



# LIFE BrennerLEC

Ridurre l'inquinamento  
da traffico mediante la  
regolazione della  
velocità dei veicoli

ing. Gianluca Antonacci  
ing. Valentina Miotto



Autostrada del Brennero SpA  
Brennerautobahn AG

AUTONOME  
PROVINZ  
BOZEN  
SÜDTIROL



PROVINCIA  
AUTONOMA  
DI BOLZANO  
ALTO ADIGE



PROVINCIA AUTONOMA DI TRENTO



UNIVERSITÀ  
DI TRENTO



TECHPARK SÜDTIROL/ALTO ADIGE



Autostrada del Brennero SpA  
Brennerautobahn AG



## IL PROGETTO «BRENNER LOWER EMISSIONS CORRIDOR»

### Partner

Autostrada del Brennero - A22 (coordinatore)  
APPA - Provincia Autonoma di Bolzano  
APPA - Provincia Autonoma di Trento  
Università degli Studi di Trento  
CISMA  
NOI Techpark Südtirol / Alto Adige

### Durata attesa

01.09.2016 - 30.09.2021 (con proroga)

### Budget totale

€ 4.018.005

### Budget eleggibile

€ 3.311.365

### Co-finanziamento LIFE

€ 1.922.772 (circa 60% budget eleggibile)



# OBIETTIVI



Sviluppare un concetto di  
«**Lower Emissions Corridor**»

applicabile all'autostrada del Brennero attraverso  
politiche dinamiche di gestione del traffico

Cercando di ottenere

il **massimo del beneficio ambientale**  
con il minimo dei disagi per l'utente,

garantendo in ogni situazione  
il **massimo livello di sicurezza**

AlpineBLEC: Kufstein (A) - Affi (I)





## RIDUZIONE DEI LIMITI DI VELOCITA' AI FINI VIABILISTICI

Bolzano Nord – Rovereto Sud (circa 90 km)

in condizioni di traffico intenso

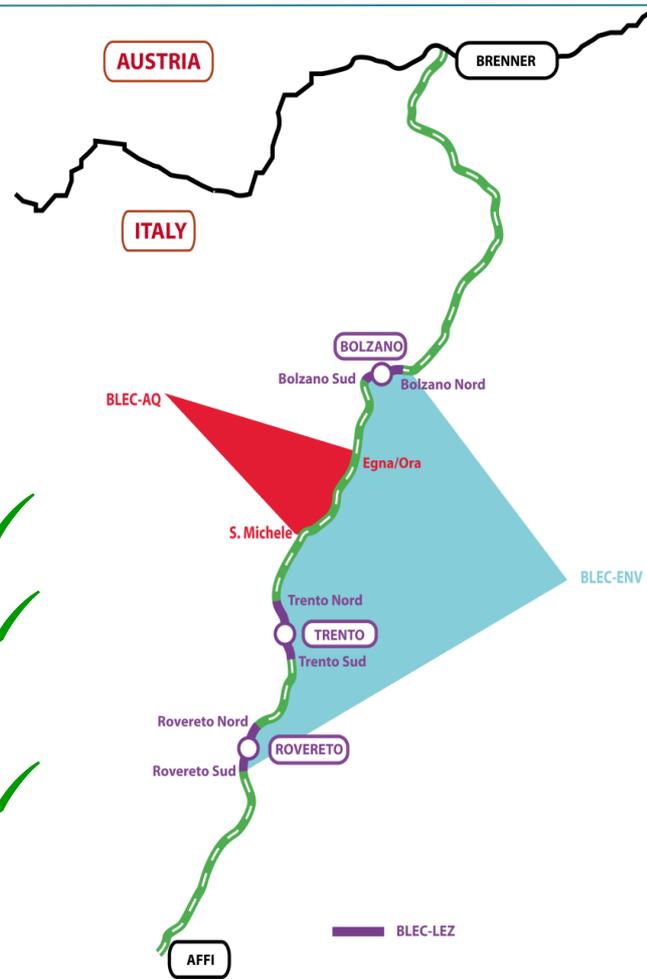
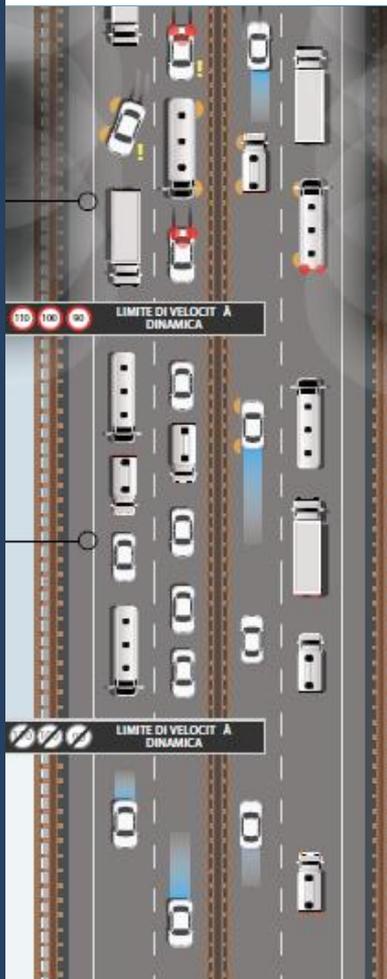


... per aumentare la capacità autostradale ✓

... per fluidificare il traffico e ridurre le ✓

condizioni di stop&go

... per ridurre l'inquinamento ✓





## RIDUZIONE DEI LIMITI DI VELOCITA' AI FINI AMBIENTALI

Egna/Ora/Termenno – S.Michele (circa 20 km)

in condizioni di elevate concentrazioni di inquinanti nell'aria



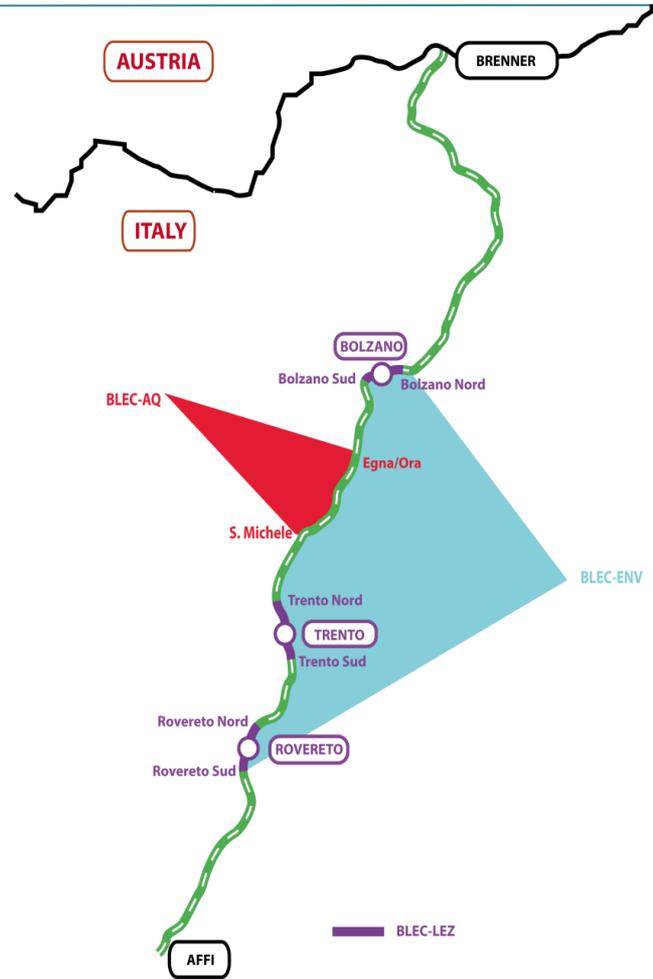
*per ridurre le emissioni*



Fase 1



Fasi 2-3-4





Autostrada del Brennero SpA  
Brennerautobahn AG

AUTONOME PROVINZ BOZEN SÜDTIROL  
PROVINCIA AUTONOMA DE BULSAN SÜDTIROL



PROVINCIA AUTONOMA DI BOLZANO ALTO ADIGE

PROVINCIA AUTONOMA DI TRENTO

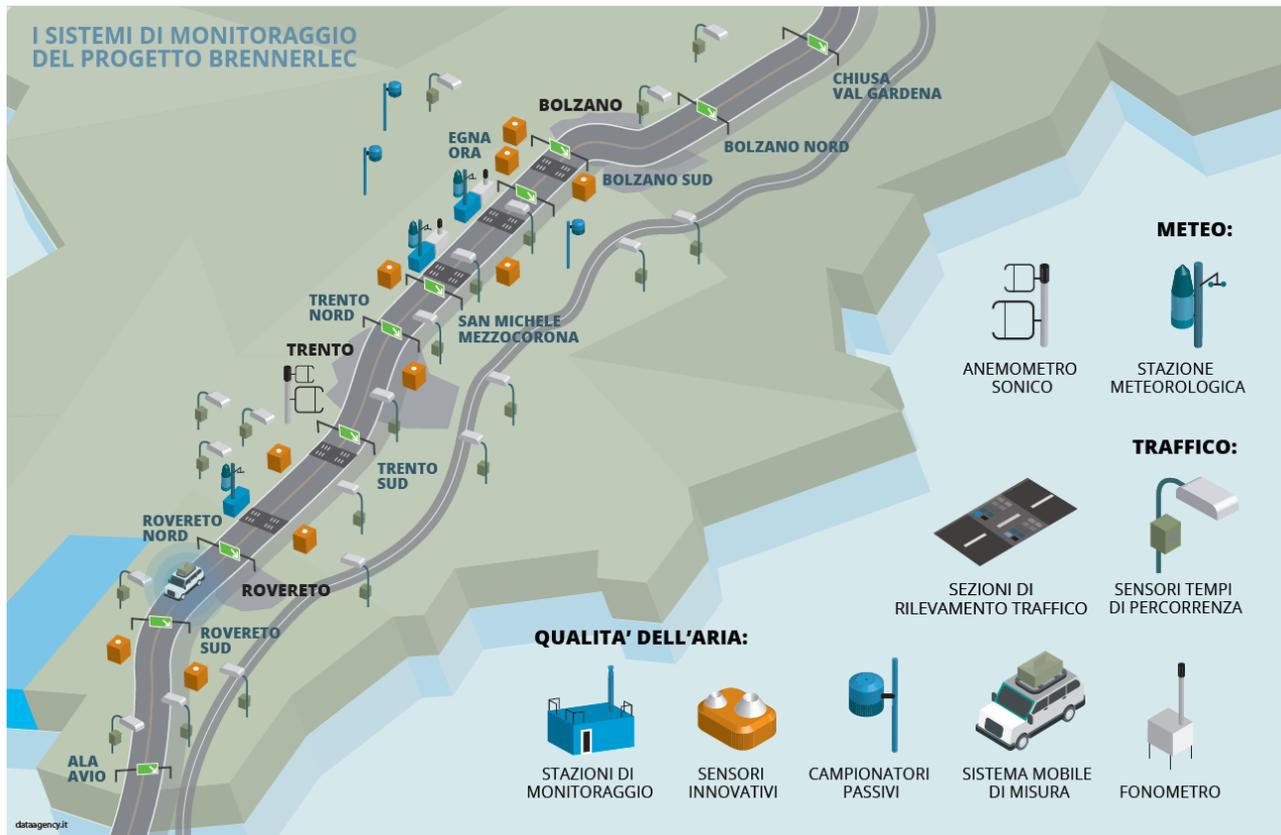


UNIVERSITÀ DI TRENTO



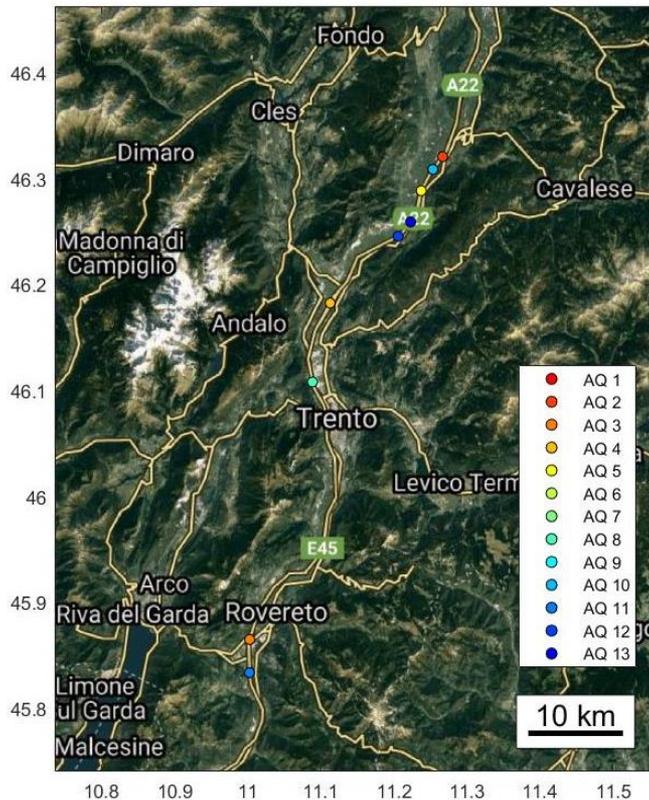
Lungo il tratto di progetto (90 km) sono installati sistemi di monitoraggio del traffico, della qualità dell'aria e dei parametri meteorologici.

Festival meteorologia - 20 novembre 2021



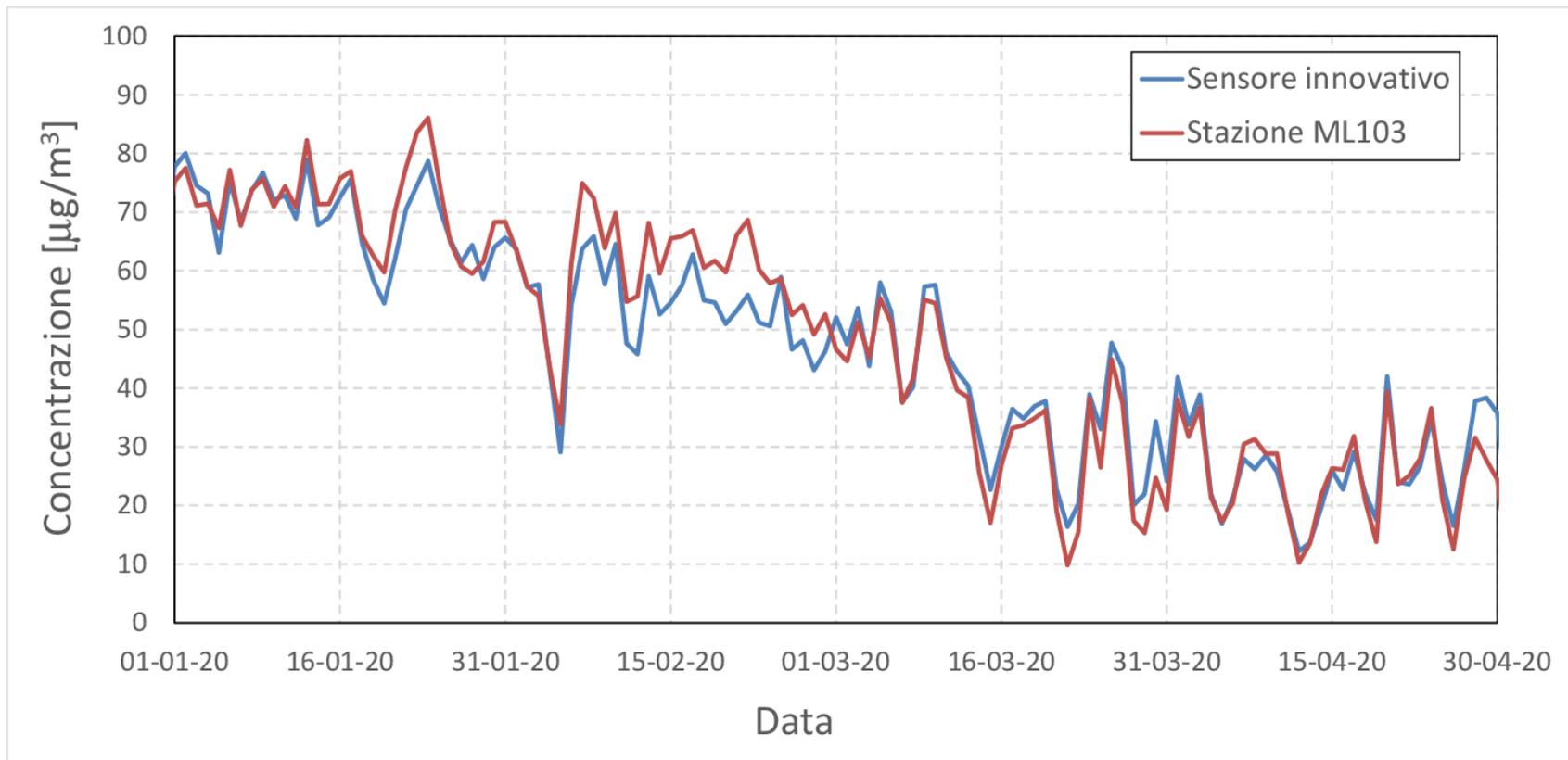
## Sensori innovativi (attività in collaborazione con CNR)

- 13 stazioni «AIRQino» installate a bordo autostrada
- Misura di NO, NO<sub>2</sub>, PM10, PM2.5, O<sub>3</sub>, CO, VOC, temperatura e umidità relativa



## Concentrazioni di NO<sub>2</sub>: confronto tra sensore innovativo e stazione di riferimento

Festival meteorologia - 20 novembre 2021





Autostrada del Brennero SpA  
Brennerautobahn AG

AUTONOME  
PROVINZ  
BOZEN  
SÜDTIROL



PROVINCIA  
AUTONOMA  
DI BOLZANO  
ALTO ADIGE

PROVINCIA AUTONOMA DE BULSAN  
SÜDTIROL



PROVINCIA AUTONOMA DI TRENTO



UNIVERSITÀ  
DI TRENTO

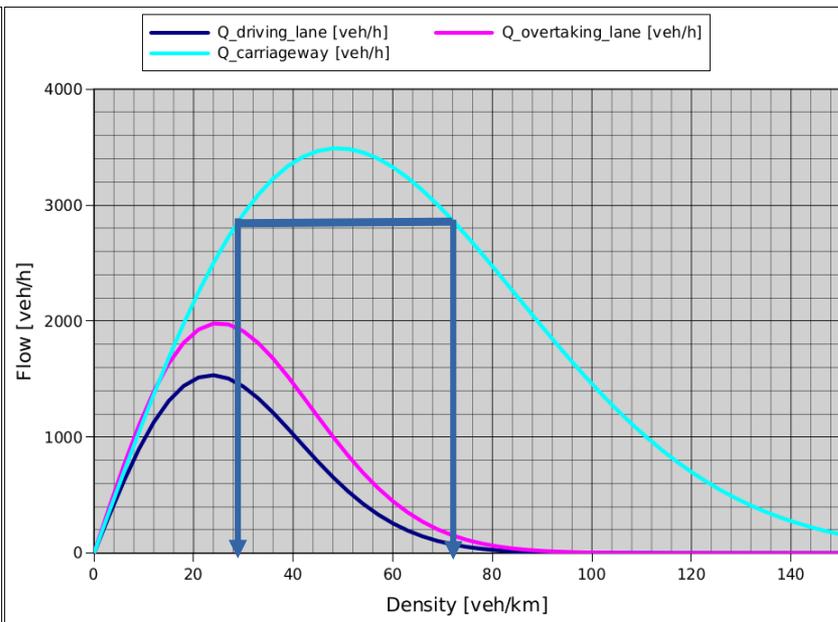
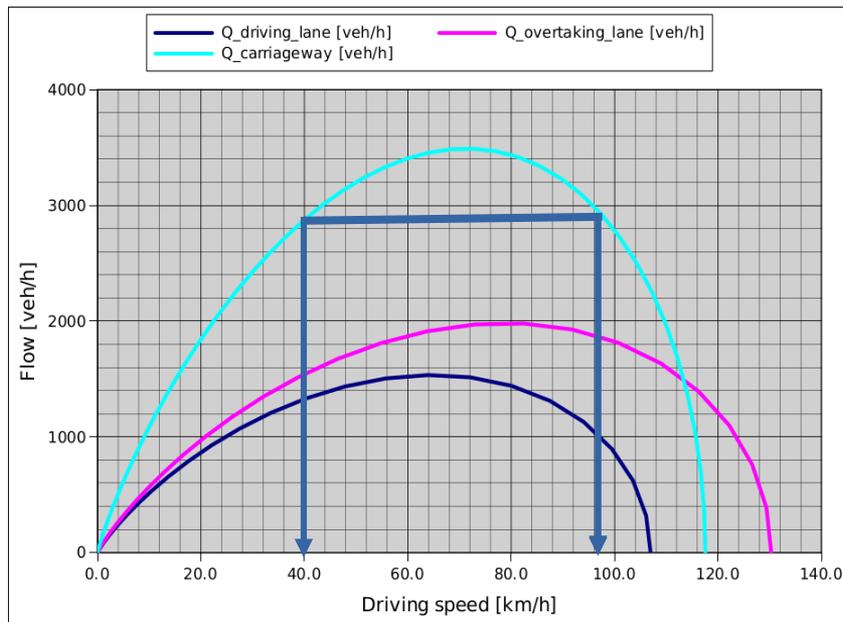


# ASPETTI TRASPORTISTICI



Festivalmeteorologia - 20 novembre 2021





- Densità di traffico, velocità e flusso sono collegati
- Esiste una velocità ottimale (dipendente dalla geometria della strada) di transito che massimizza il flusso e non è la velocità massima consentita
- Per capacità «sub-ottimale» ci sono due velocità di traffico possibili; in condizioni di alto traffico, a flusso assegnato si innesca un processo che oscilla fra i due valori

Guida indisturbata

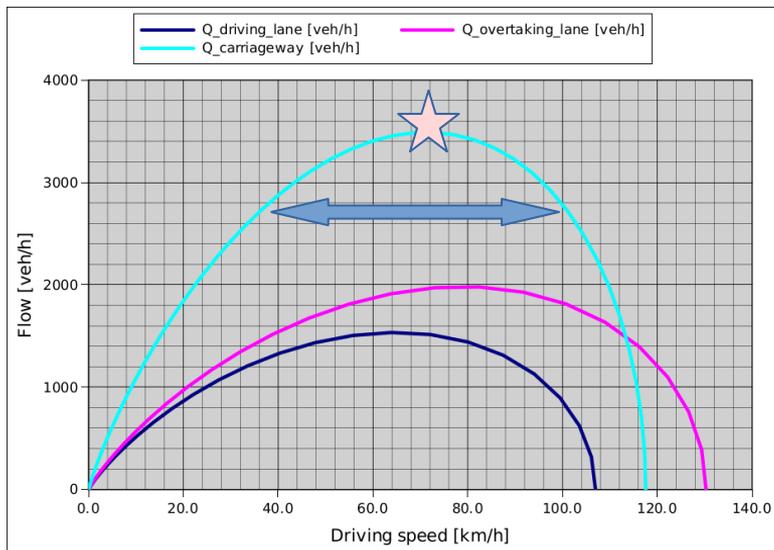


Frenata

In decelerazione



In accelerazione



- In situazioni di stop & go (alto traffico, condizioni critiche) si salta continuamente tra due stati di velocità a capacità della strada assegnata
- La ricerca della velocità ottimale ottimizza il flusso e il tempo di percorrenza

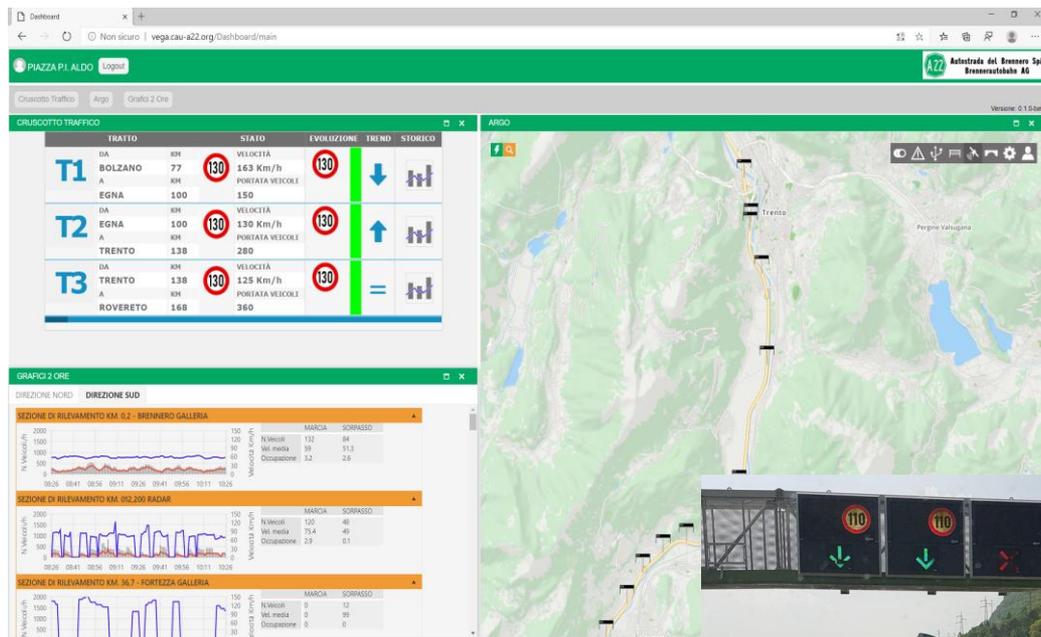


## Confronto tempi di percorrenza tratto Trento centro - Rovereto sud (B3 t3) tra le giornate del 16 agosto 2020 e del 18 agosto 2019

	dom 18/08/2019	dom 16/08/2020	confronto
test con il sistema semi-automatico di gestione 	SI	NO	
numero veicoli transitati nella fascia 0-24 	39.138	35.485	- 9%
numero veicoli transitati nella fascia 8-20 	30.003	27.987	- 7%
tempo (min) medio di percorrenza tratto Trento c. - Rovereto s. nella fascia 8-20 	31	35	+ 13%
velocità (Km/h) media 	63	55	- 13%
durata turbative al traffico (ore) 	7	9	+ 29%
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	+ 11	+ 15	
differenza (%) tra tempo medio registrato nella fascia 8-20 e tempo teorico	+ 55%	+ 75%	+ 36%

% veicoli transitati nella fascia 8-20	77%	79%	+ 3%
dati TISB95	40.103	35.984	- 10%

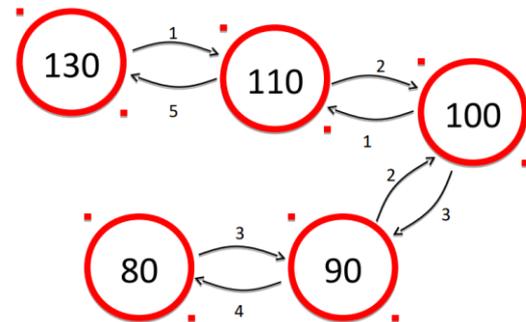
# Sistema di gestione semi-automatico per il calcolo del limite di velocità ottimale a fini viabilistici



## Macchina a stati:

Algoritmo per il calcolo in tempo reale del limite di velocità ottimale su ciascuna sottotratta individuata, basato sui dati di portata e velocità rilevati dalle spire o dai radar

- 1: Se  $105 < v < 115$  [km/h] && Portata > 1500 [veicoli]
- 2: Se  $95 < v < 105$  [km/h] && Portata > 1800 [veicoli]
- 3: Se  $85 < v < 95$  [km/h] && Portata > 2000 [veicoli]
- 4: Se  $v < 85$  [km/h] && Portata > 1500 [veicoli]



5: Nessuna delle 4 condizioni precedenti





Autostrada del Brennero SpA  
Brennerautobahn AG

AUTONOME  
PROVINZ  
BOZEN  
SÜDTIROL



PROVINCIA  
AUTONOMA  
DI BOLZANO  
ALTO ADIGE

PROVINCIA AUTONOMA DE BULSAN  
SÜDTIROL



PROVINCIA AUTONOMA DI TRENTO



UNIVERSITÀ  
DI TRENTO



# ASPETTI AMBIENTALI



Festivalmeteorologia - 20 novembre 2021



## Gestione dinamica dei limiti di velocità a fini ambientali

Analisi, sperimentazione e calibrazione delle **politiche di regolazione dinamica della velocità** delle autovetture ai fini della riduzione delle emissioni di ossidi di azoto e di CO<sub>2</sub> prodotte dal traffico

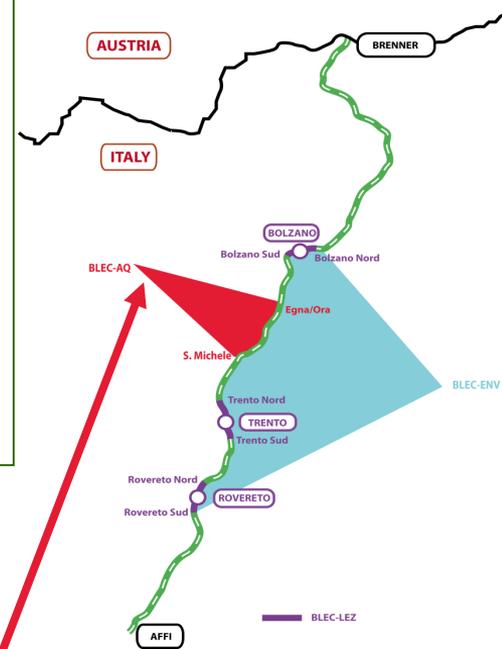
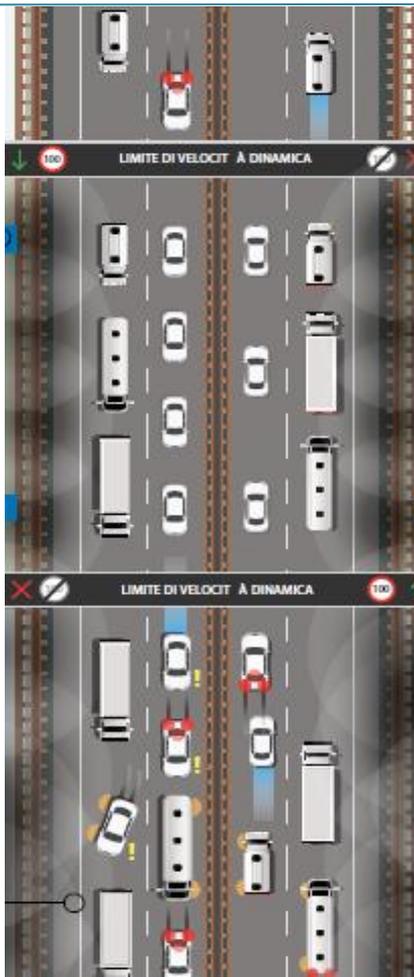
*Riduzione della velocità delle autovetture per ridurre l'inquinamento atmosferico nelle zone abitate limitrofe all'autostrada intervenendo sulla fonte emissiva.*



Fase 1



Fasi 2 e 3 e 4



Tra i caselli di Egna/Ora e S.Michele (circa 20 km)

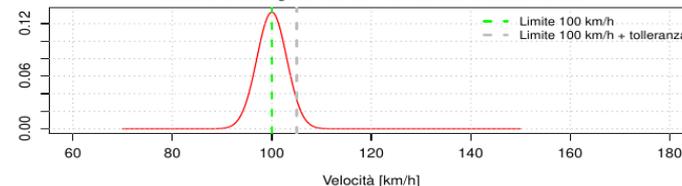
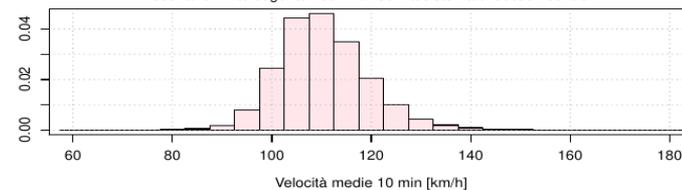
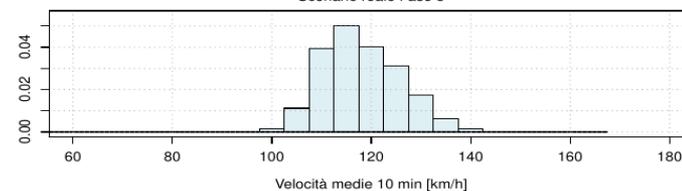
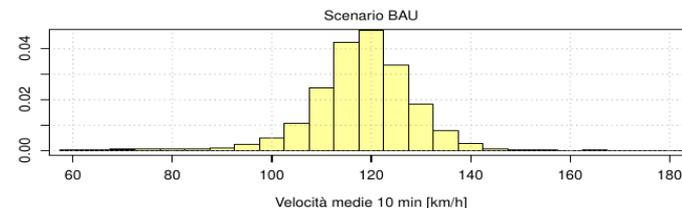


## Riassunto della sperimentazione effettuata

Confronto test	<b>Fase 1</b> 	<b>Fase 2</b> 	<b>Fase 3</b> 	<b>Fase 4</b> 
Modalità di attivazione	A calendario	A calendario	Sulla base di previsioni meteo e di traffico	Sulla base dei risultati di una catena modellistica (con modello di dispersione)
Periodo di attivazione	04/2017 - 06/2018	07/2018-08/2019	09/2019 - 03/2020	10/2020 - 09/2021
Ore di test	1367	1715	1310	1185
Velocità media N+S [km/h] durante i Test	109	114	117	118
Velocità media N+S [km/h] giorni di non-Test	123	119	121	123
<b>Delta velocità medio Test-No Test [km/h]</b>	<b>14</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>5</b>

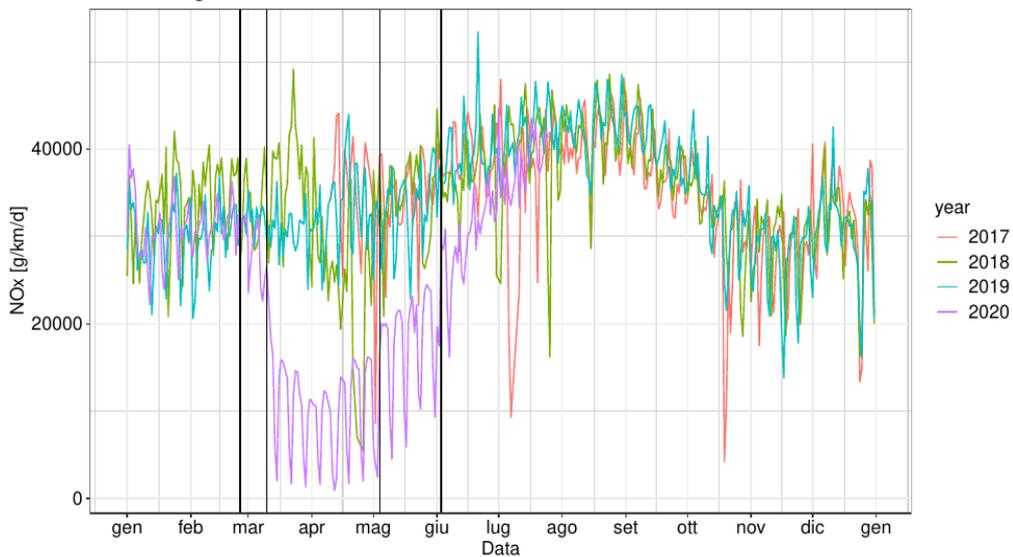
## Valutazione dell'efficacia della misura sulle emissioni dei veicoli leggeri

Scenario	Distribuzione di velocità		Riduzione emissioni NOx	Riduzione emissioni CO2
	Reale	Misurata durante «no test»		
«BAU»	Reale	Misurata durante «no test»	0.0%	0.0%
100 km/h «consigliati»	Reale	Misurata in Fase 3	-4.2%	-1.9%
100 km/h «limite»	Reale	Misurata in Fase 1	-12.0%	
100 km/h «tutor» - con section control	Teorica	Da modello	-25.4%	-12.9%



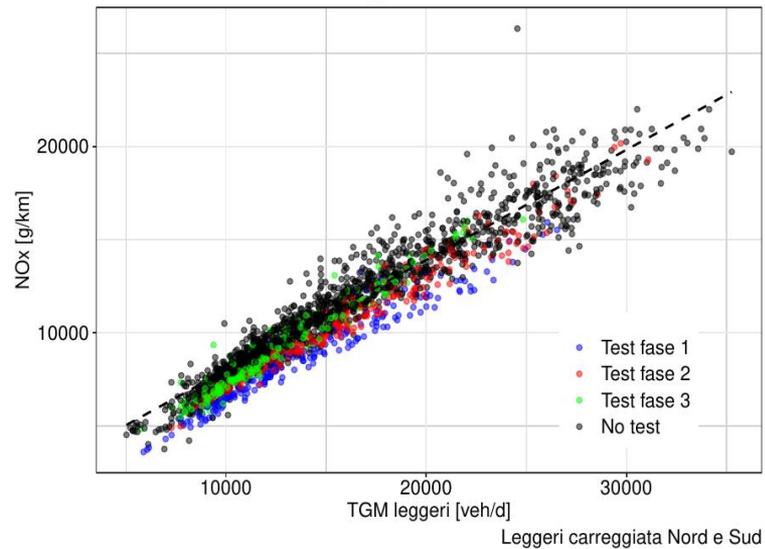
## Andamento giornaliero NOx (pluriennale) e classificazione dell'efficacia dei test in termini di riduzione

Emissioni giornaliere totali – NOx



km 103

Emissioni NOx vs TGM Leggeri



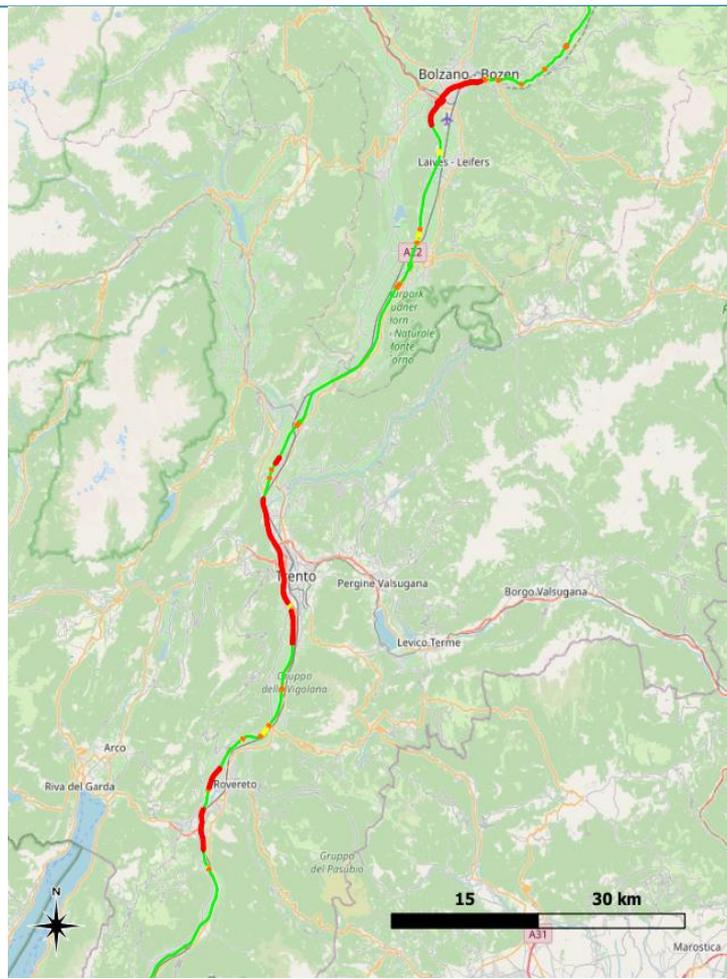
## Implementazione di una catena modellistica per la valutazione dell'attivazione della misura di riduzione della velocità

- Calcolo della **concentrazione media annuale di NO<sub>2</sub>** presso i ricettori lungo la tratta attraverso l'implementazione di un modello di traffico, di calcolo delle emissioni e della dispersione.
- Definizione dell'**obiettivo annuale di concentrazione** presso i ricettori.
- Determinazione del **numero di ore necessario** ad ottenere l'obiettivo (velocità max. consigliata, cogente, «tutor»).
- Definizione del **criterio di sostenibilità socio-economica** della misura espresso come numero massimo di ore di attivazione nell'arco dell'anno. Ora posto pari al 30% delle ore di un anno.
- Definizione della **soglia di attivazione** corrispondente al CSSE. Ora il 70° percentile.

La catena modellistica è stata tarata sulla base di dati misurati presso una stazione di riferimento.

Una volta tarata non necessita di una stazione di riferimento che misuri in continuo.

L'utilizzo di sensori a basso costo (AirQuino) consente di verificare in tempo reale l'output della catena.



## Prospettive di replicazione: criteri per l'individuazione di «sottotratte sensibili» dal punto di vista ambientale

**Tratti rossi:** area 2 km x 2 km con C media NO<sub>2</sub> > 32 µg/m<sup>3</sup>

**Tratti arancioni:** edifici a bordo strada con C di NO<sub>2</sub> > 40 µg/m<sup>3</sup>

**Tratti gialli:** edifici a bordo strada con C di NO<sub>2</sub> > 38 µg/m<sup>3</sup>

**Tratti verdi:** tratta non sensibile

*Cooperazione al risanamento dell'aria* ●

a prescindere dagli insediamenti abitativi nei pressi dell'autostrada

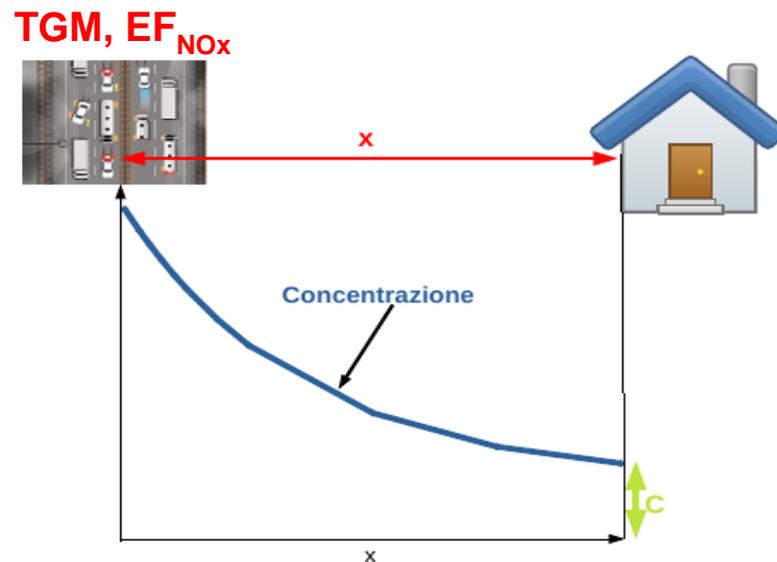
*Contributo per risanamento dell'aria* ●●

Presenza di edifici nella fascia prossima all'A22 con concentrazioni medie annue a rischio di superamento del limite annuale

## Prospettive di replicazione: formulazione per la definizione delle aree sensibili

Concentrazioni medie annue in funzione della distanza dall'asse autostradale stimate con il modello R-Line, tarato con misure sul campo tramite campionatori passivi

- Calcolo della concentrazione media annua a diverse distanze dall'asse autostradale e valutazione sui singoli edifici;
- Possibilità di aggiornare periodicamente il fattore di emissione medio ad ogni aggiornamento del parco circolante autostradale;
- Applicazione della procedura all'intera autostrada.



$$C_{NO_2}(x) = \alpha \cdot \exp(-\beta \cdot x) + \gamma$$

$$\beta = 0.015 [1/m]$$

$$\gamma = 20.7 [\mu g/m^3]$$

Rovereto

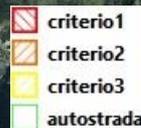
Nomi e  
Chiusole

Rovereto Nord

Tratta BLEC- AQ  
Rovereto  
(~ 15 km)

Rovereto Sud

Chizzola



Criteri per l'individuazione di «sottotratte sensibili»: prospettive normative per l'applicazione della misura in modalità cogente\*:

- Piano o programma della qualità dell'aria
- Autostrada che attraversa centri abitati

\* In base alle indicazioni emerse dal confronto con MIT e MTE per una modifica del C.d.S. per riduzione velocità a fini ambientali

## Tratte B4 – dettaglio proposta

## Tratta Rovereto

Lunghezza tratta circa 15 km

Cavalletto km 152+700

PMV disponibile per entrambe le direzioni



Cavalletto km 167+900

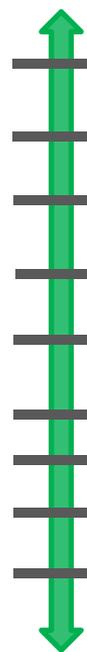
PMV disponibile per entrambe le direzioni



Monitoraggio qualità dell'aria e traffico ★



Nord



km 152+700 ★ ★

km 155+180

km 156+595

km 159+280

km 161+685

km 164+400

km 165+280

km 166+100s

km 167+900 ★ ★

Sud

## Proposta tratte di attivazione nel corridoio BrennerLEC (A22)



Le modalità di attuazione della misura a fini ambientali vanno configurate in base alle condizioni specifiche delle singole tratte (3 variabili):

- Tipologia della limitazione
- Velocità massima consentita
- Ore di attivazione in un anno

- Misure di riduzione della velocità per traffico sostenuto
- Misure di riduzione della velocità per tutela della qualità dell'aria

# Sistema di taratura per l'applicazione della riduzione dinamica di velocità ai fini di tutela dell'aria – *Prototipo di cruscotto per il decisore.*

## Tratto autostradale sensibile di Egna - San Michele (km 100 - km 105)

### Tipologia della limitazione

Velocità consigliata	<b>100</b>	SI
----------------------	------------	----

Velocità obbligatoria		NO
-----------------------	--	----

Velocità obbligatoria e controllata con "Section Control" (Tutor)	 <small>TUTOR ATTIVO PER CONTROLLO SEZIONALE SPEED CONTROL</small>	NO
---	---	----

OK

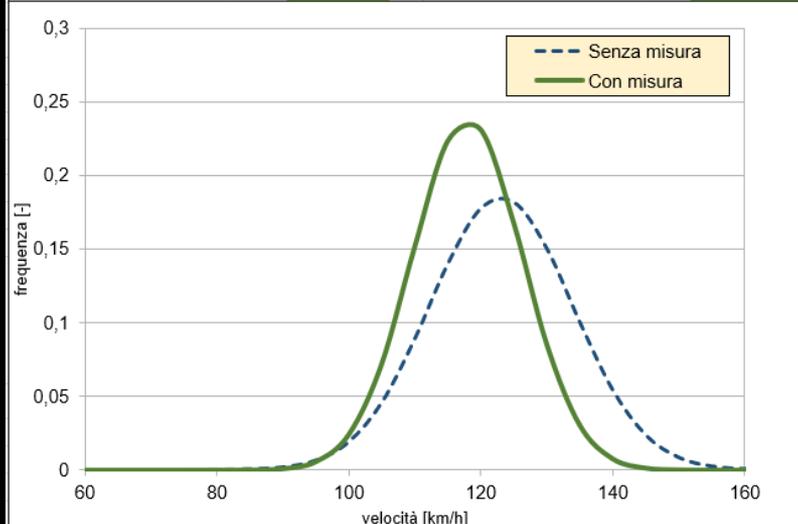
### Durata massima della limitazione

limite massimo di ore di attivazione in un anno [%]	<b>30%</b>
---	------------

### Effetto della misura

riduzione effettiva NOx [%]	-5,6%
riduzione effettiva CO <sub>2</sub> [%]	-0,9%
efficacia rispetto a misura fissa [%]	71%

Variazione emissione NOx		Variazione emissione CO <sub>2</sub>	
valore assoluto [g/km/d]	-2186	valore assoluto [kg/km/d]	-182
riduzione effettiva [g/km/d]	-1543	riduzione effettiva [kg/km/d]	-128
riduzione max possibile [%]	-8,0%	riduzione max possibile [%]	-1,3%



# Sistema di taratura per l'applicazione della riduzione dinamica di velocità ai fini di tutela dell'aria – *Prototipo di cruscotto per il decisore.*

## Tratto autostradale sensibile di Egna - San Michele (km 100 - km 105)

### Tipologia della limitazione

Velocità consigliata	<b>100</b>	NO
Velocità obbligatoria		SI
Velocità obbligatoria e controllata con "Section Control" (Tutor)		NO

**OK**

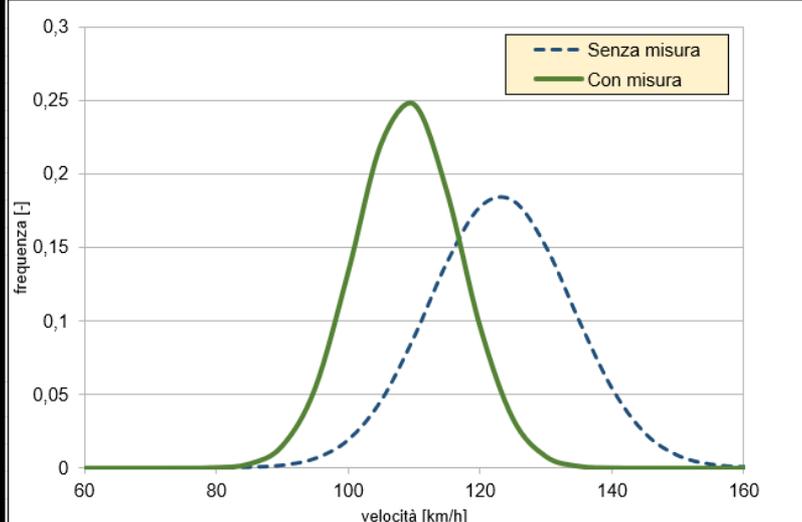
### Durata massima della limitazione

limite massimo di ore di attivazione in un anno [%]	<b>30%</b>
---	------------

## Effetto della misura

riduzione effettiva NOx [%]	<b>-11,9%</b>
riduzione effettiva CO <sub>2</sub> [%]	<b>-3,3%</b>
efficacia rispetto a misura fissa [%]	<b>71%</b>

	Variatione emissione NOx		Variatione emissione CO <sub>2</sub>
valore assoluto [g/km/d]	-4609	valore assoluto [kg/km/d]	-682
riduzione effettiva [g/km/d]	-3254	riduzione effettiva [kg/km/d]	-481
riduzione max possibile [%]	<b>-16,9%</b>	riduzione max possibile [%]	<b>-4,7%</b>



# Sistema di taratura per l'applicazione della riduzione dinamica di velocità ai fini di tutela dell'aria – *Prototipo di cruscotto per il decisore.*

**Tratto autostradale sensibile di Egna - San Michele (km 100 - km 105)**

**Tipologia della limitazione**

Velocità consigliata		NO
Velocità obbligatoria		SI
Velocità obbligatoria e controllata con "Section Control" (Tutor)		NO

**OK**

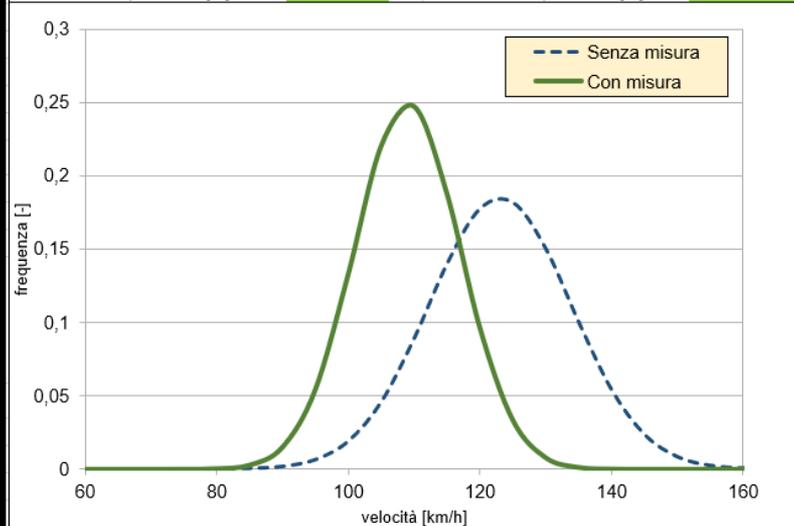
**Durata massima della limitazione**

limite massimo di ore di attivazione in un anno [%]	
---	--

**Effetto della misura**

riduzione effettiva NOx [%]	-15,2%
riduzione effettiva CO <sub>2</sub> [%]	-4,3%
efficacia rispetto a misura fissa [%]	90%

Variazione emissione NOx		Variazione emissione CO <sub>2</sub>	
valore assoluto [g/km/d]	-4609	valore assoluto [kg/km/d]	-682
riduzione effettiva [g/km/d]	-4142	riduzione effettiva [kg/km/d]	-612
riduzione max possibile [%]	-16,9%	riduzione max possibile [%]	-4,7%





Autostrada del Brennero SpA  
Brennerautobahn AG

AUTONOME PROVINZ BOZEN SÜDTIROL  
PROVINCIA AUTONOMA DI BOLZANO ALTO ADIGE  
PROVINZIA AUTONOMA DE BULSAN SÜDTIROL



PROVINCIA AUTONOMA DI TRENTO



UNIVERSITÀ DI TRENTO



Festivalmeteorologia - 20 novembre 2021

# QUADRO AMBIENTALE ED EFFETTI DEL LOCKDOWN

2020



# Lockdown primavera 2020, calano traffico ed emissioni

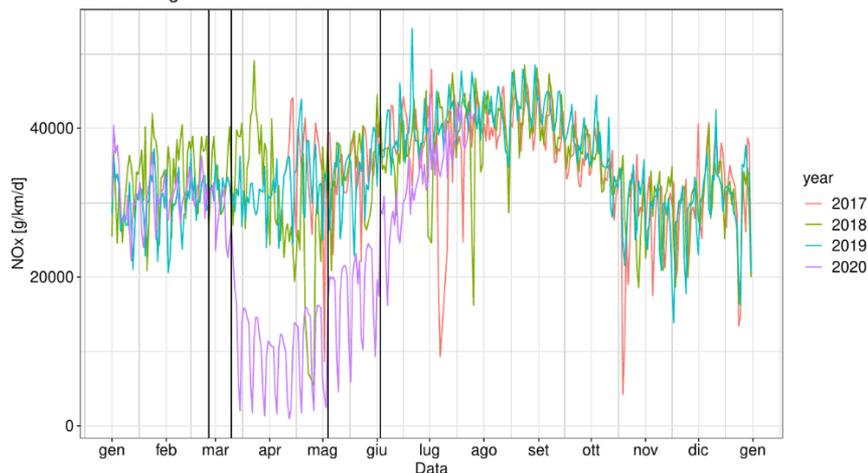
Traffico ed emissioni di NO<sub>x</sub> e CO<sub>2</sub> nel 2020 vs. triennio 2017-2019

Periodo dell'anno esaminato	Riduzione veicoli leggeri	Riduzione veicoli pesanti	Ossidi di azoto NO <sub>x</sub>	Anidride carbonica CO <sub>2</sub>
09/03 - 03/05	-92%	-42%	-66%	-64%

Il traffico è progressivamente calato sulla A22 in seguito alle restrizioni previste dal D.L. del 23/02/2020 e dai successivi DPCM.

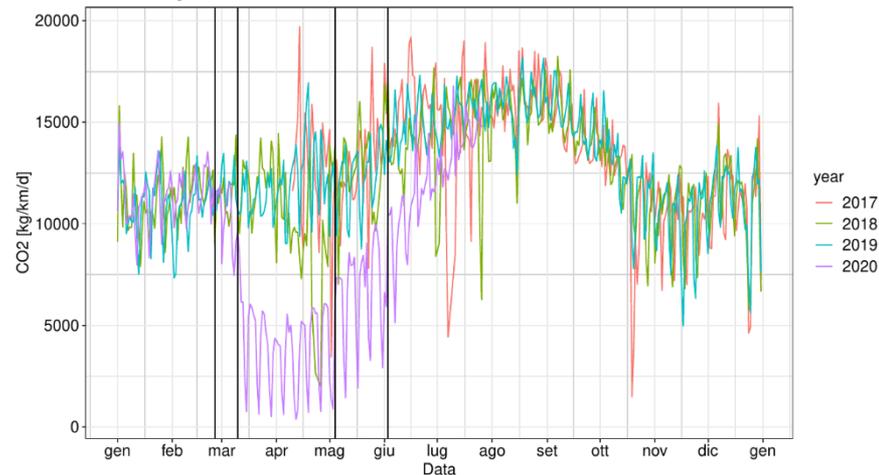
Con l'emanazione del DPCM del 09/03/2020 l'Italia è entrata in un periodo di «lockdown» molto rigido che si è concluso il 3 maggio.

Emissioni giornaliere totali – NO<sub>x</sub>



km 103

Emissioni giornaliere totali – CO<sub>2</sub>



km 103

## Misurazione delle concentrazioni di NO<sub>2</sub>

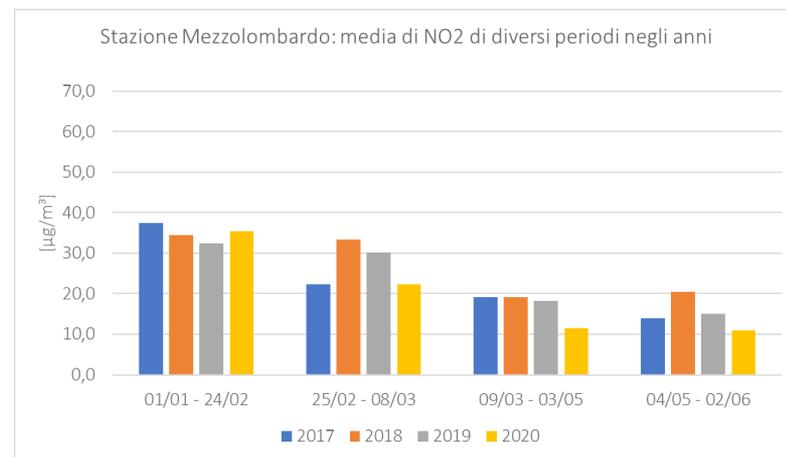
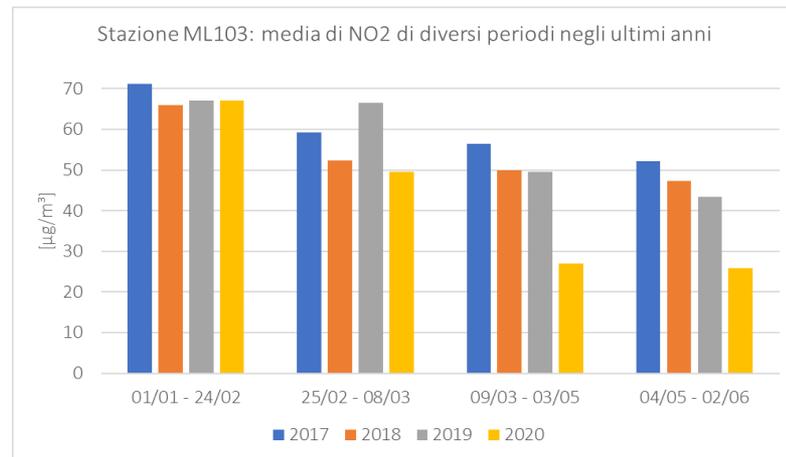
Stazione ML103 - Variazione NO <sub>2</sub> 2020 vs triennio 2017-2019				
Periodo	NO <sub>2</sub> media triennio 2017-2019 [µg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>2</sub> 2020 [µg/m <sup>3</sup> ]	Variazione NO <sub>2</sub> 2020 vs. triennio 2017-2019	
			[µg/m <sup>3</sup> ]	[%]
01/01-24/02	68	67	-1	-2%
09/03-03/05	52	27	-25	<b>-48%</b>

La concentrazione di NO<sub>2</sub> misurata a bordo autostrada cala progressivamente dal 24/02 e arriva ad un riduzione di **quasi il 50%** nel periodo di *lockdown*.

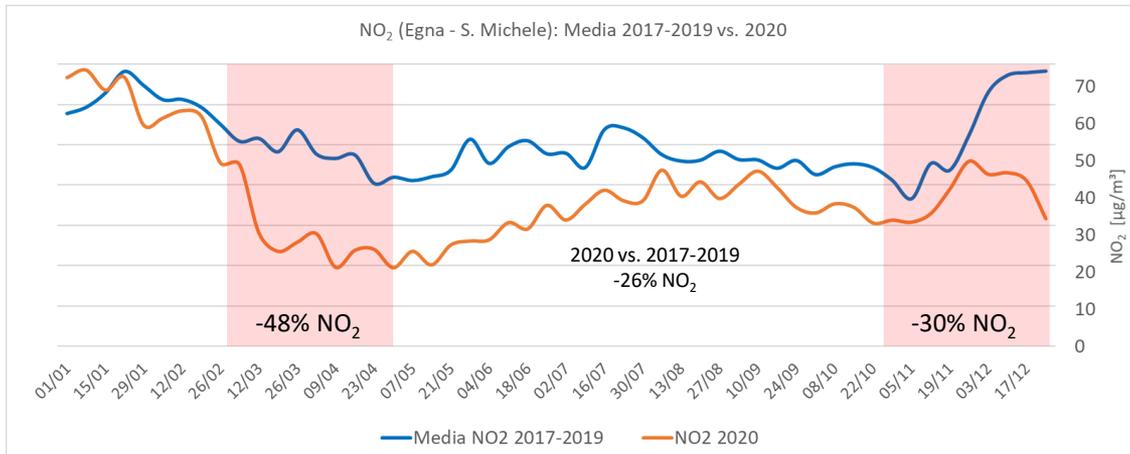
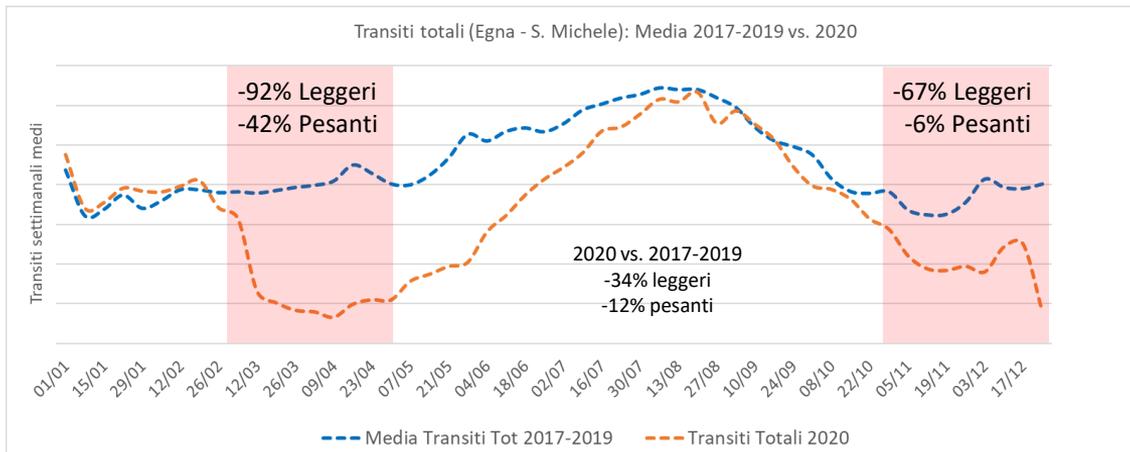
In alto a destra i dati registrati a 6m dal bordo carreggiata nelle varie fasi del *lockdown* (stazione ML103).

L'NO<sub>2</sub> diminuisce più velocemente nei primi metri di distanza dall'autostrada. A distanze superiori (da 30 a 800m), la riduzione media si attesta **intorno al 37-39%** rispetto al triennio precedente.

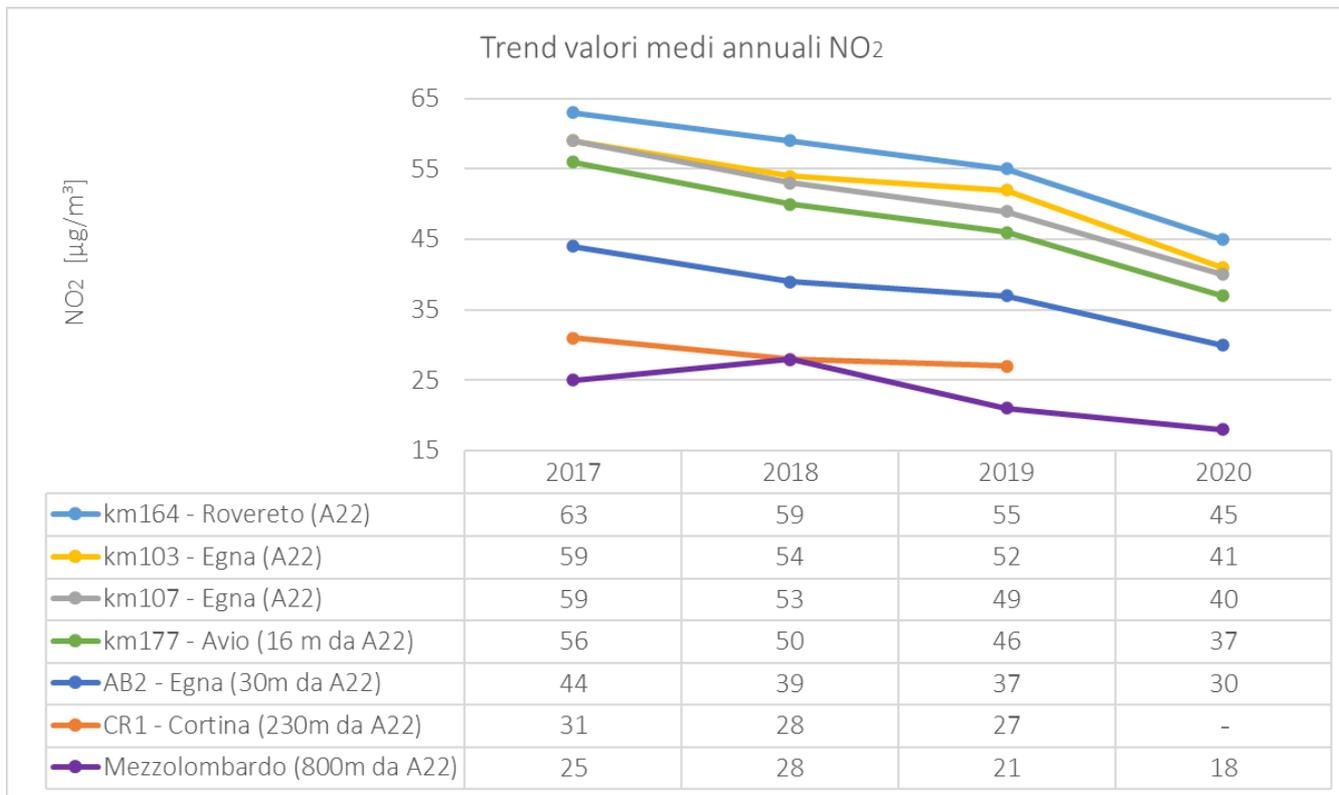
A fianco le concentrazioni misurate presso la stazione di Mezzolombardo posta a circa 800m dall'autostrada.



## Ulteriori restrizioni novembre-dicembre 2020, calano traffico e concentrazioni



## Quadro di riferimento – Concentrazioni di NO<sub>2</sub>



A seguito delle restrizioni previste per il contenimento della pandemia di Covid-19, il traffico ha subito un forte calo e le **concentrazioni di NO<sub>2</sub> nel 2020 sono diminuite mediamente del 25-30%** lungo l'A22 ma anche nelle stazioni di monitoraggio più distanti dall'autostrada.

Va sottolineato che le misurazioni sono influenzate dalle condizioni atmosferiche che agiscono sulla dispersione.



## Concentrazioni di NO<sub>2</sub> normalizzate

La concentrazione degli inquinanti vicino al suolo dipende essenzialmente da due fattori:

1. le **emissioni**, ovvero la quantità di sostanza inquinante emessa dalla sorgente;
2. le **condizioni atmosferiche**, in particolare la capacità dell'atmosfera di disperdere gli inquinanti.

Lo scopo della normalizzazione meteorologica è quello di ottenere l'andamento temporale della concentrazione normalizzata, cioè depurata dagli effetti della variabilità meteorologica. Quello che si ottiene in seguito alla normalizzazione è quindi una serie temporale che mostra l'andamento che avrebbe la concentrazione dell'inquinante se le condizioni meteorologiche fossero sempre le stesse.

Per effettuare la normalizzazione viene utilizzato un algoritmo di machine learning che determina la dipendenza della concentrazione misurata da un gruppo di variabili rappresentative dei processi che influenzano la dispersione degli inquinanti.



Autostrada del Brennero SpA  
Brennerautobahn AG

AUTONOME PROVINZ BOZEN SÜDTIROL  
PROVINCIA AUTONOMA DI BOLZANO ALTO ADIGE  
PROVINCIA AUTONOMA DE BULSAN SÜDTIROL

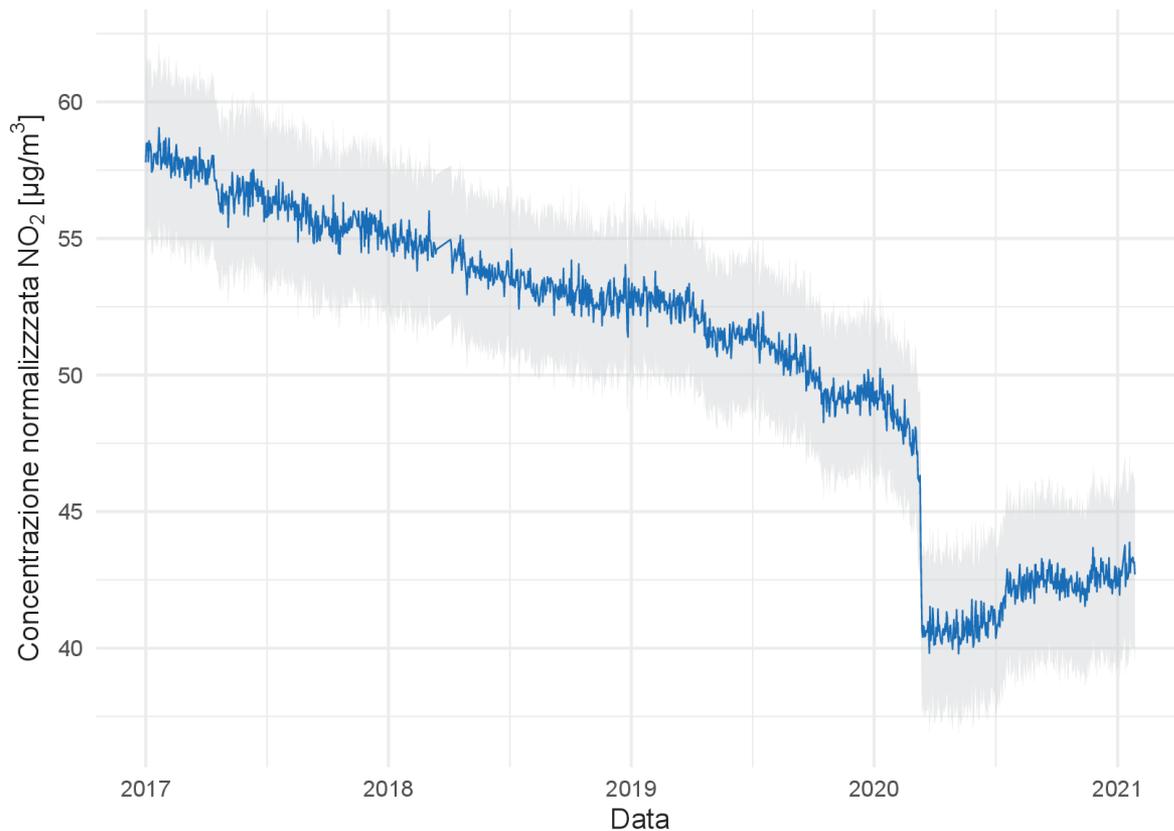
PROVINCIA AUTONOMA DI TRENTO



UNIVERSITÀ DI TRENTO



## Concentrazioni di $\text{NO}_2$ normalizzate a bordo autostrada (stazione ML107 a 6 metri da bordo autostrada)

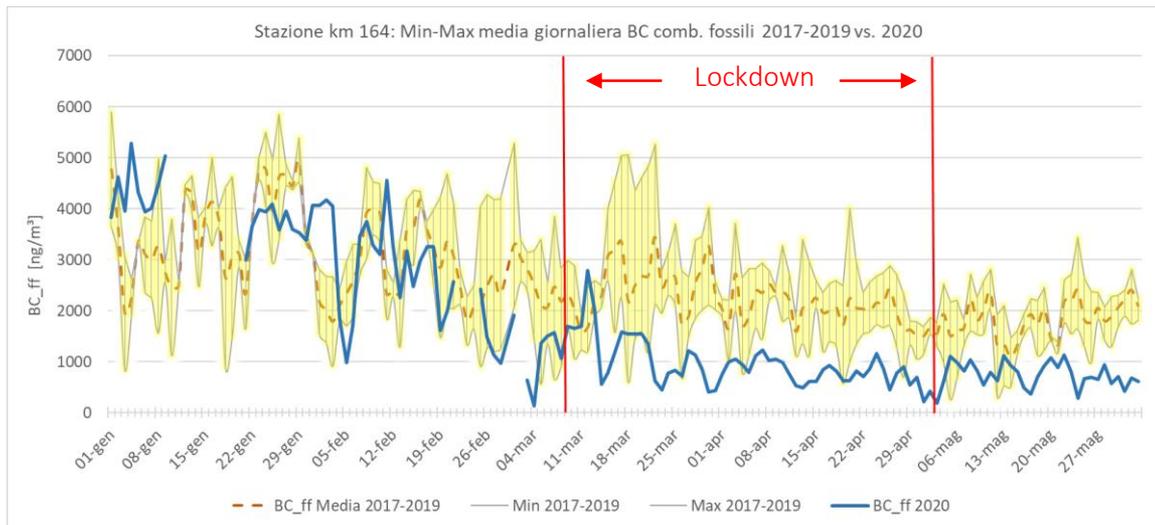


## Concentrazioni black carbon (BC) a bordo autostrada derivanti da traffico e biomassa

La componente di black carbon derivante da combustibili fossili (BC fossil fuel), ha registrato una **riduzione media superiore al 57%**.

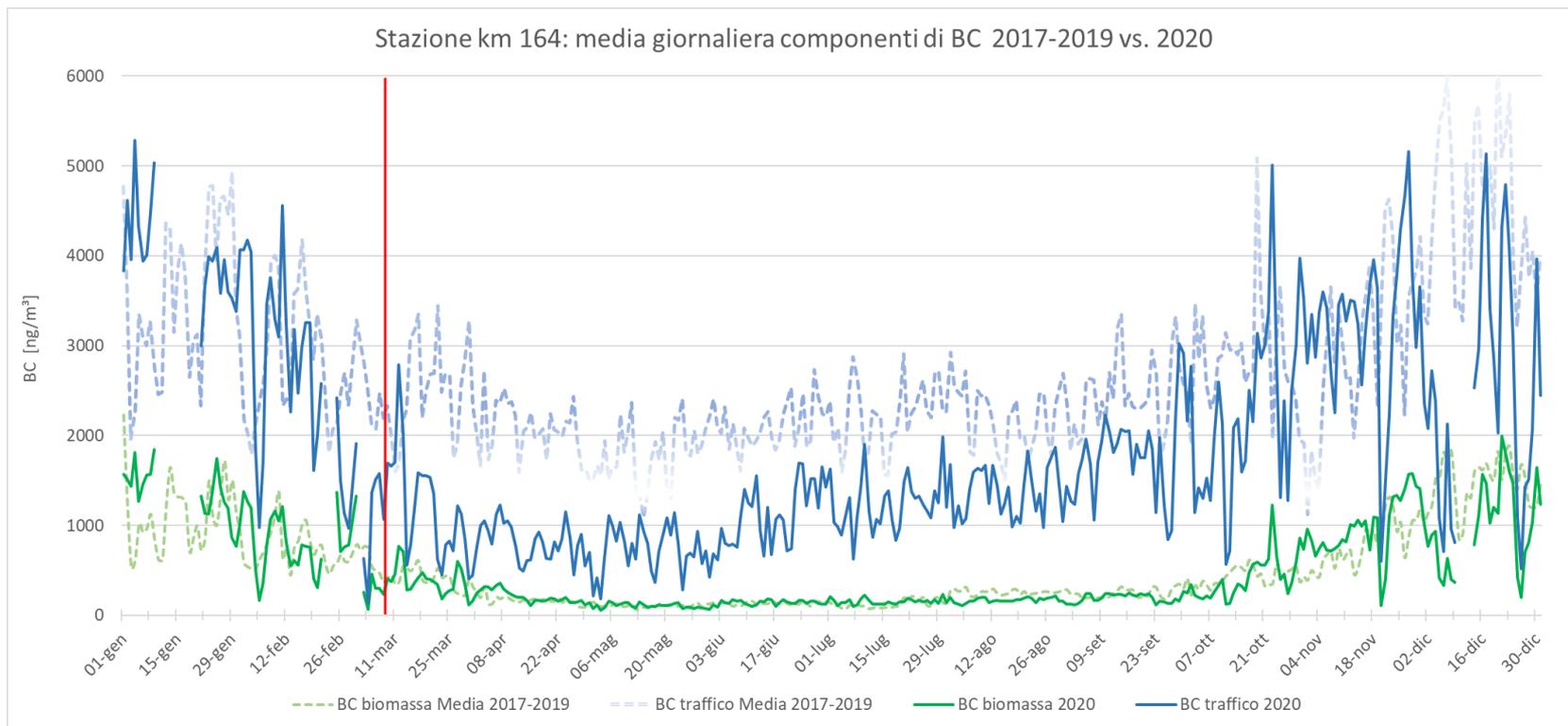
La componente legata alla combustione della biomassa (BB), e quindi ai riscaldamenti domestici, ha fatto registrare un **aumento di circa il 5%**.

Stazione al km 164 - Variazione Black Carbon 2020 vs triennio 2017-2019			
Periodo	Black Carbon totale [%]	Black Carbon combustibili fossili (ff) [%]	Black Carbon combustione biomassa(BB) [%]
01/01 – 24/02	9%	7%	12%
09/03 - 03/05	-52%	-57%	5%



# Concentrazioni black carbon (BC) a bordo autostrada derivanti da traffico e biomassa

Festival meteorologia - 20 novembre 2021





Autostrada del Brennero SpA  
Brennerautobahn AG

AUTONOME PROVINZ BOZEN SÜDTIROL  
PROVINCIA AUTONOMA DI BOLZANO ALTO ADIGE  
PROVINCIA AUTONOMA DE BULSAN SÜDTIROL

PROVINCIA AUTONOMA DI TRENTO



UNIVERSITÀ DI TRENTO



Festivalmeteorologia - 20 novembre 2021

# COMUNICAZIONE INFORMAZIONE EDUCAZIONE





## GIOCO EDUCATIVO

## BrennerLEC - THE GAME -

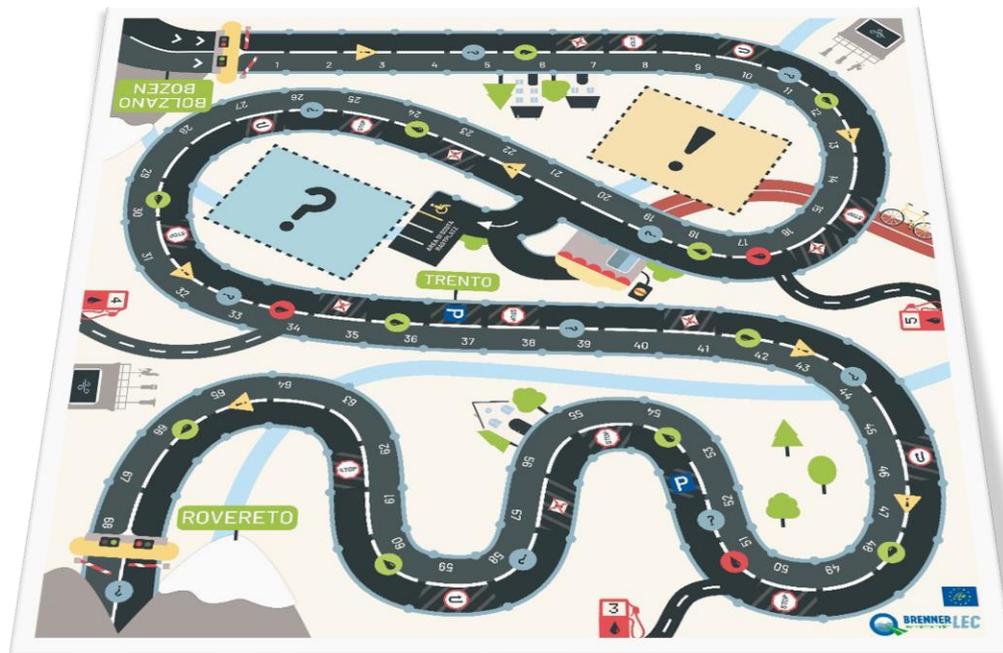
Cosa si può fare per sensibilizzare?

**Divertire educando  
al rispetto dei limiti  
e alla tutela dell'ambiente**

I giocatori si sfidano sul tratto Bolzano – Rovereto  
scegliendo diverse modalità di guida:

*arriverà prima il guidatore che mantiene una velocità  
ridotta ma costante o chi, effettuando i sorpassi, rischia di  
trovare intoppi e imprevisti?*

Accetta la sfida, vediamo chi arriva prima!





# GRAZIE per l'attenzione

ing. Gianluca Antonacci  
ing. Valentina Miotto



Autostrada del Brennero SpA  
Brennerautobahn AG

AUTONOME  
PROVINZ  
BOZEN  
SÜDTIROL



PROVINCIA  
AUTONOMA  
DI BOLZANO  
ALTO ADIGE



PROVINCIA AUTONOMA DI TRENTO



UNIVERSITÀ  
DI TRENTO



TECHPARK SÜDTIROL/ALTO ADIGE