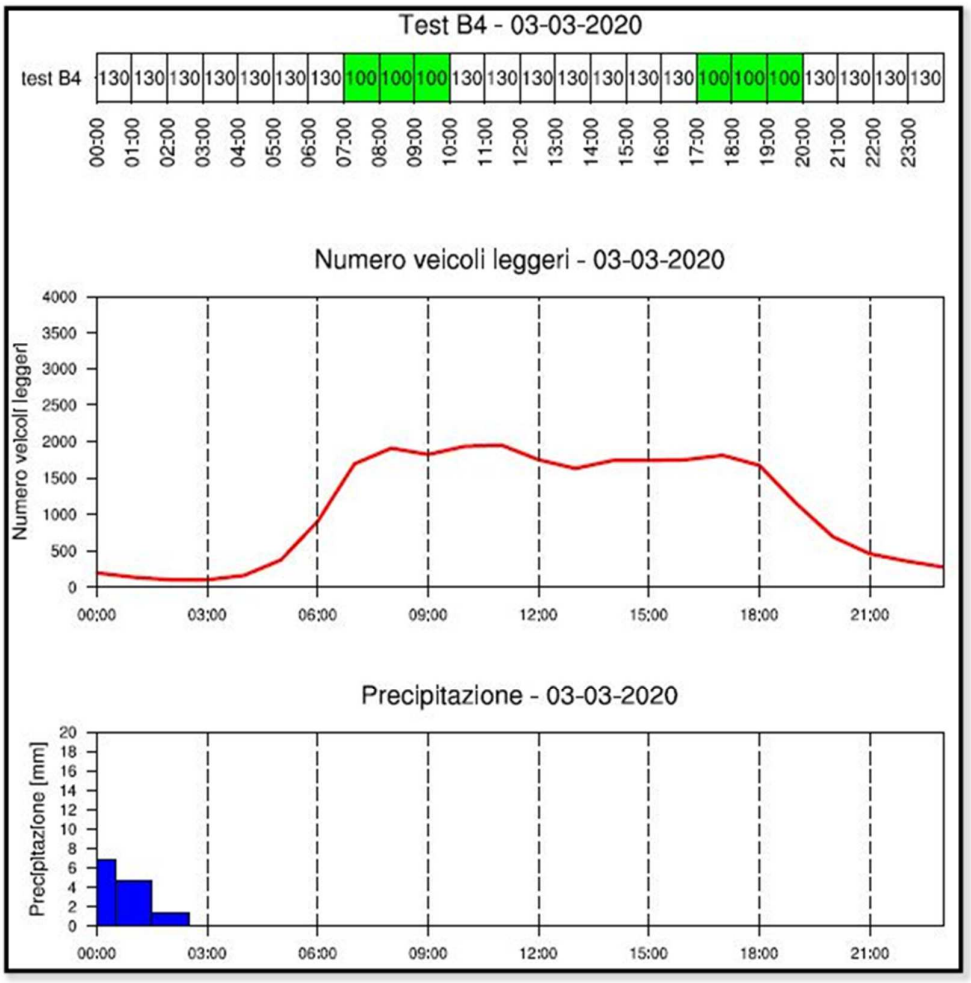

Figura 10: Esempio di Report giornaliero automatizzato fornito al CAU di A22.

Dal punto di vista delle sperimentazioni prettamente a fini ambientali, sia nello scenario *hard* che in quello *soft*, i test vengono attivati anche in condizioni di traffico molto sostenuto (ultime righe delle matrici in ***Tabella 1*** e ***Tabella 2***). Tuttavia, dal momento in cui è stata estesa sull'intera tratta Bolzano Nord – Rovereto Sud l'azione B3 (variazioni dinamiche del limite di velocità a fini viabilistici), le logiche di attivazione dei test a fini viabilistici (B3) sovrascrivono quelle a fini ambientali (B4).

4.4. Periodi di attivazione dei test

- Modalità *hard:* 08/10/2019-21/02/2020 (interruzione natalizia: 26/12/2019 – 06/01/2020)
- Modalità *soft:* 22/02/2020-13/03/2020
- Interruzione sperimentazioni di fase 3 a causa dell'emergenza "Covid-19": 14/03/2020

Come si può osservare in ***Tabella 4***, durante la fase 3 sono state effettuate 1310 ore di test di riduzione della velocità a fini ambientali, di cui 1223 in modalità *hard* e 87 in modalità *soft*. La distribuzione dei test nei giorni della settimana è stata abbastanza omogenea dal martedì al sabato, con una leggera flessione la domenica e pochi test il lunedì, per le motivazioni già enunciate sopra.

Durata complessiva delle sessioni di test	1.310 ore
Durata complessiva delle sessioni di test in modalità "hard"	1.223 ore
Durata complessiva delle sessioni di test in modalità "soft"	87 ore
Lunedì	2.6%
Martedì	18.3%
Mercoledì	16.8%
Giovedì	17.8%
Venerdì	15.2%
Sabato	16.8%
Domenica	12.5%

Tabella 4: Informazioni riassuntive sul numero di attivazioni dei test di riduzione del limite di velocità per motivi ambientali (azione B4) durante la fase 3.

La distribuzione giornaliera delle attivazioni complessive dei test di riduzione della velocità per motivi ambientali è mostrata in Figura 11, dove si può vedere chiaramente la quasi totale assenza di test durante le ore notturne ed una frequenza di attivazione pressoché costante dalle 07:00 alle 19:00. Infine, in Figura 12 e 13 vengono mostrati i cicli giornalieri delle attivazioni dei test con lo scenario *hard* e con lo scenario *soft*. Risulta evidente come con lo scenario *soft* ci sia molta più variabilità durante le ore diurne nella frequenza di attivazione dei test, con massimi al mattino e alla sera, in corrispondenza delle ore più trafficate, e attivazioni minori durante le ore centrali della giornata.

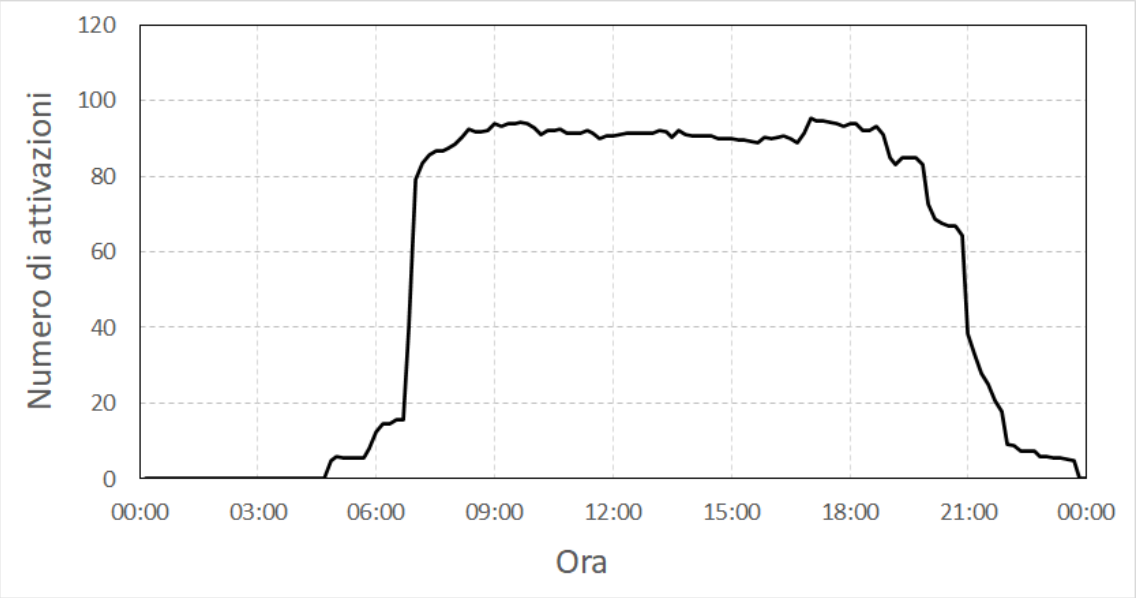

Figura 11: Ciclo giornaliero del numero di attivazioni complessivo dei test di riduzione della velocità per motivi ambientali (azione B4) durante la fase 3.

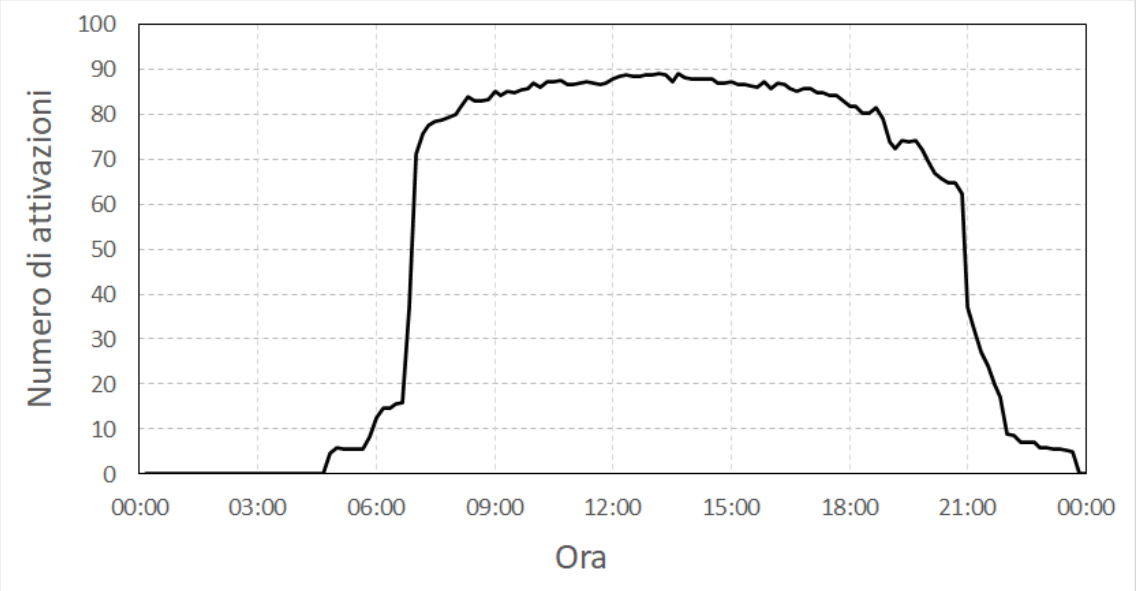

Figura 12: Ciclo giornaliero del numero di attivazioni in modalità *hard* dei test di riduzione della velocità per motivi ambientali (azione B4) durante la fase 3.

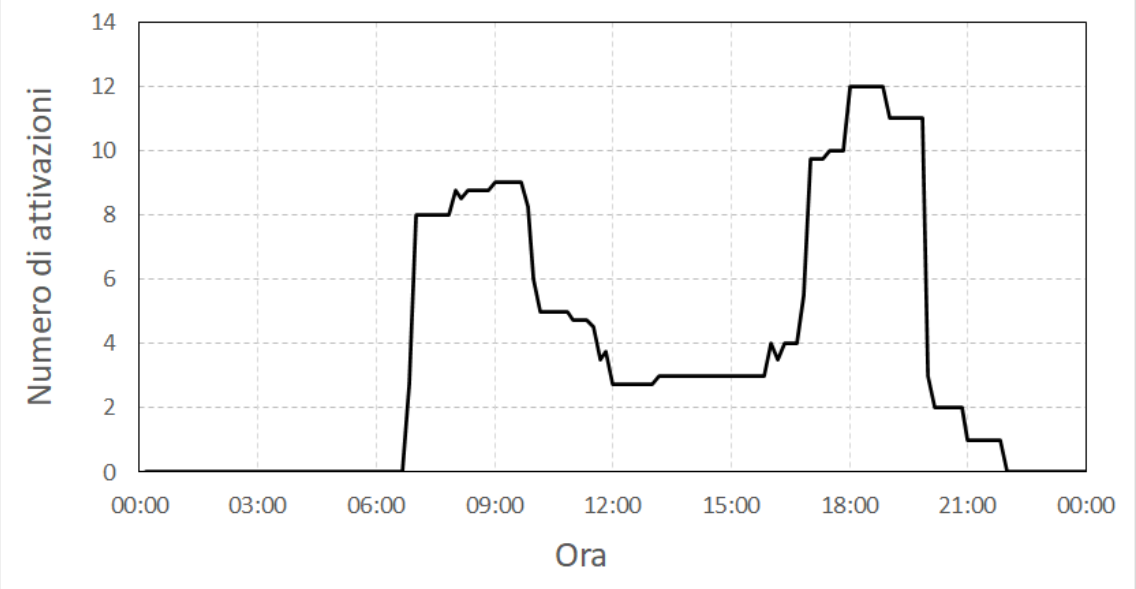

Figura 13: Ciclo giornaliero del numero di attivazioni in modalità *soft* dei test di riduzione della velocità per motivi ambientali (azione B4) durante la fase 3.

4.5. Interruzione dei test – Emergenza “Covid-19”

A causa dell’emergenza sanitaria legata al diffondersi del virus SARS-CoV-2, il Governo italiano ha emanato una serie di provvedimenti volti a limitare il diffondersi del contagio; tali provvedimenti prevedevano anche una forte limitazione degli spostamenti. A partire dal 09/03/2020 il traffico è pertanto diminuito considerevolmente sulla A22, come in tutta l’Italia.

Il numero di veicoli leggeri transitanti in autostrada è un parametro essenziale per determinare l’attivazione dei test B4 di fase 3. Constatato l’esiguo numero di veicoli leggeri transitanti in A22 durante il mese di marzo, in data 13/03/2020 è stato comunicato al Centro Assistenza Utenti di A22 (CAU) l’interruzione dei test B4 finché i flussi di traffico non fossero tornati pressocché normali. Tuttavia, l’emergenza legata al Covid-19 si è protratta per diversi mesi, pertanto il Team di progetto ha deciso di considerare conclusa la fase 3 delle azioni B3 e B4 e di riprendere le sperimentazioni durante l’estate 2020 con l’ultima fase di progetto.

4.6. Rispetto della segnaletica di velocità consigliata ridotta

In questa sezione si riportano le analisi condotte relativamente alla valutazione del rispetto della segnaletica di velocità consigliata ridotta da parte degli utenti di veicoli leggeri.

4.6.1. Confronto mensile delle velocità medie dei veicoli leggeri tra la fase 2 e la fase 3

Le velocità medie mensili dei veicoli leggeri misurate nella fase 2 e nella fase 3 sono state confrontate con lo scopo di quantificare il rispetto del limite di velocità consigliato e di valutare un potenziale aumento del “grado di assuefazione” dell’utenza autostradale nei confronti della segnaletica esposta. Durante l’arco dell’anno, i regimi di traffico variano a seconda del periodo e influenzano, di conseguenza, le velocità di transito e le quantità di inquinanti emessi dai veicoli; tali regimi di traffico risultano solitamente paragonabili da un anno a quello successivo, salvo eccezioni. Tra le anomalie del traffico si riscontrano a titolo esemplificativo le festività o le limitazioni della circolazione in seguito al *lockdown* del 2020, volto a fronteggiare il diffondersi del virus da SARS-CoV-2. Si sono quindi analizzate mese per mese le velocità medie dei veicoli leggeri nelle due fasi di progetto. È stato possibile svolgere il confronto per i soli mesi nei quali la modalità di allestimento della tratta di test da un anno a quello successivo era equivalente, ossia per i mesi di dicembre, gennaio e febbraio.

Nelle Tabelle ***Tabella 5***, ***Tabella 6*** e ***Tabella 7*** si riportano i dettagli delle velocità medie misurate nelle due diverse fasi, alle diverse spire posizionate ai km 103 e 107 e nelle diverse carreggiate. Si nota un aumento significativo delle velocità medie tra fase 2 e fase 3, dell’ordine di 3-4 km/h, soprattutto nei

mesi di dicembre e gennaio. Tale aumento è probabilmente da ricondurre al fenomeno di "assuefazione" rispetto alla segnaletica esposta.

Dicembre (2018 vs. 2019)						
	Velocità *(km/h)* (km 103)			Velocità *(km/h)* (km 107)		
	Nord	Sud	media	Nord	Sud	media
Fase 2	112.0	114.7	113.2	115.5	113.7	114.6
Fase 3	116.3	116.0	116.1	118.9	117.7	118.3

Tabella 5: Confronto velocità veicoli leggeri - mese di dicembre.

Gennaio (2019 vs. 2020)						
	Velocità *(km/h)* (km 103)			Velocità *(km/h)* (km 107)		
	Nord	Sud	media	Nord	Sud	media
Fase 2	112.0	114.7	113.2	115.5	113.7	114.6
Fase 3	117.6	117.6	117.6	120.0	120.4	119.6

Tabella 6: Confronto velocità veicoli leggeri - mese di gennaio.

Febbraio (2019 vs. 2020)						
	Velocità *(km/h)* (km 103)			Velocità *(km/h)* (km 107)		
	Nord	Sud	media	Nord	Sud	media
Fase 2	117.4	117.6	117.5	120.3	116.8	118.5
Fase 3	118.5	117.7	118.1	121.2	119.2	120.2

Tabella 7: Confronto velocità veicoli leggeri - mese di febbraio.

4.6.2. Confronto tra scenario “hard” e scenario “soft”

L’obiettivo di questa analisi consiste nell’indagare l’eventuale variazione nel grado di rispetto della segnaletica di velocità consigliata ridotta da parte degli utenti in caso di test meno frequenti. In data 22 febbraio 2020 si è modificata la tipologia di scenario per l’attivazione dei test a fini ambientali, passando dalla modalità *hard* a quella *soft*. Si ricorda che questo cambio di strategia prevede un minor numero di attivazioni delle sperimentazioni e il raggiungimento di obiettivi ambientali potenziali inferiori. La transizione dalla modalità di svolgimento dei test da scenario *hard* a *soft* è legata alla volontà di valutare il possibile diverso rispetto del consiglio di velocità da parte dell’utenza autostradale in corrispondenza di una minore esposizione a tale segnaletica. Infatti, durante i test di fase 3 in modalità *hard*, nel periodo ottobre 2019-febbraio 2020 la segnaletica dei 100 km/h consigliati è stata esposta quotidianamente e in maniera pressoché costante durante l’intera giornata (vedi Figura 12), dal martedì alla domenica, ad eccezione del periodo natalizio e in concomitanza di eventi straordinari (es. cantieri, code, etc.). Si è quindi temuta una sorta di inflazione nell’esposizione del cartello e una conseguente perdita di efficacia, che ha quindi portato a cambiare la modalità di esposizione a favore dello scenario *soft*.

In ***Tabella 8*** si riportano le velocità misurate presso le spire induttive prese in considerazione nelle due modalità di attivazione dei test.

	Velocità *(km/h)* (km 103)			Velocità *(km/h)* (km 107)		
	Nord	Sud	media	Nord	Sud	media
Hard	117.0	116.8	116.9	119.5	118.2	118.8
Soft	119.2	118.0	118.6	120.9	119.1	120.0

Tabella 8: Confronto velocità veicoli leggeri negli scenari *hard* e *soft*.

Si può notare come le velocità dei veicoli leggeri siano risultate leggermente superiori durante i test con lo scenario *soft* in entrambi i punti di misura. Questo risultato suggerisce che una minore esposizione della segnaletica di velocità consigliata ridotta non aumenta il grado di rispetto della misura proposta. Tuttavia, bisogna sottolineare che, a causa dell’interruzione dei test dovuta all’emergenza Covid-19, il numero di ore di test con lo scenario *soft* è ridotto e quindi probabilmente non statisticamente significativo. Inoltre, i due campioni di test non sono direttamente confrontabili in quanto raccolti in periodi dell’anno differenti, caratterizzati da diversi volumi di traffico.

4.7. Concentrazioni a bordo strada ed emissioni

L'analisi dei dati di qualità dell'aria misurati presso le stazioni poste a bordo autostrada al km 103+700 e al km 107+800 ha permesso di quantificare i benefici ambientali derivanti dall'applicazione del limite ridotto di velocità. Ci si sofferma in particolare sul biossido di azoto, l'inquinante di maggior interesse per il presente progetto. Come si può osservare dai grafici riportati nelle Figure 14 e 15, i test di riduzione della velocità non hanno portato risultati significativi dal punto di vista ambientale, con concentrazioni non sostanzialmente diverse tra i periodi con riduzione della velocità e quelli senza sperimentazioni in atto. Questo risultato non è sorprendente alla luce delle velocità più elevate registrate durante le sperimentazioni della fase 3 rispetto alle precedenti fasi del progetto.

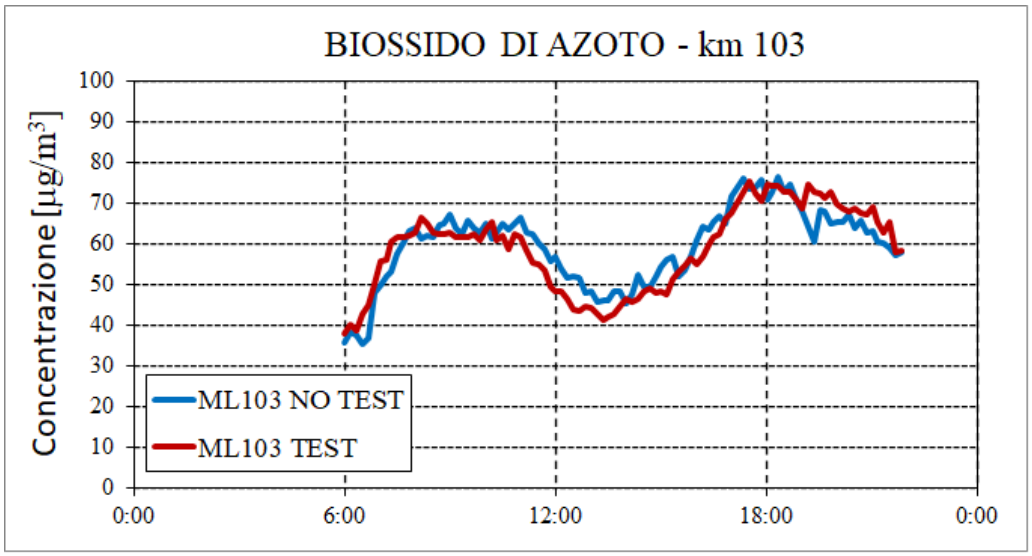

Figura 14: Cicli diurni medi di biossido di azoto misurati presso la stazione di qualità dell'aria posta a bordo autostrada al km 103+700 durante i test di riduzione della velocità (curva rossa) e in condizioni di limite di velocità inalterato (curva blu).

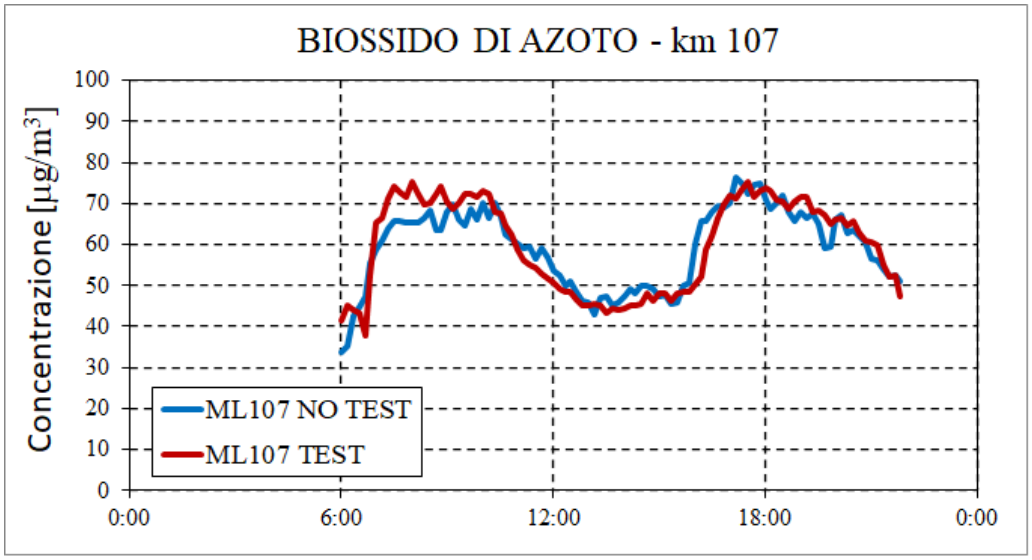

Figura 15: Cicli diurni medi di biossido di azoto misurati presso la stazione di qualità dell'aria posta a bordo autostrada al km 107+800 durante i test di riduzione della velocità (curva rossa) e in condizioni di limite di velocità inalterato (curva blu).

Le concentrazioni di ossidi di azoto misurate a bordo autostrada sono coerenti con le emissioni di queste specie calcolate per i test di fase 1, di fase 2 e di fase 3 e per le giornate non interessate dai test di riduzione della velocità (Figura 16). Si può notare chiaramente come le maggiori riduzioni di emissioni rispetto alle giornate senza test 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. I test di fase 3 invece sono stati caratterizzati da emissioni di ossidi di azoto più elevate rispetto alla fase 2, poiché le velocità registrate sono state superiori.

Considerazioni analoghe possono essere fatte anche per le emissioni di CO_2, che mostrano un comportamento del tutto simile a quello delle emissioni di ossidi di azoto (Figura 17).

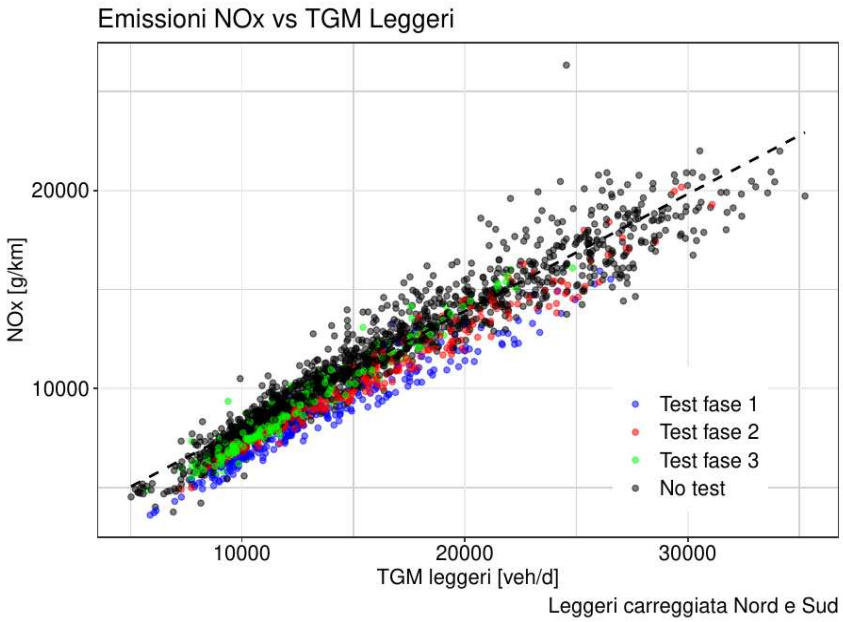

Figura 16: Emissioni di ossidi di azoto [g/km] in funzione del numero totale giornaliero di veicoli leggeri durante i test di fase 1 (punti blu), i test di fase 2 (punti rossi), i test di fase 3 (punto verdi) e le giornate senza test (punti neri).

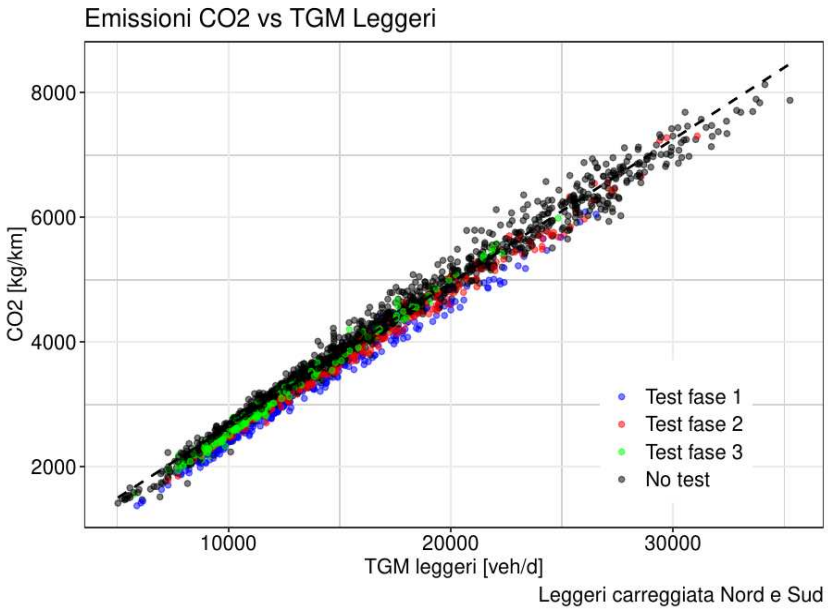

Figura 17: Come la Figura 16, ma per le emissioni di anidride carbonica [kg/km].

4.7.1. Valutazione emissiva con scenari ipotetici di comportamento degli utenti

I risultati mostrati nei paragrafi precedenti mostrano come le sessioni di test effettuate durante la fase 3 non abbiano portato risultati significativi dal punto di vista ambientale, date le velocità più elevate registrate durante le sperimentazioni rispetto alle precedenti fasi del progetto.

Attraverso l'uso della catena modellistica sviluppata all'interno del progetto, è però possibile stimare le emissioni che si sarebbero potute avere ipotizzando diversi comportamenti degli utenti.

Sono quindi stati identificati quattro diversi scenari, così caratterizzati:

- scenario BAU, "*business as usual*", in cui si è ipotizzato che durante le sessioni di test non fosse presente alcuna riduzione del limite di velocità e che quindi i veicoli leggeri si comportassero come se non fosse in atto alcun test. Il profilo di velocità utilizzato è quello calcolato a partire dalla serie storica misurata, presso la spira al km 103, da aprile 2017, in assenza di test e durante la fascia oraria diurna 6-20, in cui il traffico è più intenso;
- scenario reale fase 3, con esposizione del segnale di velocità consigliata a 100 km/h, in cui sono state utilizzate le effettive velocità dei veicoli leggeri registrate dalla spira al km 103 durante la fase 3;
- scenario con limite cogente a 100 km/h, ma senza controllo della velocità, in cui si è ipotizzato per i veicoli leggeri durante le sessioni di test di fase 3 un comportamento analogo a quello dei test di fase 1, dove appunto il limite dei 100 km/h era cogente ma non era presente un sistema di section control;
- scenario con limite cogente a 100 km/h e con controllo della velocità per mezzo di un sistema di section control, in cui si è ipotizzato che le velocità dei veicoli leggeri durante i test di fase 3 seguissero una distribuzione di probabilità gaussiana, con media a 100 km/h e deviazione standard pari a 3 km/h. Il valore di deviazione standard scelto è piuttosto basso perché, dove è presente un sistema di monitoraggio di section control, il flusso risulta essere molto più omogeneo, con velocità che si assestano intorno al valore limite e la maggior parte degli utenti viaggia effettivamente a una velocità inferiore al valore limite aumentato della tolleranza (5%).

La densità di frequenza corrispondente a ciascuno degli scenari ipotizzati può essere visualizzata in Figura 18.

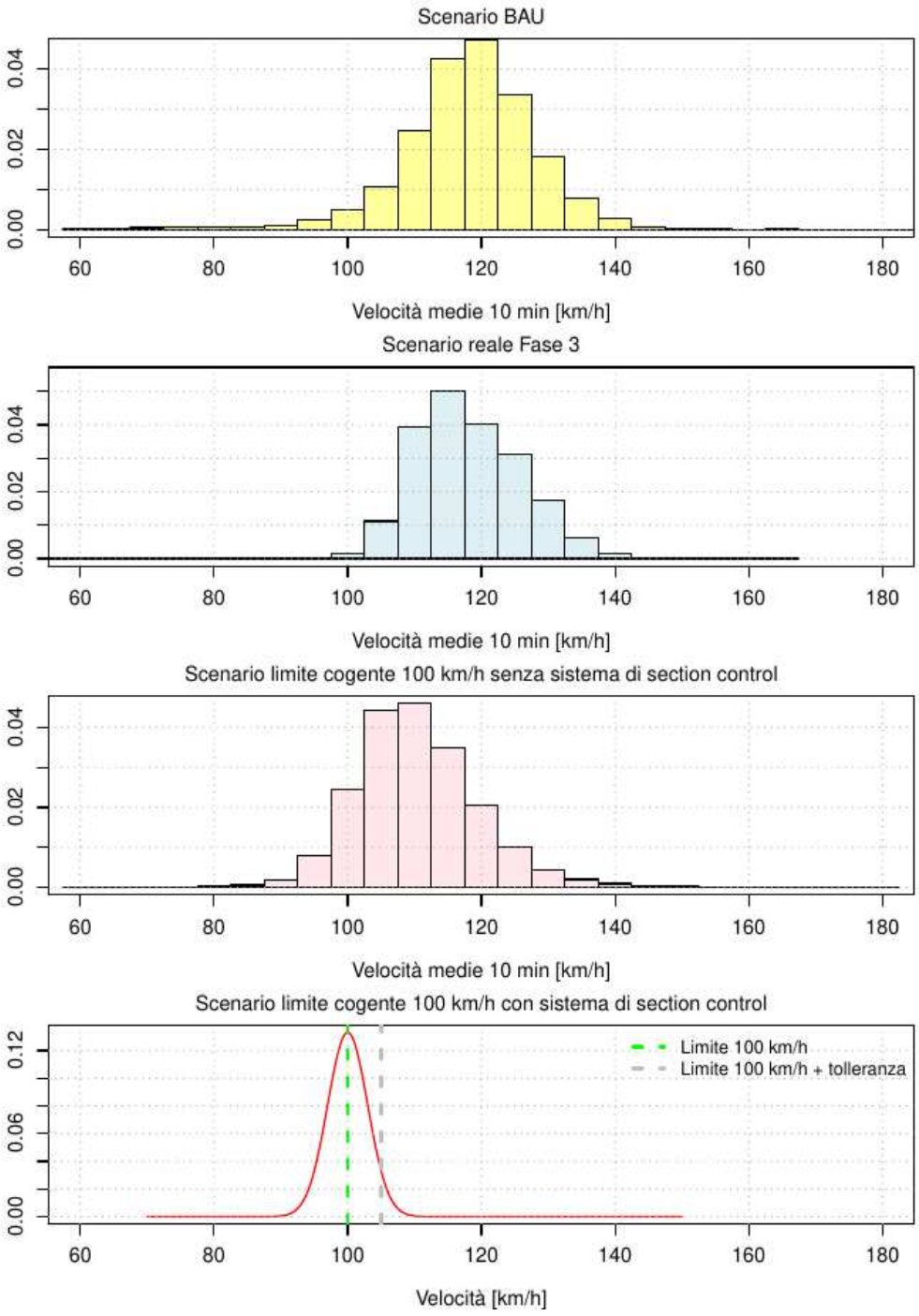

Figura 18: Confronto tra i diversi profili di velocità degli scenari esaminati durante i test di fase 3.

Utilizzando la catena modellistica sviluppata all'interno del progetto, sono state stimate le emissioni prodotte dal traffico di veicoli leggeri per ciascuno degli scenari di velocità individuati. Per ciascuno scenario è stato calcolato il totale emissivo ottenuto durante i test di fase 3.

Il risultato, espresso in percentuale rispetto allo scenario BAU, è riportato in Tabella ***9***.

Scenario	Emissioni NOx scenario/ emissioni scenario BAU [%]	Emissioni CO2 scenario/ emissioni scenario BAU [%]
Scenario BAU	100.0%	100.0%
Scenario reale fase 3	95.8% (-4.2%)	98.1% (-1.9%)
Scenario con limite 100 km/h cogente senza section control	88.0% (-12.0%)	93.9% (-6.1%)
Scenario con limite 100 km/h cogente con section control	74.6% (-25.4%)	87.1% (-12.9%)

Tabella 9: Emissioni totali di NOx e di CO_2 ottenute durante le ore di sperimentazione della fase 3 per i diversi scenari di velocità in percentuale rispetto allo scenario BAU.

Come si può osservare, lo scenario BAU, in cui i veicoli leggeri viaggiano in assenza di limite e quindi con velocità maggiori, risulta caratterizzato dalle emissioni più elevate. Per gli altri scenari, minore è la velocità e quindi maggiore è il rispetto del limite, maggiore è il beneficio ambientale che si può ottenere in termini di emissioni risparmiate.

In particolare, lo scenario con limite cogente e presenza di un sistema di section control risulta essere quello caratterizzato dalle minori emissioni, essendo le velocità più contenute e meno disperse attorno al valore medio.

5. Fase 3: limiti dinamici di velocità per fini viabilistici

Nella terza fase di progetto la misura di riduzione dinamica della velocità per fini viabilistici è stata testata sull'intera tratta sperimentale dell'autostrada A22, compresa tra le stazioni autostradali di Bolzano nord e Rovereto sud, che distano tra loro circa 90 km, in carreggiata sud, tramite l'impiego di un sistema semi-automatico di gestione dei limiti di velocità.

5.1. Organizzazione delle sessioni di test

L'applicazione della misura è stata estesa a tutto il percorso autostradale BLEC-ENV, dopo aver verificato il corretto funzionamento del sistema semi-automatico di gestione dei limiti di velocità in fase 2.

Le sessioni di test della terza fase si sono svolte da dicembre 2019 a fine febbraio 2020, ove le condizioni lo consentivano. Questa fase è stata avviata in ritardo rispetto a quanto inizialmente previsto, perché si è reso necessario calibrare in modo adeguato il sistema semi-automatico di gestione dei limiti di velocità sul tratto breve prima di passare all'implementazione sul tratto lungo.

Sono state effettuate 15 giornate di test per un totale di 64 ore (Tabella 10).

Numero delle sessioni di test	15
Durante i sabati	2
Durante le domeniche	7
Durante le festività e altre giornate di traffico intenso	4
Numero di ore di test	64 ore

Tabella 10: Riassunto delle sessioni di test con i limiti dinamici di velocità applicati a fini viabilistici.

I test sono stati eseguiti durante i fine settimana e in altre giornate di traffico intenso. Hanno preso avvio l'8 dicembre 2019, quando, nel tentativo di aprire temporaneamente al traffico la corsia di emergenza (corsia dinamica), i limiti dinamici di velocità sono stati esposti nei tratti T1, T2 e T3 (vedi Figura 19). Tuttavia, a causa della tardiva presenza di volumi adeguati di traffico e al successivo

incidente avvenuto in corsia di sorpasso, il tentativo di apertura della corsia dinamica non ha avuto buon esito.

A marzo i test si sono interrotti in quanto, nonostante la presenza di festività in corrispondenza delle quali solitamente si assiste a volumi di traffico elevati, a causa dell'emergenza legata alla pandemia di COVID-19, i flussi di traffico si sono pressoché azzerati.

Ciononostante, il periodo primaverile è stato sfruttato per finalizzare il sistema semi-automatico di gestione dei limiti di velocità e la relativa interfaccia utenti.

5.2. Sistema semi-automatico di gestione dei limiti di velocità

Come in fase 2, anche nella terza fase di sperimentazione si è ricorsi all'impiego del sistema semi-automatico di gestione dei limiti di velocità, che ha previsto, ai fini di una migliore gestione, la suddivisione dei 90 km oggetto di sperimentazione in 3 sotto-tratte:

- la tratta T1 compresa tra il km 77 ed il km 100;
- la tratta T2 compresa tra il km 100 ed il km 138;
- la tratta T3 compresa tra il km 138 ed il km 167.

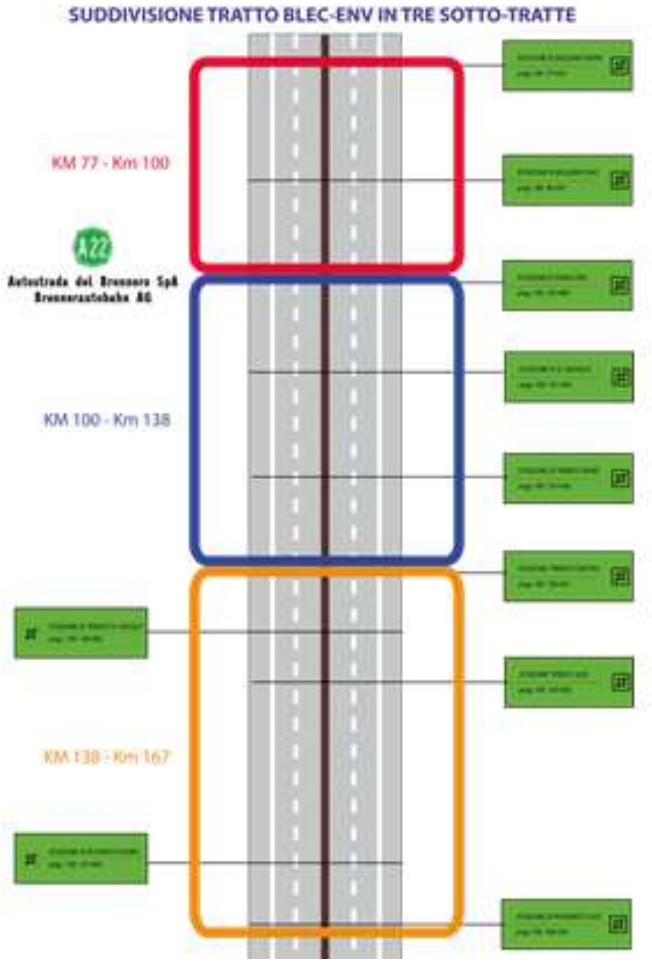

Figura 19: Suddivisione della tratta sperimentale in 3 sotto-tratte.

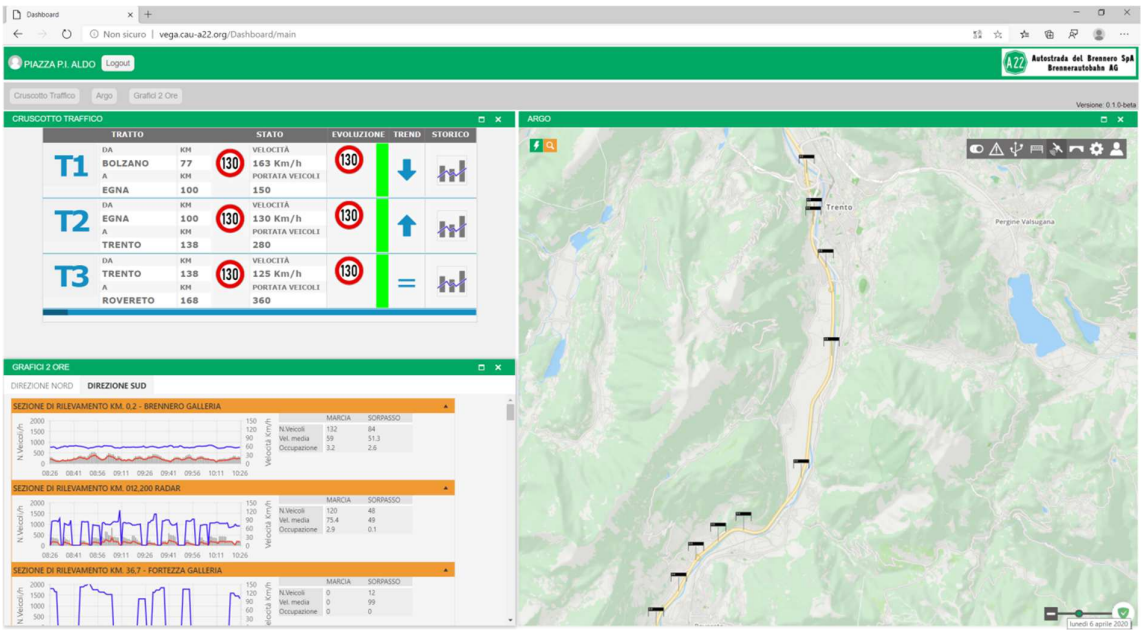

Figura 20: Interfaccia del sistema di gestione semi-automatica dei limiti di velocità.

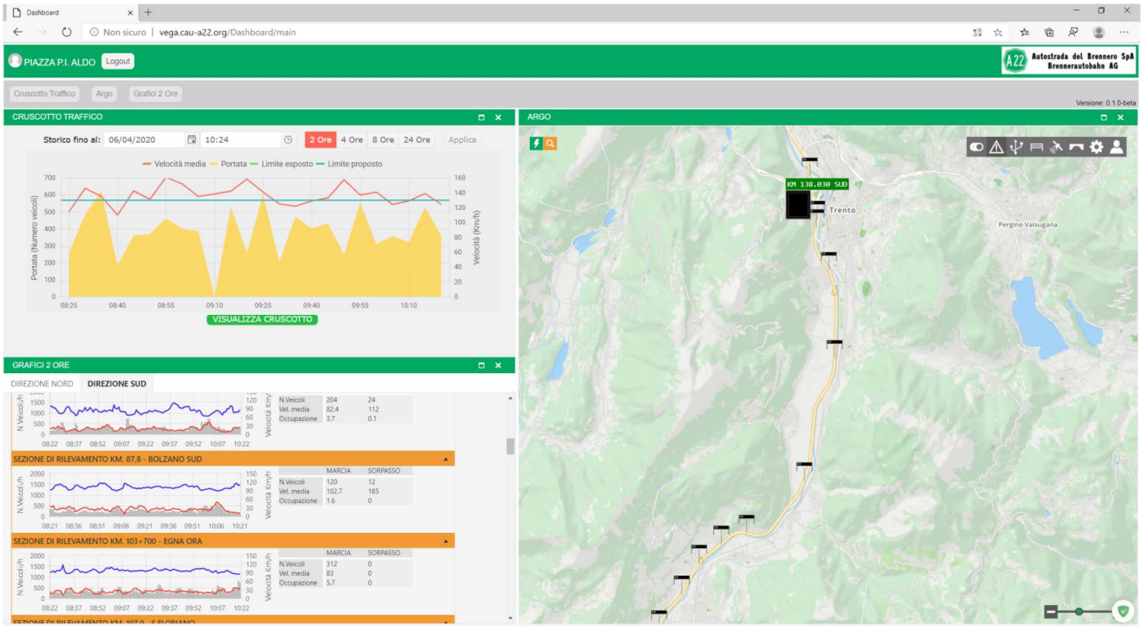

Figura 21: Interfaccia del sistema di gestione semi-automatica dei limiti di velocità.

5.3. 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 Utenza, è stata effettuata un'analisi dei tempi di percorrenza dei veicoli nei fine settimana di maggior traffico dei mesi di dicembre 2019 e gennaio 2020 dalla stazione di Trento centro a quella di Rovereto sud (poco più di 32 km).

Le giornate di questo periodo sono generalmente caratterizzate da volumi totali di traffico più bassi rispetto alle giornate estive, ma con concentrazioni orarie nelle ore diurne molto simili o addirittura superiori. Sono giornate particolari in cui si registrano forti afflussi, con punte orarie di traffico superiori ai 3000 veicoli/ora, che portano ad un rapido deterioramento dei livelli di servizio e conseguenti turbative (code, rallentamenti) molto durature. Le giornate più critiche sono quelle del rientro dal ponte dell'Immacolata, il 2 gennaio ed il rientro dell'Epifania, legate all'afflusso turistico per i mercatini di Natale e all'inizio della stagione sciistica. Essendo giornate particolari in cui i volumi di traffico sono condizionati dalla possibilità di fare il "ponte" in base alla combinazione dei giorni della settimana in cui cadono le festività, si è deciso di confrontare le giornate in cui si sono effettuati i test con le analoghe giornate dei mesi di dicembre 2013 e gennaio 2014, che presentavano una distribuzione delle festività analoga ai mesi di dicembre 2019 e gennaio 2020.

Sono state analizzate in totale 13 giornate, in 9 delle quali è stata operata la riduzione dei limiti di velocità suggerita dal sistema semi-automatico di gestione del traffico. Nelle restanti 4 giornate invece il sistema semi-automatico non è stato utilizzato.

Mediamente nella tratta di test sono transitati più di 30000 veicoli al giorno (dai 26000 dell'8 dicembre ai 35000 del 5 gennaio), di cui l'86% 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 22, il numero di veicoli transitato nelle giornate in cui è stato utilizzato il sistema semi-automatico di gestione del traffico è superiore a quello presente nelle giornate di confronto.

In condizioni di flusso libero il tempo medio teorico di percorrenza 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 28 minuti, con velocità medie di 74 km/h. Purtroppo il calcolo dei tempi di percorrenza per le giornate dell'anno 2013 e 2014 non è stato possibile a causa di problematiche legate alla storicizzazione dei dati. Comunque, il

confronto con le giornate di test si è potuto effettuare ugualmente per quanto riguarda i volumi di traffico, le velocità medie, seppur puntuali su una sezione di rilevamento traffico, e per quanto riguarda la durata delle turbative. Nella fascia oraria 8-20, utilizzando il sistema semi-automatico di gestione dinamica delle velocità ed in presenza di volumi di traffico superiori a quelli senza il sistema, sono state registrate velocità medie più elevate e durate medie delle turbative inferiori di 2 ore.

	NO	SI	confronto
test con il sistema semi-automatico di gestione	7	9	
numero medio veicoli transitati nella fascia 0-24	27.200	30.115	+ 11%
numero medio veicoli transitati nella fascia 8-20	23.916	25.799	+ 8%
% veicoli transitati nella fascia 8-20	88%	86%	- 2,4%
tempo (min) medio di percorrenza tratto Trento c. - Rovereto s. nella fascia 8-20	non disponibile	28	-
velocità (Km/h) media	72	74	+ 3%
durata turbative al traffico (ore)	7	5	- 25%
tempo (min) medio teorico di percorrenza tratto Trento c. - Rovereto s.	20	20	
differenza (min) tra tempo medio registrato nella fascia 8-20 e tempo teorico	-	+ 8	
differenza (%) tra tempo medio registrato nella fascia 8-20 e tempo teorico	-	+ 38%	-

Figura 22: 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 27 viene proposto il confronto dei tempi di percorrenza tra una giornata in cui si è utilizzato il sistema semi-automatico di gestione delle velocità (2 gennaio 2020) ed una in cui non è stato utilizzato (2 gennaio 2014). Nella giornata del 2 gennaio 2020, nonostante il maggior numero di veicoli transitanti sia nell'arco della giornata (32072 veicoli transitati, 21% in più rispetto alla giornata del 2 gennaio 2014, sia nella fascia oraria 8-20, 27714 transiti, 19% in più del 2 gennaio 2014) la velocità

media è risultata più alta del 4% (55 km/h contro 53 km/h) e la durata delle turbative inferiore di 2 ore (-20%).

Una sintesi degli indicatori viabilistici relativi a tutte le giornate di test analizzate è proposto in Tabella 11: 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 dicembre 2013 e il gennaio 2014 e tra il dicembre 2019 e il gennaio 2020.

	gio 02/01/2014	gio 02/01/2020	confronto
test con il sistema semi-automatico di gestione	NO	SI	
numero veicoli transitati nella fascia 0-24	26.581	32.072	+ 21%
numero veicoli transitati nella fascia 8-20	23.233	27.714	+ 19%
% veicoli transitati nella fascia 8-20	87%	86%	- 1%
tempo (min) medio di percorrenza tratto Trento c. - Rovereto s. nella fascia 8-20	non disponibile	35	-
velocità (Km/h) media	53	55	+ 4%
durata turbative al traffico (ore)	10	8	- 20%
tempo (min) medio teorico di percorrenza tratto Trento c. - Rovereto s.	20	20	
differenza (min) tra tempo medio registrato nella fascia 8-20 e tempo teorico	-	+ 15	
differenza (%) tra tempo medio registrato nella fascia 8-20 e tempo teorico	-	+ 75%	-

Figura 23: Confronto dei tempi di percorrenza nel tratto Trento centro - Rovereto sud nella giornata del 2 gennaio 2014 (senza sistema semi-automatico di gestione del traffico) e nella giornata del 2 gennaio 2020 (con sistema semi-automatico di gestione del traffico).

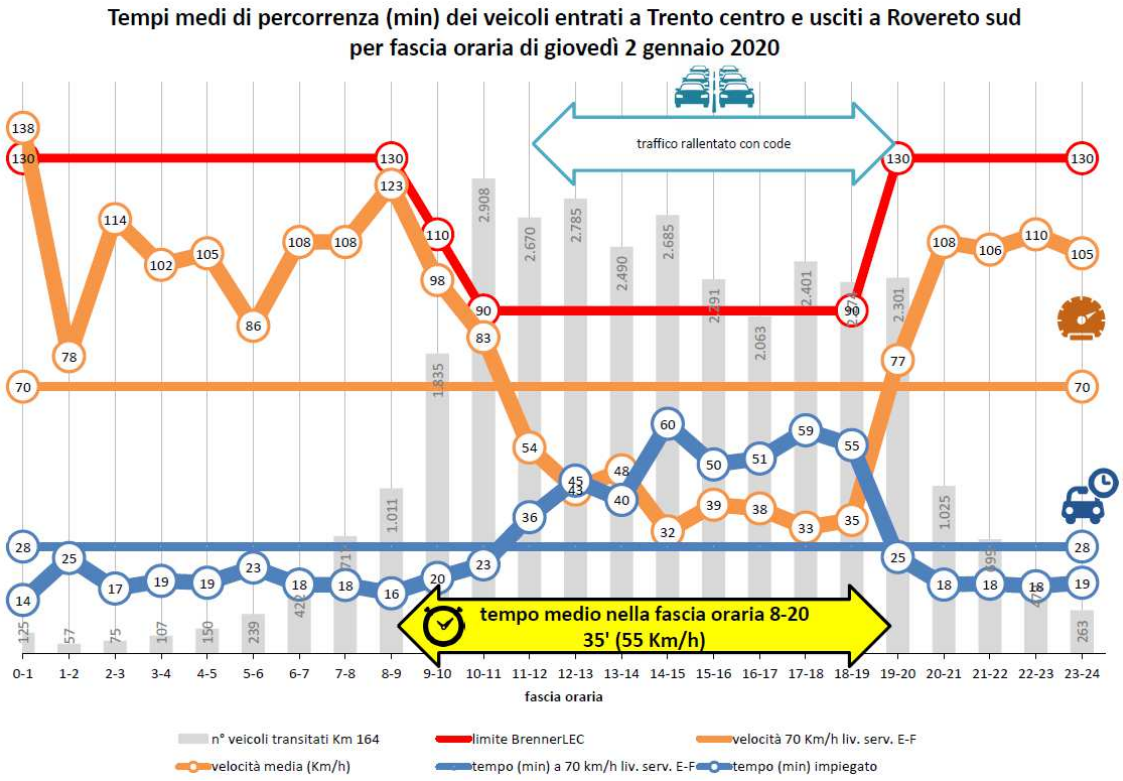

Figura 24: Riassunto delle principali variabili trasportistiche rilevate il 2 gennaio 2020.

Data	Presenza del sistema semi-automatico di gestione della velocità	Numero di veicoli 0-24	Numero di veicoli 8-20	% veicoli fascia 8-20	Tempo medio percorrenza Trento c. - Rovereto s. 8-20 [min]	Velocità media [km/h]	Durata turbative [ore]
dom 08/12/2013	NO	25'494	22'180	87	-	70	5
dom 15/12/2013	NO	25'924	22'373	86	-	73	5
mer 01/01/2014	NO	25'743	22'743	88	-	87	3
gio 02/01/2014	NO	26'581	23'233	87	-	53	10
sab 04/01/2014	NO	28'473	25'292	89	-	67	9
dom 05/01/2014	NO	27'434	24'622	90	-	72	8
lun 06/01/2014	NO	30'751	26'969	88	-	80	8
dom 08/12/2019	SI	25'920	21'848	84	26	75	6
dom 15/12/2019	SI	27'600	23'440	85	25	78	4
sab 28/12/2019	SI	28'619	25'104	88	19	102	0
dom 29/12/2019	SI	28'625	25'149	88	20	97	3
mer 01/01/2020	SI	28'841	25'442	88	24	81	2
gio 02/01/2020	SI	32'072	27'714	86	35	55	8
sab 04/01/2020	SI	32'076	27'516	86	32	61	8
dom 05/01/2020	SI	35'468	28'307	80	36	54	8
lun 06/01/2020	SI	31'816	27'673	87	32	61	7

Tabella 11: 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 dicembre 2013 e il gennaio 2014 e tra il dicembre 2019 e il gennaio 2020.

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

Analogamente a quanto effettuato per la fase 2, 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. I dati sono poi stati aggregati sulla giornata; in Figura 25 sono riportati i valori medi giornalieri di velocità in funzione dei 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 giornata. Sono state evidenziate in blu le giornate in cui sono stati effettuati test durante la fase 2 e in rosso le giornate in cui sono stati effettuati test durante la fase 3. In Figura 26 sono invece riportati i valori medi giornalieri di deviazione standard della velocità dei veicoli leggeri in funzione dei transiti di veicoli leggeri, sempre misurati presso la spira al km 164. Le giornate evidenziate della fase 2 sono quelle successive all'introduzione del sistema di gestione semi-automatico della velocità (01/08/2019). Come si può notare, anche nella fase 3 si sono registrate giornate con valori medi di velocità piuttosto bassi e caratterizzati da deviazione standard piuttosto elevata. Si tratta essenzialmente di giornate ad elevato traffico turistico durante le vacanze natalizie.

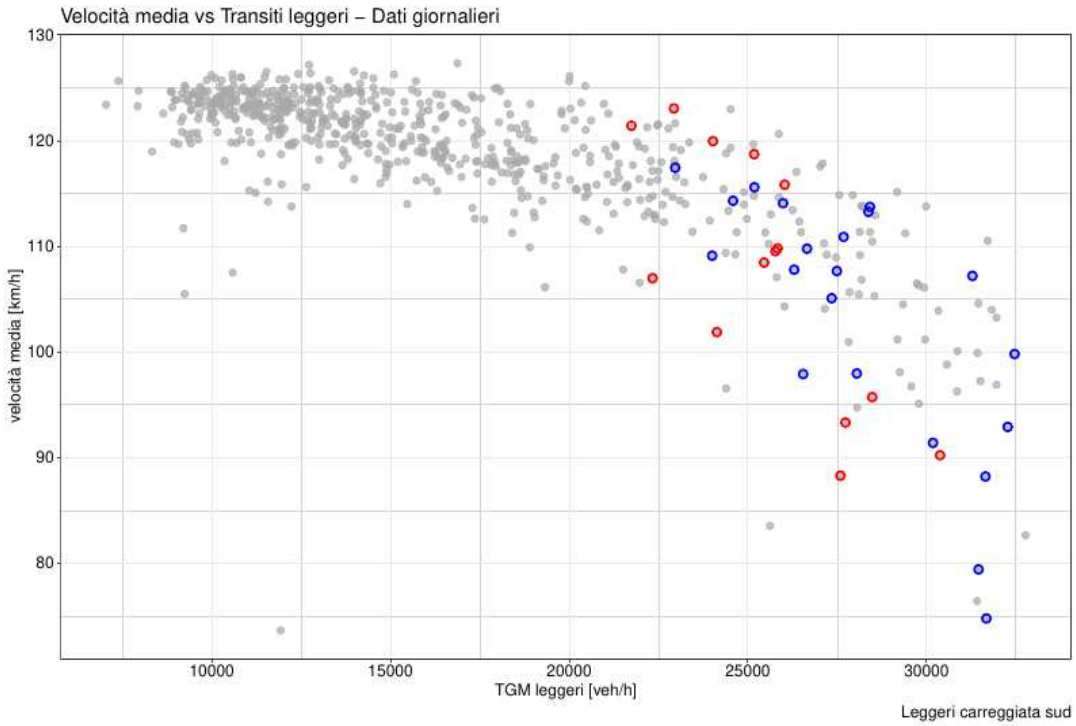

Figura 25: Dati giornalieri di velocità media e del numero di transiti di veicoli leggeri misurati presso la spira al km 164 dal 18/04/2018: i punti blu rappresentano le giornate di test durante la fase 2, i punti rossi quelle durante la fase 3.

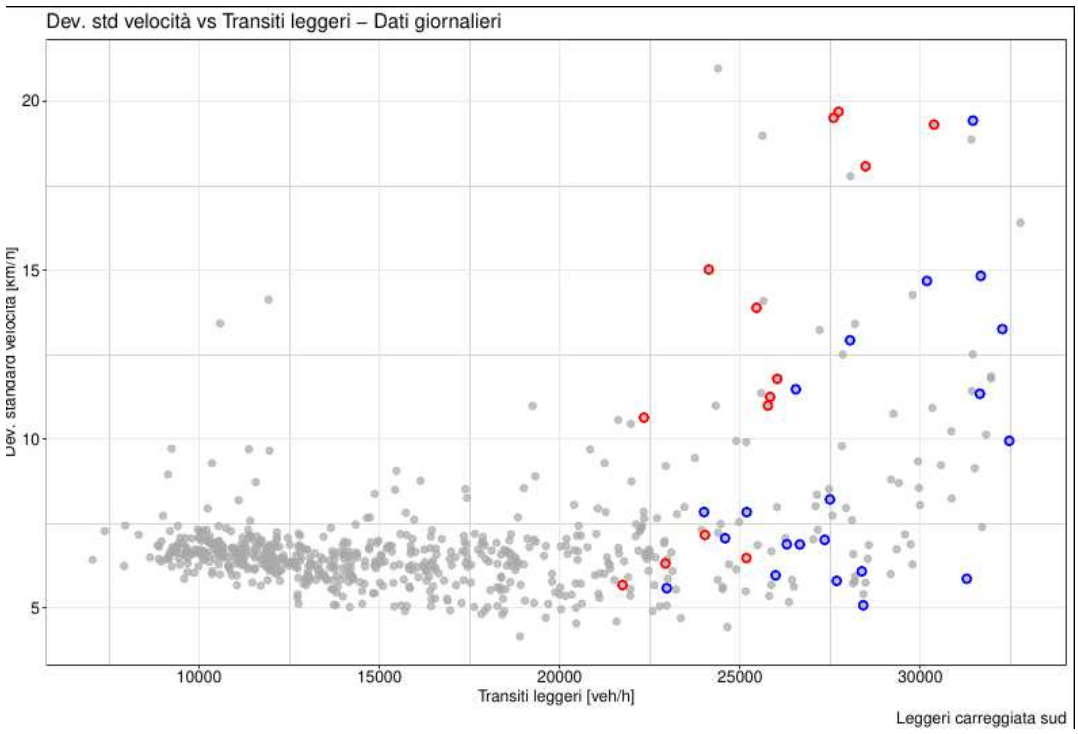

Figura 26: Dati orari di deviazione standard della velocità e del numero di transiti di veicoli leggeri misurati presso la spira al km 164 dal 18/04/2018: i punti blu rappresentano le giornate di test durante la fase 2, i punti rossi quelle durante la fase 3.

Come già osservato durante la fase 2, il sistema semi-automatico di gestione dei limiti di velocità è riuscito in alcune giornate della fase 3 a ridurre il verificarsi di episodi di stop&go e a incrementare la velocità media di transito e di conseguenza a diminuire i tempi di percorrenza. In altri casi, nonostante l'utilizzo del sistema di gestione semi-automatico, le condizioni del traffico non hanno consentito di evitare fenomeni di stop&go con code e rallentamenti (Figura 27).

Il numero di giornate in cui sono stati effettuati test B3 durante la fase 3 è piuttosto ridotto; le analisi presentate in questo report andranno ripetute dopo che sarà stato possibile effettuare un maggior numero di test e di conseguenza incrementare il campione statistico per valutare più correttamente l'efficacia di questo sistema di gestione.

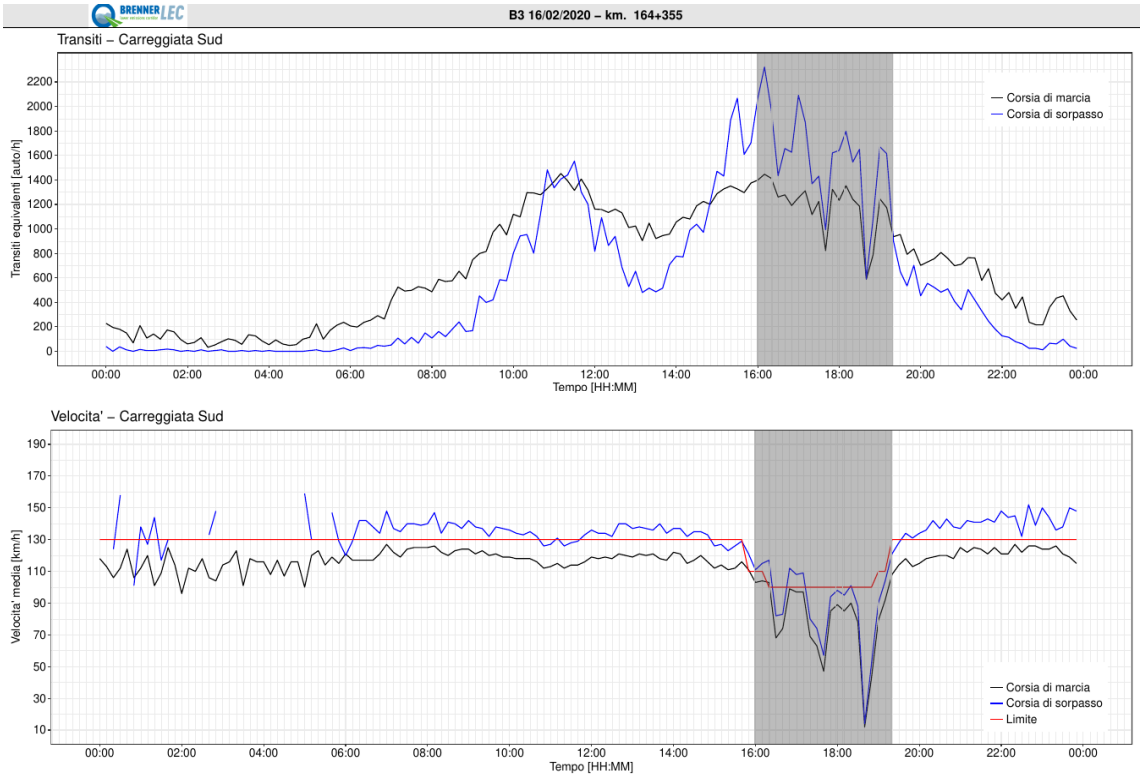

Figura 27: Andamento temporale dei transiti di veicoli leggeri e delle velocità medie presso la spira al km 164 nella giornata del 16/02/2020.

5.5. 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/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 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 della seguente espressione:

$$Indicecongest. = \frac{n.oreconveh.leggeri > 2000\,veh/h\,edev.std > 10\,km/h}{n.oreconveh.leggeri > 2000\,veh/h}$$

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, già proposto nell'analisi dei dati della fase 2, è riportato nelle Figure Figura 28 e Figura 29. In queste figure è possibile distinguere le giornate di fase 2 e 3 in cui è stato testato il sistema semi-automatico di gestione della velocità.

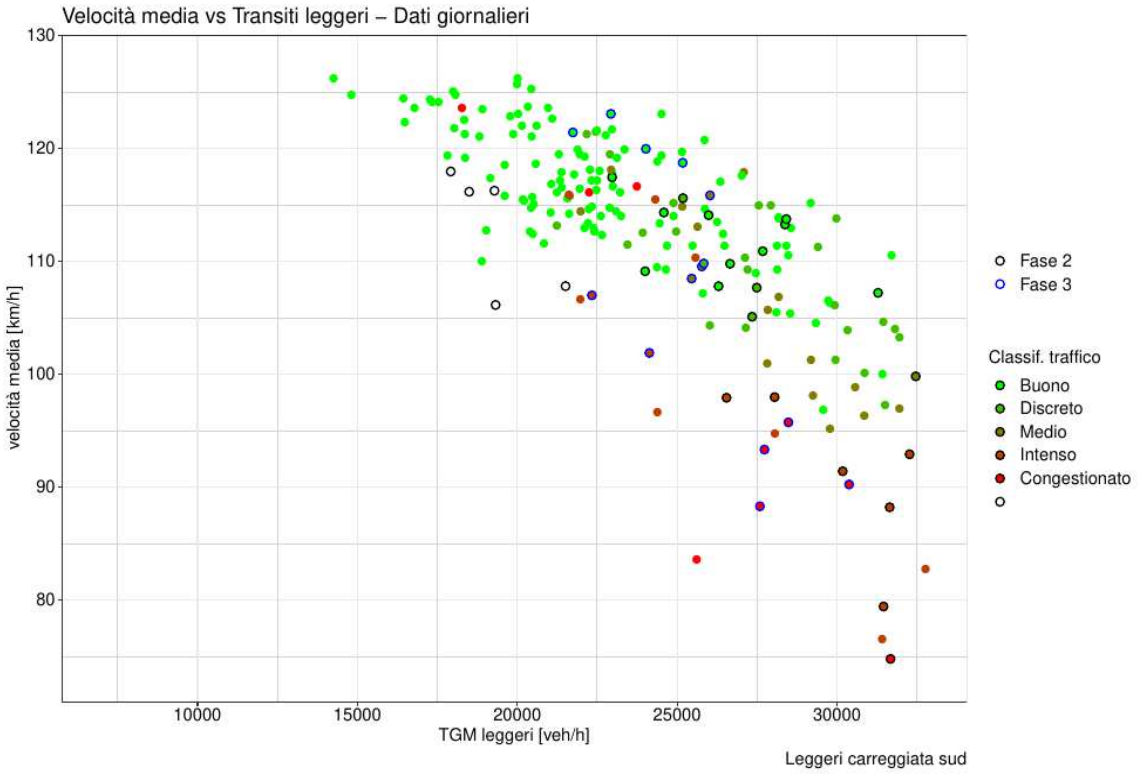

Figura 28: Classificazione del traffico, velocità media e numero di transiti di veicoli leggeri misurati presso la spira al km 164 dal 18/04/2018 - valori medi giornalieri.

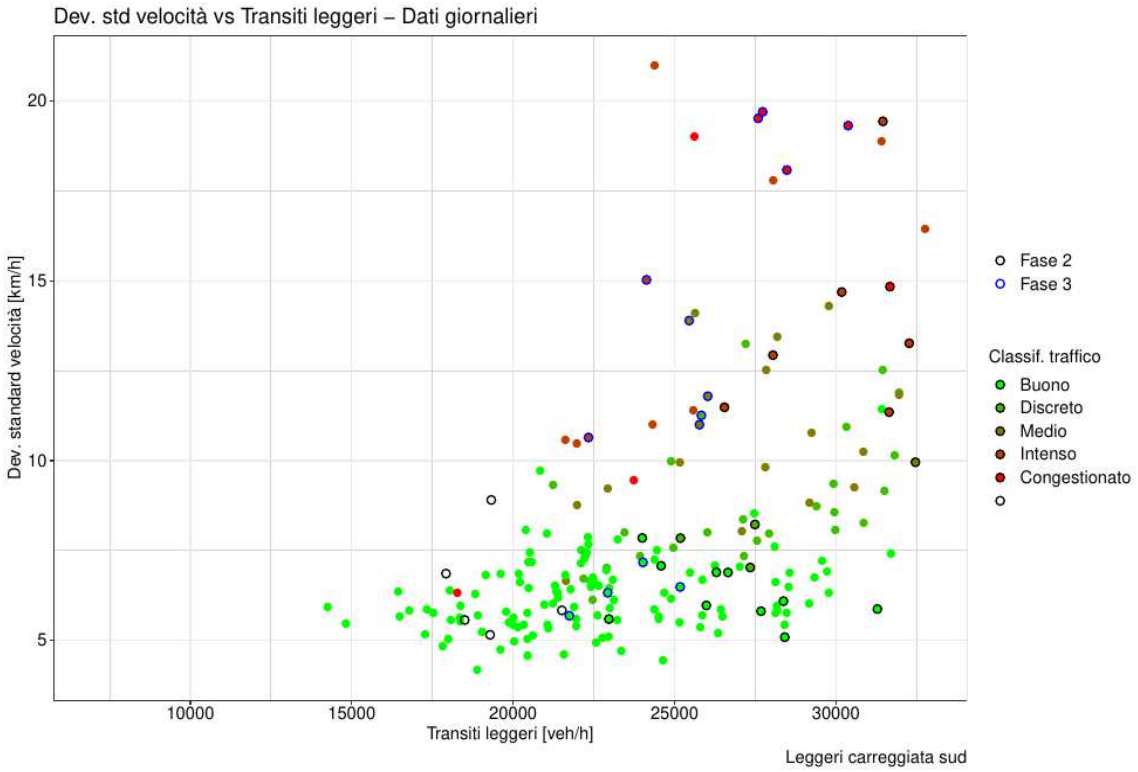

Figura 29: Classificazione del traffico, deviazione standard della velocità e numero di transiti di veicoli leggeri misurati presso la spira al km 164 dal 18/04/2018 - valori medi giornalieri.

In alcuni casi 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. 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 30, 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.

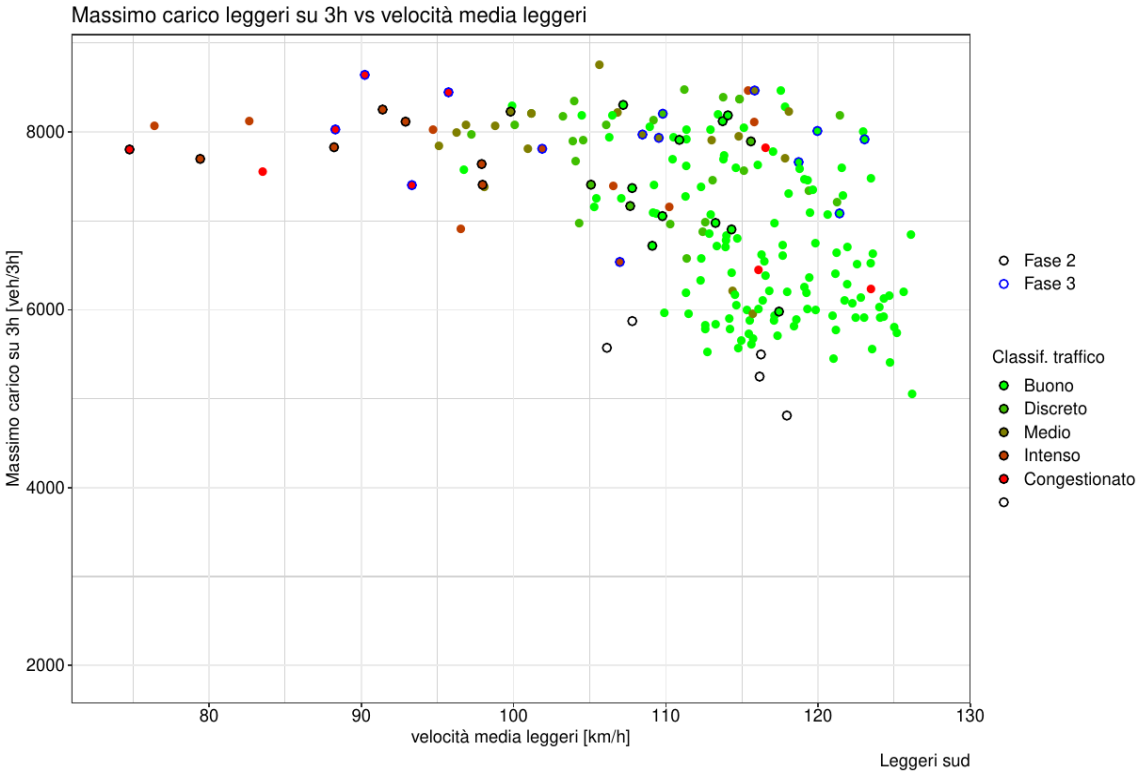

Figura 30: Classificazione del traffico, massimo carico di veicoli leggeri su tre ore e numero totale di transiti di veicoli leggeri misurati presso la spira al km 164 dal 18/04/2018 e presenza del sistema semi-automatico - valori giornalieri.

L'utilizzo di un sistema semi-automatico per la gestione dei limiti dinamici di velocità riveste 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.

Essendo limitato il numero di giornate in cui il sistema di gestione semi-automatico della velocità è stato testato durante la fase 3, sarà necessario avere a disposizione ulteriori dati per poter mettere in luce il ruolo importante di questo sistema, sul medio/lungo periodo, nel ridurre il verificarsi di episodi di congestionamento del traffico e di stop&go, mantenendo al contrario velocità maggiori e quindi una maggiore fluidificazione del traffico.

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

Nelle Figure 31 e 32 vengono riportate le emissioni di biossido di carbonio CO_2 e di ossidi di azoto NO_x nelle diverse giornate dall'inizio della sperimentazione fino a marzo 2020. 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, calcolata facendo riferimento alla stima delle emissioni del parco auto circolante dei veicoli leggeri.

Come già osservato per i dati di fase 2, anche per le giornate di sperimentazione di fase 3 in alcuni casi le condizioni del traffico sono state tali da garantire traffico più fluido e basse emissioni; in altri casi le emissioni sono state molto maggiori di quelle che si avrebbero avuto a velocità costanti, proprio per il continuo verificarsi di fenomeni di stop&go.

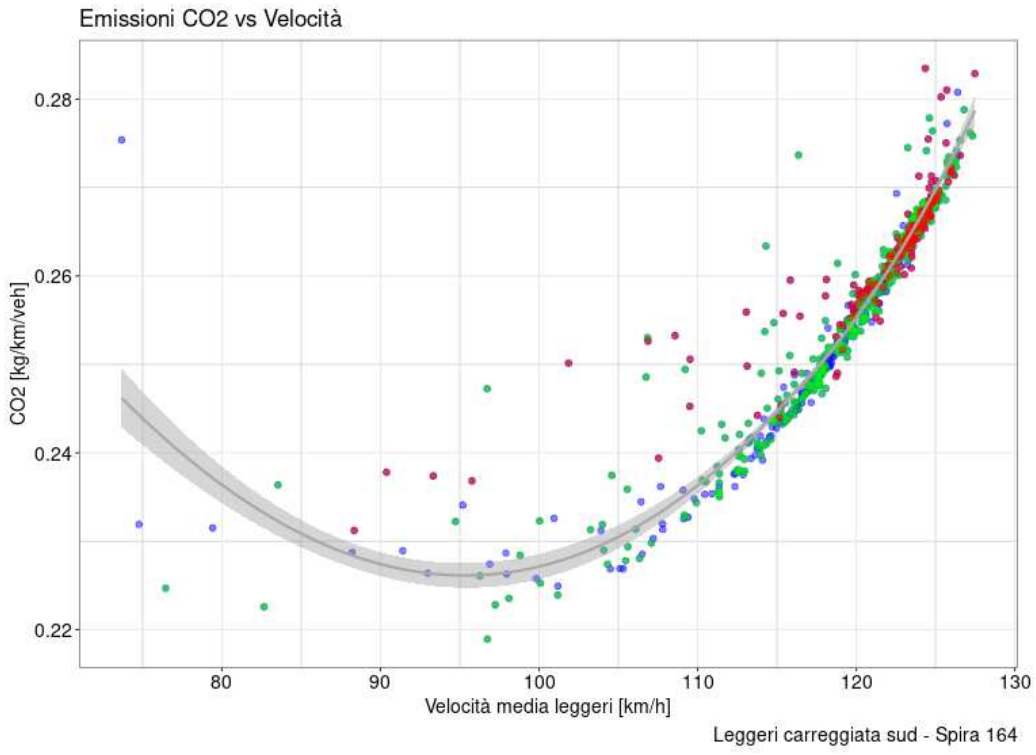

Figura 31: Emissioni di biossido di carbonio CO_2 durante ciascuna giornata di test per veicolo leggero per chilometro di tratta percorsa; i punti in verde si riferiscono alle giornate di fase 2, quelli in rosso alle giornate di fase 3.

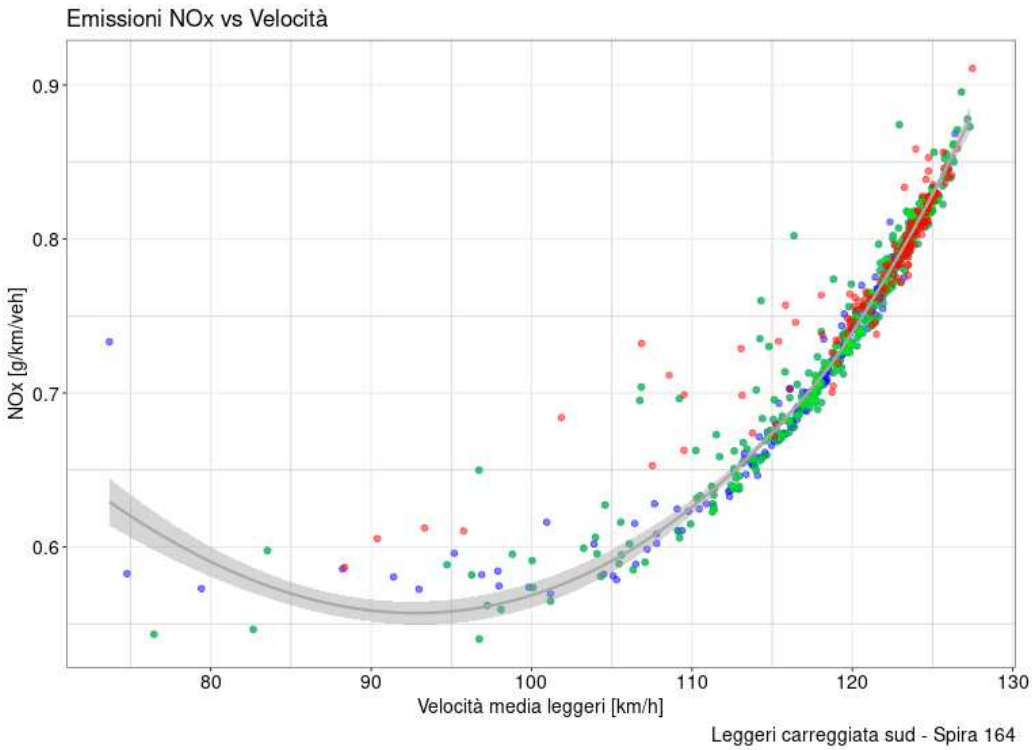

Figura 32: Emissioni di ossidi di azoto NO_X durante ciascuna giornata di test per veicolo leggero per chilometro di tratta percorsa; i punti in verde si riferiscono alle giornate di fase 2, quelli in rosso alle giornate di fase 3.

6. Conclusioni

L'emergenza legata alla pandemia Covid-19 ha interrotto anticipatamente la fase 3 delle sperimentazioni delle politiche di gestione del traffico a fini ambientali e viabilistici, non permettendo di raccogliere la mole di informazioni prevista. Infatti, anche se durante l'estate 2020 si è verificato un incremento del traffico, da una parte esso è rimasto comunque inferiore rispetto ai valori degli anni precedenti, con poche giornate con flussi di traffico tali da giustificare l'introduzione dei limiti di velocità a fini viabilistici, dall'altra parte la situazione emergenziale ha costretto il Centro Assistenza Utenza (CAU) di Autobrennero ad operare in una situazione di personale ridotto, che non avrebbe consentito un'adeguata supervisione delle attività sperimentali.

Ciononostante, le analisi condotte sui dati raccolti hanno permesso di evidenziare diversi risultati significativi, che vengono di seguito sintetizzati dapprima per l'azione B4 (gestione del traffico a fini ambientali) e poi per l'azione B3 (gestione del traffico a fini viabilistici).

Azione B4

- Le sperimentazioni di fase 3 hanno confermato una minor efficacia del segnale di velocità consigliata rispetto al pittogramma di limite di velocità (cogente), il quale era stato esposto durante le sperimentazioni della fase 1 di progetto. Durante l'intero periodo di attivazione dei test a fini ambientali di fase 3, la velocità media di transito dei veicoli leggeri è risultata pari a 118 km/h, superiore di 9 km/h rispetto a quella misurata in occasione dell'esposizione del limite cogente. Inoltre, il rispetto della velocità consigliata è calato in modo significativo anche rispetto alla fase 2 di progetto, durante la quale era stata esposta la stessa tipologia di segnaletica. La velocità media mantenuta dai veicoli leggeri durante tutte le sperimentazioni di fase 2 era stata pari a 114 km/h, 4 km/h inferiore rispetto alla fase 3.
- L'analisi dei dati di qualità dell'aria misurati a bordo autostrada ha evidenziato che i test di riduzione della velocità non hanno portato risultati significativi dal punto di vista ambientale, con concentrazioni non sostanzialmente diverse tra i periodi con riduzione della velocità e quelli senza sperimentazioni in atto. Tale risultato è confermato dal confronto tra le emissioni stimate con uno scenario "*business as usual*" e quelle con le velocità effettivamente misurate durante i test della fase 3: tale confronto ha evidenziato una diminuzione solo del 4% delle emissioni di NO_x durante i test di fase 3, troppo ridotta per poter portare effetti misurabili in termini di concentrazioni a bordo autostrada.
- La stima delle emissioni prodotte dai veicoli leggeri in diversi scenari di rispetto del limite di

velocità ha evidenziato come l'introduzione di un sistema di controllo delle velocità di tipo section control potrebbe portare a riduzioni delle emissioni di NO_x del 25% e di CO_2 del 13%.

Azione B3

- L'analisi degli indicatori trasportistici in diverse giornate con traffico intenso ha evidenziato come l'utilizzo di un sistema semi-automatico di gestione dei limiti di velocità consenta di ottenere benefici significativi in termini di fluidificazione del traffico, con situazioni di stop&go meno frequenti e una riduzione dei tempi di percorrenza.
- L'analisi ha inoltre evidenziato come l'adozione del sistema semi-automatico di gestione dei limiti di velocità e la conseguente fluidificazione del traffico abbia un effetto positivo anche sulle emissioni di ossidi di azoto e di anidride carbonica, con una riduzione significativa.
- Turbative significative al traffico sono state però riscontrate anche in alcune giornate in cui è stato adottato il sistema semi-automatico di gestione dei limiti di velocità, poiché le variabili che influenzano il traffico sono molteplici e in alcune situazioni anche fattori molto casuali, come ad esempio il comportamento dell'automobilista, possono avere ripercussioni significative sulla fluidità del traffico.

Durante il periodo di interruzione delle attività sperimentali a causa dell'emergenza Covid-19 sono stati messi a punto tutti gli strumenti necessari per lo svolgimento della successiva fase 4 di progetto, che, a seguito della proroga concessa dalla Commissione Europea, si prolungherà sino alla fine dell'estate 2021. Infatti, a causa della pandemia Covid-19 è stato necessario definire un recovery plan che consentisse di completare in maniera appropriata le sperimentazioni previste dal progetto.

Per quanto riguarda l'azione B4, l'obiettivo dell'ultima fase di progetto sarà quello di dotare il Centro Assistenza Utenti (CAU) del gestore autostradale di un sistema di intervento testato ed efficace, che sia potenzialmente applicabile su ogni tratta di competenza. Il fine ambientale che si vuole perseguire nell'ultima fase del progetto consiste nel raggiungere un valore obiettivo di concentrazione di NO_2 presso determinati recettori individuati nei pressi del sedime autostradale. La segnaletica di velocità consigliata ridotta verrà esposta sulla base di previsioni di qualità dell'aria, oltre che in funzione delle concentrazioni di inquinanti misurate in continuo. Tali attività mireranno a fornire un sistema automatizzato o semi automatizzato di intervento sulla velocità massima consentita, che permetta al decisore di scegliere il giusto equilibrio tra "intensità" della misura di riduzione della velocità e

compatibilità socio-economica della stessa. I parametri che dovranno essere messi a disposizione del decisore e che sono interdipendenti l'uno dall'altro sono:

- la concentrazione media annuale di NO_2 che si vuole ottenere presso il ricettore più esposto;
- l'intensità della riduzione della velocità (dipendente anche dalla segnaletica utilizzabile);
- la frequenza dell'esposizione (normalmente espressa in ore/anno).

Per quanto riguarda l'azione B3, nell'ultima fase di progetto si intende testare in maniera più frequente il sistema semi-automatico di gestione dei limiti di velocità, per poter mettere in luce il suo ruolo importante, sul medio/lungo periodo, nel ridurre il verificarsi di episodi di congestionamento del traffico e di stop&go, mantenendo al contrario velocità maggiori e quindi una maggiore fluidificazione del traffico. Le sperimentazioni verranno effettuate sull'intera tratta BLEC-ENV, cioè da Bolzano nord fino a Rovereto sud, con la suddivisione in tre sotto-tratte, per una migliore gestione dei limiti di velocità. Inoltre, nell'estate 2020 sono stati installati 3 nuovi pannelli a messaggio variabile fotovoltaici, uno dei quali in carreggiata nord, in modo da poter testare la gestione dei limiti di velocità a fini viabilistici anche in carreggiata nord nel tratto BLEC-AQ (T2).