

Asse stradale di collegamento tra gli svincoli di Prato Est e Prato Ovest – "Declassata di Prato"
Raddoppio di Viale Leonardo da Vinci nel tratto compreso tra Via Marx e Via Nenni mediante la realizzazione di un sottopasso

PROGETTO DEFINITIVO

COD. FI463

PROGETTAZIONE: RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO PROGETTISTI
MANDATARIA:  **TECHNITAL**
MANDANTI:  **POLITECNICA** BUILDING FOR HUMANS  **MATILDI+PARTNERS**

IL RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:

Ing. Andrea Renso – TECHNITAL
Ordine Ingegneri Provincia di Verona n. A2413

IL GEOLOGO:

Geol. Pietro Accolti Gil – POLITECNICA
Ordine Geologi Regione Toscana n° 728

IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:

Ing. Marcello Mancone – POLITECNICA
ordine ingegneri Provincia di Firenze n.5723

VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO:

Ing. Raffaele Franco Carso

PROTOCOLLO:

DATA:

IL PROGETTISTA:

GRUPPO DI PROGETTAZIONE:

COORDINAMENTO PROGETTAZIONE, PROGETTAZIONE STRADALE, GEOTECNICA ED OPERE IN SOTTERRANEO:

Ing. Marcello Mancone – POLITECNICA
ordine ingegneri Provincia di Firenze n.5723

STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE:

Arch. Paola Gabrielli – POLITECNICA
ordine Architetti Provincia di Bologna n. 2921

CANTIERIZZAZIONE E FASI ESECUTIVE:

Ing. Alessio Gori – POLITECNICA
ordine ingegneri Provincia di Firenze n.5969

IDROLOGIA ED IDRAULICA:

Ing. Alessandro Cecchelli – POLITECNICA
ordine ingegneri Provincia di Grosseto n.760

COLLABORATORI DI PROGETTO:

Ing. Massimo Palermo – POLITECNICA
Arch. Valentina Iaia – POLITECNICA
Geom. Franco Mariotti – POLITECNICA
Geom. Angela Pantiferi – POLITECNICA

12 – IMPIANTI TECNOLOGICI E ILLUMINAZIONE

Relazione valutazione rischio incendio

| CODICE PROGETTO | | NOME FILE | PROGR. ELAB. | REV. | SCALA: |
|--------------------------------|---|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| PROGETTO | LIV. PROG. | N. PROG. | 12.01_P00_IM00_IMP_RE01_A | 12.01 | |
| <input type="text" value="D"/> | <input type="text" value="P"/> | <input type="text" value="F"/> | <input type="text" value="I"/> | <input type="text" value="1"/> | <input type="text" value="0"/> |
| <input type="text" value="D"/> | <input type="text" value="1"/> | <input type="text" value="9"/> | <input type="text" value="0"/> | <input type="text" value="1"/> | |
| CODICE ELAB. | <input type="text" value="P00IM00IMPRE01"/> | | | <input type="text" value="A"/> | - |
| D | | | | | |
| C | | | | | |
| B | | | | | |
| A | EMISSIONE | 12/2019 | POLITECNICA | M.MANCONE | M.MANCONE |
| REV. | DESCRIZIONE | DATA | SOCIETA' | REDATTO | VERIFICATO |
| | | | | | APPROVATO |

SOMMARIO

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | OGGETTO DELLA RELAZIONE | 1 |
| 2 | RIFERIMENTI NORMATIVI | 2 |
| 3 | DATI DI BASE | 3 |
| 3.1 | Caratteristiche geometriche della galleria | 3 |
| 3.2 | Valori limite di concentrazione degli inquinanti | 3 |
| 3.3 | Portate di inquinante emesse da un veicolo..... | 4 |
| 3.4 | Condizioni di traffico ipotizzate | 5 |
| 3.5 | Composizione del traffico | 5 |
| 4 | VERIFICA NECESSITA' IMPIANTO VENTILAZIONE SANITARIA..... | 7 |
| 4.1 | Generalità | 7 |
| 4.2 | Determinazione della quantità d'aria di rinnovo per il CO..... | 7 |
| 4.3 | Determinazione della quantità d'aria di rinnovo per gli NOx | 7 |
| 4.4 | Determinazione della quantità d'aria di rinnovo per i fumi..... | 8 |
| 4.5 | Resistenza della galleria | 8 |
| 4.6 | Effetto pistone..... | 9 |
| 5 | CONCLUSIONI | 10 |
| 6 | TABULATI DI CALCOLO..... | 11 |
| 6.1 | Traffico Fluido..... | 11 |
| 6.2 | 6.2 Traffico Congestionato | 13 |

1 OGGETTO DELLA RELAZIONE

La presente relazione riporta le verifiche aerauliche circa la necessità di prevedere impianto di ventilazione per nuovo sottopasso nell'ambito della realizzazione di "Asse stradale di collegamento tra gli svincoli di Prato Est e Prato Ovest – "Declassata di Prato" Raddoppio di Viale Leonardo da Vinci nel tratto compreso tra via Marx e via Nenni mediante realizzazione di un sottopasso.

Il sottopasso sarà di lunghezza pari a 415,25 m.

Per la verifica della necessità di installazione dell'impianto di ventilazione della galleria si sono presi in considerazione diversi scenari e condizioni di esercizio.

2 RIFERIMENTI NORMATIVI

Attualmente in Italia non sono vigenti normative che regolamento la ventilazione nelle gallerie, per cui sono state seguite le seguenti guide tecniche internazionali:

- Road tunnels: Vehicle Emissions and Air Demand for Ventilation (PIARC 2012): riferimento per i limiti di concentrazione degli inquinanti e coefficienti di emissione dei veicoli;

3 DATI DI BASE

3.1 Caratteristiche geometriche della galleria

| | |
|-------------------------------|--------------|
| Lunghezza | 415.25 m |
| Sezione (per ciascun fornice) | 56.5 m |
| Diametro idraulico | 8.13 m |
| Quota di riferimento | 50.0 m |
| Gradiente | -0.2%; +0.2% |

3.2 Valori limite di concentrazione degli inquinanti

I valori limite per la concentrazione degli inquinanti, per diverse condizioni di flusso di traffico e per tipo di inquinante, sono stati presi dalle raccomandazioni PIARC 2012, riepilogati nella seguente tabella.

| TABLE 3 - DESIGN AND THRESHOLD VALUES FOR CO AND VISIBILITY/ EXTINCTION | | | |
|--|-----|--------------------------|--|
| Traffic situation | CO | Visibility | |
| | | Extinction coefficient K | Transmission s (beam length: 100 m) |
| | ppm | 10^{-3} m^{-1} | % |
| Free flowing peak traffic 50 – 100 km/h | 70 | 5 | 60 |
| Daily congested traffic, stopped on all lanes | 70 | 7 | 50 |
| Exceptional congested traffic, stopped on all lanes | 100 | 9 | 40 |
| Planned maintenance work in a tunnel under traffic* | 20 | 3 | 75 |
| Threshold values for closing the tunnel** | 200 | 12 | 30 |
| * National workplace guidelines have to be considered | | | |
| ** The values given here are for tunnel operation only and not for determining ventilation capacities. | | | |

Per quanto riguarda gli ossidi di azoto (NO₂) il valore limite assunto è quello definito dalla Road tunnels: Vehicle Emissions and Air Demand for Ventilation (PIARC 2012), ossia 1 ppm.

3.3 Portate di inquinante emesse da un veicolo

Le portate di inquinanti emesse dai veicoli (CO e Particolato), sono state dedotte in funzione della velocità e della pendenza stradale della galleria, secondo le tabelle riportate nel documento del PIARC 2012; l'applicazione di questi dati, in virtù della progressiva applicazione delle nuove norme CEE, che prevedono una costante riduzione dei valori limite delle emissioni dei veicoli, sarebbe estremamente penalizzante. Pertanto nella tabella che segue sono riportati i valori del fattore di influenza per anni differenti dall'anno base (2010), dovuti al fatto che la flotta dei veicoli circolanti si rinnova, e che sono stati applicati al caso in specie con proiezione 2020.

| TABLE 52 - INFLUENCING FACTOR (FT) FOR YEARS DIFFERENT TO THE BASE YEAR | | | | | |
|---|----------|--------|-----------------|--------|---------|
| ft | CO | | NO _x | | Opacity |
| Passenger cars | Gasoline | Diesel | Gasoline | Diesel | Diesel |
| 2010 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 2015 | 0.69 | 0.60 | 0.67 | 0.83 | 0.56 |
| 2020 | 0.47 | 0.47 | 0.43 | 0.77 | 0.40 |
| 2025 | 0.30 | 0.41 | 0.26 | 0.75 | 0.34 |
| 2030 | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. |

| TABLE 58 - INFLUENCING FACTOR (FT) FOR YEARS DIFFERENT TO THE BASE-YEAR, LDV (DIESEL/GASOLINE MIX) | | | |
|--|---------------------|---------------------|---------------------|
| ft | CO | NO _x | Opacity |
| LDV | Diesel/Gasoline Mix | Diesel/Gasoline Mix | Diesel/Gasoline Mix |
| 2010 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 2015 | 0.65 | 0.77 | 0.74 |
| 2020 | 0.43 | 0.64 | 0.59 |
| 2025 | 0.33 | 0.55 | 0.47 |
| 2030 | n.a. | n.a. | n.a. |

| TABLE 64: INFLUENCING FACTOR (FT) FOR YEARS DIFFERENT TO THE BASE-YEAR, HEAVY-GOODS VEHICLES | | | |
|--|------|-----------------|---------|
| Year | CO | NO _x | Opacity |
| 2010 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 2015 | 0.55 | 0.65 | 0.55 |
| 2020 | 0.37 | 0.50 | 0.37 |
| 2025 | 0.28 | 0.43 | 0.28 |
| 2030 | n.a. | n.a. | n.a. |

3.4 Condizioni di traffico ipotizzate

Per definire la portata di inquinanti emessa in galleria dalla totalità dei veicoli, è necessario prevedere le diverse condizioni di traffico che attraversano il fornice, in quanto la portata di inquinati dipende da:

- velocità di percorrenza;
- il numero di veicoli in galleria;
- composizione del traffico (VL, VP, % diesel, % benzina, massa VP).

Le caratteristiche sono quelle raccomandate dal PIARC 2012 per le gallerie urbane.

Di seguito sono riportate i dati utilizzati per definire le diverse condizioni di traffico:

| TABLE 2 - AVERAGE PEAK TRAFFIC DATA | | | | | |
|-------------------------------------|----------|--|---------|------------------------|-------|
| | | Average peak traffic density (pcu/km) Traffic flow (pcu/h) per lane | | | |
| | | RURAL TUNNEL | | | |
| | | Unidirectional traffic | | Bi-directional traffic | |
| | v [km/h] | uvp/km | uvp/h | uvp/km | uvp/h |
| Fluid traffic | 60 | 30 | 1,800 | 23 | 1,400 |
| Congested traffic | 10 | 70 | 700-850 | 60 | 600 |
| Standstill | 0 | 150 | - | 150 | - |
| | | URBAN TUNNEL | | | |
| | | Unidirectional traffic | | Bi-directional traffic | |
| | v [km/h] | uvp/km | uvp/h | uvp/km | uvp/h |
| Fluid traffic | 60 | 33 | 2,000 | 25 | 1,500 |
| Congested traffic | 10 | 100 | 1,000 | 85 | 850 |
| Standstill | 0 | 165 | - | 165 | - |

3.5 Composizione del traffico

La composizione del traffico è stata ipotizzata come segue:

- incidenza di veicoli leggeri con motore a benzina 40%;
- incidenza di veicoli leggeri con motore diesel 25%;
- incidenza di veicoli furgonati diesel fino a 5 t 20%;
- incidenza di mezzi pesanti con portata 20 t 15%.

Per la composizione dello standard tecnologico afferente a ciascuna tipologia di alimentazione si è fatto riferimento alla pubblicazione PIARC 2012 *Road tunnels: Vehicle Emissions and Air Demand for Ventilation* (PIARC 2012).

| TABLE 5 - FLEET COMPOSITION USED FOR BASE CASE EMISSION FACTOR CALCULATIONS FOR TECHNOLOGY STANDARD A | | | | | | | | |
|---|------|---------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|
| type | year | pre EU1 | EU 1 | EU 2 | EU 3 | EU 4 | EU 5 | EU 6 |
| PC gasoline | 2010 | 14.87% | 3.95% | 12.40% | 20.87% | 43.64% | 4.27% | 0.00% |
| PC Diesel | | 2.34% | 1.75% | 8.11% | 32.70% | 49.25% | 5.85% | 0.00% |
| LDV gasoline | | 36.20% | 5.87% | 14.31% | 20.93% | 22.68% | 0.00% | 0.00% |
| LDV Diesel | | 4.36% | 1.97% | 8.26% | 37.80% | 47.60% | 0.00% | 0.00% |
| HGV Diesel | | 4.07% | 5.11% | 16.08% | 28.45% | 12.07% | 34.22% | 0.00% |

4 VERIFICA NECESSITA' IMPIANTO VENTILAZIONE SANITARIA

4.1 Generalità

La determinazione della quantità di inquinanti da diluire sarà calcolata in base alle indicazioni dell'AIPCR, l'Associazione Internazionale Permanente del Congresso della Strada, contenute nella già citata pubblicazione.

4.2 Determinazione della quantità d'aria di rinnovo per il CO

Per la determinazione della quantità d'aria fresca per diluire il CO, si è usata la seguente formula:

$$Q_{CO} = \frac{q_{CO(v,i)} \times f_h \times f_a}{3600} \times D_{bc} \times \frac{10^6}{CO_{lim} - CO_{amb}} \times L$$

Q_{CO} è la portata aria fresca per diluire il CO [m^3/s],

$q_{CO(v,i)}$ è l'emissione base per autoveicolo di CO [m^3/ora veicolo], in funzione della velocità v e della pendenza i ,

f_h è il coefficiente di altitudine,

f_a è il coefficiente di invecchiamento delle marmitte catalitiche,

D_{bc} è il numero di veicoli in galleria [veicoli/km],

CO_{lim} è la concentrazione ammissibile di CO [ppm],

CO_{amb} è la concentrazione ambiente di CO [ppm],

L è la lunghezza della galleria [km]

Per le emissioni di CO ciascuna tipologia di autoveicolo si è fatto riferimento alle tabelle riportate al capitolo 3 della pubblicazione *Road tunnels: Vehicle Emissions and Air Demand for Ventilation (PIARC 2012): riferimento per i limiti di concentrazione degli inquinanti e coefficienti di emissione dei veicoli*

4.3 Determinazione della quantità d'aria di rinnovo per gli NOx

Per la determinazione della quantità d'aria fresca per diluire gli NOx, si è usata la seguente formula:

$$Q_{NO} = \frac{q_{NO(v,i)} \times f_h \times f_a}{3600} \times D_{bc} \times \frac{10^6}{NO_{lim}} \times L$$

Q_{NO} è la portata aria fresca per diluire il NO_x [m^3/s],

$q_{NO(v,i)}$ è l'emissione base per autoveicolo di NO [m^3 /ora veicolo], in funzione della velocità v e della pendenza i ,
 f_h è il coefficiente di altitudine,
 f_a è il coefficiente di invecchiamento delle marmitte catalitiche,
 D_{bc} è il numero di veicoli in galleria [veicoli/km],
 NO_{lim} è la concentrazione ammissibile di NO [ppm],
 L è la lunghezza della galleria [km]

4.4 Determinazione della quantità d'aria di rinnovo per i fumi

Per la determinazione della quantità d'aria fresca per diluire i fumi, si è usata la seguente formula:

$$Q_F = \frac{q_{t(v,i)} \times f_m \times f_h + q_{ne}(v)}{3600} \times D_c \times \frac{L}{K_{lim}}$$

Q_F è la portata aria fresca per diluire i fumi [m^3/s],
 $q_{t(v,i)}$ è l'emissione base di fumi [m^3 /ora t],
 f_m è il coefficiente di massa,
 f_h è il coefficiente di altitudine,
 $q_{ne}(v)$ è il fattore di emissione di particolato non originato dallo scappamento [m^3 /ora],
 D_c è il numero di veicoli in galleria [veicoli/km],
 K_{lim} è il coefficiente di estinzione fumi [m^{-1}],
 L è la lunghezza della galleria [km].

4.5 Resistenza della galleria

Per calcolare la resistenza della galleria si è utilizzata la seguente formula:

$$R_g = \left(\alpha + \beta + \lambda \times \frac{L}{D_h} \right) \times \frac{\rho \times V_g^2}{2}$$

R_g è la resistenza della galleria [Pa],

- ξ è il coefficiente di perdita all'entrata,
- ξ è il coefficiente di perdita all'uscita,
- ξ è il coefficiente d'attrito delle pareti della galleria,
- D_h è il diametro idraulico [m],
- ρ è la massa volumica [kg/m³],
- V_g è la velocità dell'aria in galleria [m/s],
- L è la lunghezza della galleria [km].

4.6 Effetto pistone

L'effetto pistone può essere una resistenza negativa o positiva, in funzione della concordanza o meno tra la direzione del flusso veicolare e quello dell'aria in galleria, oppure se la velocità del traffico è inferiore alla velocità dell'aria in galleria.

Quanto sopra può essere espresso mediante la seguente formula:

$$R_p = \sum_{i=1}^2 \xi_i \times n_i \times \frac{(C_x \times \Omega)_i}{A_t} \times \frac{\delta \times (V_i + \mu \times V_g)^2}{2}$$

R_p è la resistenza per effetto pistone [Pa],

$i=1$ sono valori riferiti ad autoveicoli leggeri,

$i=2$ sono valori riferiti a mezzi pesanti,

ξ_i è un coefficiente pari a +1 od a -1 in funzione della direzione del traffico (uguale o contrario al senso della ventilazione), oppure se $V_i > V_g$ o $V_i < V_g$,

n_i è il numero dei veicoli presenti in galleria;

$(C_x \xi)_i$ è l'area resistente dei veicoli (area frontale corretta dal coefficiente di penetrazione) [m²],

A_t è l'area del tunnel [m²],

δ è la densità dell'aria [m³/kg],

$\mu = +1$ per i veicoli che viaggiano in senso contrario rispetto alla ventilazione,

$\mu = -1$ per i veicoli che viaggiano nello stesso senso della ventilazione,

V_i è la velocità dei veicoli [m/s],

V_g è la velocità dell'aria in galleria [m/s]

5 CONCLUSIONI

Negli allegati tabulati di calcolo si è verificata la necessità o meno di provvedere ad installare nel sottopasso in oggetto un impianto di ventilazione meccanica.

In particolare, considerando nulla la resistenza dovuta ai fattori metereologici, poiché le quote di imbocco e di uscita dal sottopasso sono le medesime, e trattandosi di sottopasso, gli imbocchi sono relativamente protetti dal vento, si è verificato che nelle diverse condizioni di traffico l'effetto pistone, sia sufficiente a vincere la resistenza della galleria, imponendo come velocità dell'aria il valore minimo necessario a garantire la diluizione di CO, NO e fumi.

Le verifiche suddette hanno dato tutte esito positivo.

In caso di traffico bloccato, si ritiene opportuno inibire l'accesso al sottopasso; sugli appositi cartelli dovranno essere evidenziate le scritte "spegnere i motori".

6 TABULATI DI CALCOLO

6.1 Traffico Fluido

| TRAFFICO FLUIDO | | | | | | |
|--|-------------|-----------|--------------------------------------|------------|--|--|
| Ricambi aria per CO | | | | | | |
| Media emissioni | PC gasoline | PC Diesel | LDV Diesel | HGV Diesel | | |
| PreEURO | 52,89 | 0,45 | 2,23 | 5,46 | | |
| EURO1 | 3,26 | 0,22 | 0,37 | 4,12 | | |
| EURO2 | 5,35 | 0,88 | 0,70 | 10,28 | | |
| EURO3 | 2,18 | 1,02 | 1,91 | 21,88 | | |
| EURO4 | 4,11 | 1,29 | 2,08 | 1,16 | | |
| EURO5 | 0,40 | 0,14 | 0,00 | 3,44 | | |
| EURO6 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | |
| Media | 68,18 | 4,00 | 7,30 | 46,33 | Media ponderale per veicolo | |
| | 27,27 | 1,00 | 1,46 | 6,95 | 36,68 g/h | |
| | | | | | 0,030569 mc/h | |
| $Q_{CO} = \frac{q^{CO(v,i)} \times f_h \times f_a}{3600} \times D_{bc} \times \frac{10^6}{CO_{lim} - CO_{amb}} \times L$ | | | Portata aria fresca per diluire CO = | | 1,74 mc/s | |
| | | | | | | |
| Riduzione ft al 2020 | 0,58 | 0,65 | 0,47 | 0,34 | | |
| | 15,82 | 0,65 | 0,69 | 2,36 | 19,52 g/h | |
| | | | | | 0,016264 mc/h | |
| | | | | | | |
| | | | | | Portata aria fresca per diluire CO = 0,93 mc/s | |

| Ricambi aria per NO | | | | | | |
|----------------------------|---|-----------|----------|------------|--------------------------------------|------------|
| Media emissioni | PC gasolin | PC Diesel | LDV Dese | HGV Diesel | | |
| PreEURO | 7,26 | 0,70 | 1,93 | 21,64 | | |
| EURO1 | 0,65 | 0,52 | 0,78 | 18,03 | | |
| EURO2 | 1,02 | 2,85 | 3,02 | 63,92 | | |
| EURO3 | 0,68 | 11,95 | 10,40 | 90,38 | | |
| EURO4 | 0,59 | 11,57 | 10,41 | 20,46 | | |
| EURO5 | 0,05 | 1,03 | 0,00 | 33,03 | | |
| EURO6 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | |
| Media | 10,26 | 28,62 | 26,54 | 247,46 | Media ponderale per veicolo | |
| | 4,11 | 7,15 | 5,31 | 37,12 | 53,69 g/h | |
| | | | | | 0,028257 mc/h | |
| | $Q_{NO} = \frac{q_{NO(v,i)} \times f_h \times f_a}{3600} \times D_{bc} \times \frac{10^6}{NO_{lim}} \times L$ | | | | Portata aria fresca per diluire NO = | 10,76 mc/s |
| Riduzione ft al 2020 | 0,44 | 0,52 | 0,49 | 0,35 | | |
| | 1,81 | 3,72 | 2,60 | 12,99 | 21,12 g/h | |
| | | | | | 0,0176 mc/h | |
| | | | | | Portata aria fresca per diluire NO = | 6,70 mc/s |

| Ricambi aria per fumi | | | | | | |
|------------------------------|---|-----------|----------|------------|--|-----------|
| Media emissioni | PC gasolin | PC Diesel | LDV Dese | HGV Diesel | | |
| PreEURO | | 0,09 | 0,30 | 1,01 | | |
| EURO1 | | 0,08 | 0,16 | 0,78 | | |
| EURO2 | | 0,29 | 0,42 | 1,11 | | |
| EURO3 | | 0,63 | 0,88 | 2,13 | | |
| EURO4 | | 0,69 | 0,56 | 0,24 | | |
| EURO5 | | 0,01 | 0,00 | 0,69 | | |
| EURO6 | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | |
| Media | 0,00 | 1,80 | 2,32 | 5,95 | Media ponderale per veicolo | |
| | 0,00 | 0,45 | 0,46 | 0,89 | 1,81 g/h | |
| | | | | | 8,491083 mq/h | |
| | $Q_F = \frac{q_{f(v,i)} \times f_m \times f_h + q_{ne(v)}}{3600} \times D_c \times \frac{L}{K_{lim}}$ | | | | Portata aria fresca per diluire f | 6,46 mc/s |
| Riduzione ft al 2020 | | 0,29 | 0,3 | 0,33 | | |
| | 0,00 | 0,13 | 0,14 | 0,29 | 0,56 g/h | |
| | | | | | 2,652094 mc/h | |
| | | | | | Portata aria fresca per diluire fumi = | 2,02 mc/s |

| | | | | |
|--|-------|-------|------|----------|
| Effetto Pistone | | | | |
| $R_p = \sum_{i=1}^2 \varepsilon_i \times n_i \times \frac{(C_x \times \Omega)_i}{A_t} \times \frac{\delta \times (V_i + \mu \times V_g)^2}{2}$ | | 83,33 | [Pa] | |
| n1 | 11,65 | | | |
| n2 | 2,06 | | | VERIFICA |
| $\Omega 1$ [mq] | 2,55 | | | OK |
| C1 | 0,45 | | | |
| $\Omega 2$ [mq] | 8,75 | | | |
| C2 | 0,85 | | | |
| Resistenza galleria | | | | |
| $R_g = \left(\alpha + \beta + \lambda \times \frac{L}{D_h} \right) \times \frac{\rho \times V_g^2}{2}$ | | 0,14 | [Pa] | |

6.2 6.2 Traffico Congestionato

| TRAFFICO CONGESTIONATO | | | | | |
|--|-------------|-----------|------------|------------|--|
| Ricambi aria per CO | | | | | |
| Media emissioni | PC gasoline | PC Diesel | LDV Diesel | HGV Diesel | |
| PreEURO | 26,52 | 0,41 | 2,74 | 3,78 | |
| EURO1 | 0,51 | 0,20 | 0,45 | 3,11 | |
| EURO2 | 0,60 | 0,81 | 0,87 | 6,57 | |
| EURO3 | 0,36 | 0,93 | 2,35 | 14,42 | |
| EURO4 | 1,37 | 1,16 | 2,57 | 3,77 | |
| EURO5 | 0,13 | 0,13 | 0,00 | 10,83 | |
| EURO6 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| Media | 29,50 | 3,64 | 8,98 | 42,48 | Media ponderale per veicolo |
| | 11,80 | 0,91 | 1,80 | 6,37 | 20,88 g/h |
| | | | | | 0,0174 mc/h |
| $Q_{CO} = \frac{q_{CO(v,i)} \times f_h \times f_a}{3600} \times D_{bc} \times \frac{10^6}{CO_{lim} - CO_{amb}} \times L$ | | | | | Portata aria fresca per diluire CO = 2,97 mc/s |
| Riduzione ft al 2020 | 0,58 | 0,65 | 0,47 | 0,34 | |
| | 6,84 | 0,59 | 0,84 | 2,17 | 10,45 g/h |
| | | | | | 0,008706 mc/h |
| | | | | | Portata aria fresca per diluire CO = 1,49 mc/s |

TRAFFICO FLUIDO
Ricambi aria per CO

| Media emissioni | PC gasoline | PC Diesel | LDV Diesel | HGV Diesel | |
|-----------------|-------------|-----------|------------|------------|-----------------------------|
| PreEURO | 52,89 | 0,45 | 2,23 | 5,46 | |
| EURO1 | 3,26 | 0,22 | 0,37 | 4,12 | |
| EURO2 | 5,35 | 0,88 | 0,70 | 10,28 | |
| EURO3 | 2,18 | 1,02 | 1,91 | 21,88 | |
| EURO4 | 4,11 | 1,29 | 2,08 | 1,16 | |
| EURO5 | 0,40 | 0,14 | 0,00 | 3,44 | |
| EURO6 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| Media | 68,18 | 4,00 | 7,30 | 46,33 | Media ponderale per veicolo |
| | 27,27 | 1,00 | 1,46 | 6,95 | 36,68 g/h |
| | | | | | 0,030569 mc/h |

$$Q_{CO} = \frac{q_{CO_{max}} \cdot f_v \cdot f_c \cdot D_{CO}}{3600} \times \frac{10^6}{CO_{max} - CO_{min}} \times L$$

Portata aria fresca per diluire CO = 1,74 mc/s

Riduzione ft al 2020

| | | | | |
|-------|------|------|------|---------------|
| 0,58 | 0,65 | 0,47 | 0,34 | |
| 15,82 | 0,65 | 0,69 | 2,36 | 19,52 g/h |
| | | | | 0,016264 mc/h |

Portata aria fresca per diluire CO = 0,93 mc/s

TRAFFICO FLUIDO
Ricambi aria per NO

| Media emissioni | PC gasoline | PC Diesel | LDV Diesel | HGV Diesel | |
|-----------------|-------------|-----------|------------|------------|-----------------------------|
| PreEURO | 7,26 | 0,70 | 1,93 | 21,64 | |
| EURO1 | 0,65 | 0,52 | 0,78 | 18,03 | |
| EURO2 | 1,02 | 2,85 | 3,02 | 63,92 | |
| EURO3 | 0,68 | 11,95 | 10,40 | 90,38 | |
| EURO4 | 0,59 | 11,57 | 10,41 | 20,46 | |
| EURO5 | 0,05 | 1,03 | 0,00 | 33,03 | |
| EURO6 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| Media | 10,26 | 28,62 | 26,54 | 247,46 | Media ponderale per veicolo |
| | 4,11 | 7,15 | 5,31 | 37,12 | 53,69 g/h |
| | | | | | 0,028257 mc/h |

$$Q_{NO} = \frac{Q_{emissioni} \times f \times L}{3600} \times D_{NO} \times \frac{10^6}{NO_{lim}} \times L$$

Portata aria fresca per diluire NO = 10,76 mc/s

| | | | | | |
|----------------------|------|------|------|-------|-------------|
| Riduzione ft al 2020 | 0,44 | 0,52 | 0,49 | 0,35 | |
| | 1,81 | 3,72 | 2,60 | 12,99 | 21,12 g/h |
| | | | | | 0,0176 mc/h |

Portata aria fresca per diluire NO = 6,70 mc/s

TRAFFICO FLUIDO
Ricambi aria per fumi

| Media emissioni | PC gasoline | PC Diesel | LDV Diesel | HGV Diesel | |
|-----------------|-------------|-----------|------------|------------|-----------------------------|
| PreEURO | | 0,09 | 0,30 | 1,01 | |
| EURO1 | | 0,08 | 0,16 | 0,78 | |
| EURO2 | | 0,29 | 0,42 | 1,11 | |
| EURO3 | | 0,63 | 0,88 | 2,13 | |
| EURO4 | | 0,69 | 0,56 | 0,24 | |
| EURO5 | | 0,01 | 0,00 | 0,69 | |
| EURO6 | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| Media | 0,00 | 1,80 | 2,32 | 5,95 | Media ponderale per veicolo |
| | 0,00 | 0,45 | 0,46 | 0,89 | 1,81 g/h |
| | | | | | 8,491083 mq/h |

$$Q_r = \frac{Q_{fumo} + Q_{part} + Q_{CO_2} + Q_{CO} + Q_{NOx}}{1000} \times D_h \times \frac{L}{K \text{ km}}$$

Portata aria fresca per diluire fumi 6,46 mc/s

| | | | | | |
|----------------------|------|------|------|------|---------------|
| Riduzione ft al 2020 | | 0,29 | 0,3 | 0,33 | |
| | 0,00 | 0,13 | 0,14 | 0,29 | 0,56 g/h |
| | | | | | 2,652094 mc/h |

Portata aria fresca per diluire fumi = 2,02 mc/s

Effetto Pistone

$$R_p = \sum_{i=1}^n \rho \times n_i \times \frac{(C_i \times \Omega_i)}{A_i} \times \frac{\delta \times (V_i + \mu \times V_{g,i})^2}{2}$$

83,33 [Pa]

| | |
|-----------------|-------|
| n1 | 11,65 |
| n2 | 2,06 |
| Ω_1 [mq] | 2,55 |
| C1 | 0,45 |
| Ω_2 [mq] | 8,75 |
| C2 | 0,85 |

VERIFICA

OK

Resistenza galleria

$$R_g = \left(\alpha + \beta + \lambda \times \frac{L}{D_h} \right) \times \frac{\rho \times V_g^3}{2}$$

0,14 [Pa]

| | |
|-----------|-----|
| α | 0,6 |
| β | 1 |
| λ | 0,3 |

TRAFFICO CONGESTIONATO

Ricambi aria per CO

| Media emissioni | PC gasoline | PC Diesel | LDV Diesel | HGV Diesel | |
|-----------------|-------------|-----------|------------|------------|-----------------------------|
| PreEURO | 26,52 | 0,41 | 2,74 | 3,78 | |
| EURO1 | 0,51 | 0,20 | 0,45 | 3,11 | |
| EURO2 | 0,60 | 0,81 | 0,87 | 6,57 | |
| EURO3 | 0,36 | 0,93 | 2,35 | 14,42 | |
| EURO4 | 1,37 | 1,16 | 2,57 | 3,77 | |
| EURO5 | 0,13 | 0,13 | 0,00 | 10,83 | |
| EURO6 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| Media | 29,50 | 3,64 | 8,98 | 42,48 | Media ponderale per veicolo |
| | 11,80 | 0,91 | 1,80 | 6,37 | 20,88 g/h |
| | | | | | 0,0174 mc/h |

$$Q_{CO} = \frac{g_{CO} \times \Omega \times f_v \times f_c \times D_{tot} \times 10^3}{3600 \times (CO_{lim} - CO_{att})} \times L$$

Portata aria fresca per diluire CO = 2,97 mc/s

| | | | | | |
|-----------------------------|------|------|------|------|---------------|
| Riduzione ft al 2020 | 0,58 | 0,65 | 0,47 | 0,34 | |
| | 6,84 | 0,59 | 0,84 | 2,17 | 10,45 g/h |
| | | | | | 0,008706 mc/h |

Portata aria fresca per diluire CO = 1,49 mc/s

Effetto Pistone

$$R_p = \sum_{i=1}^n \rho \times n_i \times \frac{(C_i \times \Omega)_i}{A_i} \times \frac{\delta \times (l_i + \mu \times l_i)^3}{2}$$

0,88 [Pa]

TRAFFICO CONGESTIONATO

Ricambi aria per NO

| Media emissioni | PC gasoline | PC Diesel | LDV Diesel | HGV Diesel | |
|-----------------|-------------|-----------|------------|------------|-----------------------------|
| PreEURO | 3,00 | 0,31 | 1,10 | 10,13 | |
| EURO1 | 0,27 | 0,23 | 0,45 | 8,64 | |
| EURO2 | 0,42 | 1,28 | 1,72 | 32,10 | |
| EURO3 | 0,34 | 4,40 | 5,92 | 47,94 | |
| EURO4 | 0,30 | 4,83 | 5,93 | 15,27 | |
| EURO5 | 0,03 | 0,43 | 0,00 | 49,44 | |
| EURO6 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| Media | 4,37 | 11,48 | 15,11 | 163,52 | Media ponderale per veicolo |
| | 1,75 | 2,87 | 3,02 | 24,53 | 32,17 g/h |
| | | | | | 0,01693 mc/h |

$$Q_{NO} = \frac{Q_{max} \times f \times f_c}{3600} \times D_{NO} \times \frac{10^6}{NO_{lim}} \times L$$

Portata aria fresca per diluire NO = 19,53 mc/s

| | | | | | |
|----------------------|------|------|------|------|---------------|
| Riduzione ft al 2020 | 0,44 | 0,52 | 0,49 | 0,35 | |
| | 0,77 | 1,49 | 1,48 | 8,58 | 12,33 g/h |
| | | | | | 0,006488 mc/h |

Portata aria fresca per diluire NO = 7,48 mc/s

TRAFFICO CONGESTIONATO

Ricambi aria per fumi

| Media emi: | PC gasoline | PC Diesel | LDV Diesel | HGV Diesel | |
|------------|-------------|-----------|------------|------------|-----------------------------|
| PreEURO | | 0,03 | 0,07 | 0,68 | |
| EURO1 | | 0,02 | 0,04 | 0,57 | |
| EURO2 | | 0,09 | 0,10 | 0,60 | |
| EURO3 | | 0,19 | 0,23 | 1,61 | |
| EURO4 | | 0,28 | 0,18 | 0,11 | |
| EURO5 | | 0,00 | 0,00 | 0,31 | |
| EURO6 | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| Media | 0,00 | 0,61 | 0,62 | 3,87 | Media ponderale per veicolo |
| | 0,00 | 0,15 | 0,12 | 0,58 | 0,86 g/h |
| | | | | | 4,023939 mc/h |

$$Q_r = \frac{q_{CO} + q_{CO_2} + q_{NO} + q_{NO_2} + q_{SO_2} + q_{PM_{10}}}{3600} \times D_v \times \frac{L}{K_{in}}$$

Portata aria fresca per diluire fum 6,63 mc/s

| | | | | | |
|-----------------------------|------|------|------|------|---------------|
| Riduzione ft al 2020 | 0,29 | 0,3 | 0,33 | | |
| | 0,00 | 0,04 | 0,04 | 0,19 | 0,27 g/h |
| | | | | | 1,281962 mc/h |

Portata aria fresca per diluire fumi = 2,11 mc/s

Effetto Pistone

$$R_p = \sum_{i=1}^n \rho \times n_i \times \frac{(C_i \times \Omega_i)}{d_i} \times \frac{\rho \times (l_i + \mu \times l_i)^2}{2}$$

0,88 [Pa]

| | |
|-----------------|------|
| n1 | 4,80 |
| n2 | 0,85 |
| Ω_1 [mq] | 2,55 |
| C1 | 0,45 |
| Ω_2 [mq] | 8,75 |
| C2 | 0,85 |

VERIFICA

OK

Resistenza galleria

$$R_g = \left(\alpha + \beta + \lambda \times \frac{l}{D_h} \right) \times \frac{\rho \times l_a^3}{2}$$

0,18 [Pa]

| | |
|-----------|-----|
| α | 0,6 |
| β | 1 |
| λ | 0,3 |

TRAFFICO BLOCCATO

Ricambi aria per CO

| Media emissioni | PC gasoline | PC Diesel | LDV Diesel | HGV Diesel | |
|-----------------|-------------|-----------|------------|------------|-----------------------------|
| PreEURO | 19,45 | 0,15 | 0,40 | 3,20 | |
| EURO1 | 0,09 | 0,08 | 0,12 | 1,66 | |
| EURO2 | 0,19 | 0,18 | 0,25 | 3,04 | |
| EURO3 | 0,10 | 0,27 | 0,45 | 3,99 | |
| EURO4 | 0,57 | 0,31 | 0,42 | 0,15 | |
| EURO5 | 0,06 | 0,03 | 0,00 | 0,42 | |
| EURO6 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| Media | 20,45 | 1,02 | 1,63 | 12,47 | Media ponderale per veicolo |
| | 8,18 | 0,25 | 0,33 | 1,87 | 10,63 g/h |
| | | | | | 0,008859 mc/h |

$$Q_{CO} = \frac{q_{CO} \times n \times f_v \times f_r \times D_{CO}}{3600} \times \frac{10^3}{CO_{lim} - CO_{att}} \times L$$

Portata aria fresca per diluire CO = 1,73 mc/s

| | | | | | |
|----------------------|------|------|------|------|---------------|
| Riduzione ft al 2020 | 0,58 | 0,65 | 0,47 | 0,34 | |
| | 4,74 | 0,17 | 0,15 | 0,64 | 5,70 g/h |
| | | | | | 0,004749 mc/h |

Portata aria fresca per diluire CO = 0,93 mc/s

TRAFFICO BLOCCATO

Ricambi aria per NO

| Media emissioni | PC gasoline | PC Diesel | LDV Diesel | HGV Diesel | |
|-----------------|-------------|-----------|------------|------------|-----------------------------|
| PreEURO | 1,04 | 0,22 | 0,59 | 4,87 | |
| EURO1 | 0,08 | 0,16 | 0,26 | 5,08 | |
| EURO2 | 0,21 | 0,79 | 1,16 | 15,73 | |
| EURO3 | 0,09 | 2,00 | 3,33 | 28,03 | |
| EURO4 | 0,14 | 2,85 | 3,97 | 6,33 | |
| EURO5 | 0,01 | 0,25 | 0,00 | 12,45 | |
| EURO6 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| Media | 1,57 | 6,27 | 9,31 | 72,48 | Media ponderale per veicolo |
| | 0,63 | 1,57 | 1,86 | 10,87 | 14,93 g/h |
| | | | | | 0,007858 mc/h |

$$Q_{NO} = \frac{q_{max} \times f_v \times f_e \times D_{NO} \times 10^6}{3600 \times NO_{lim}} \times L$$

Portata aria fresca per diluire NO = 5,98 mc/s

| | | | | | |
|----------------------|------|------|------|------|---------------|
| Riduzione ft al 2020 | 0,44 | 0,52 | 0,49 | 0,35 | |
| | 0,28 | 0,82 | 0,91 | 3,81 | 5,81 g/h |
| | | | | | 0,003058 mc/h |

Portata aria fresca per diluire NO = 2,33 mc/s

TRAFFICO BLOCCATO

Ricambi aria per fumi

| Media emi: | PC gasoline | PC Diesel | LDV Diesel | HGV Diesel | |
|------------|-------------|-----------|------------|------------|-----------------------------|
| PreEURO | | 0,01 | 0,11 | 0,60 | |
| EURO1 | | 0,01 | 0,06 | 0,56 | |
| EURO2 | | 0,05 | 0,24 | 0,29 | |
| EURO3 | | 0,10 | 0,51 | 0,49 | |
| EURO4 | | 0,12 | 0,51 | 0,10 | |
| EURO5 | | 0,00 | 0,00 | 0,29 | |
| EURO6 | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| Media | 0,00 | 0,31 | 1,43 | 2,34 | Media ponderale per veicolo |
| | 0,00 | 0,08 | 0,29 | 0,35 | 0,71 g/h |
| | | | | | 3,354509 mq/h |

$$Q_v = \frac{q_{CO} + q_{CO_2} + q_{HC} + q_{NO} + q_{NO_2} + q_{PM_{10}}}{3600} \times D_v \times \frac{L}{K_{in}}$$

Portata aria fresca per diluire fum 7,09 mc/s

| | | | | | |
|----------------------|------|------|------|------|---------------|
| Riduzione ft al 2020 | 0,29 | 0,3 | 0,33 | | |
| | 0,00 | 0,02 | 0,09 | 0,12 | 0,22 g/h |
| | | | | | 1,052246 mc/h |

Portata aria fresca per diluire fun 2,23 mc/s