



Comune di Venezia

Direzione Mobilità e Trasporti

Settore Pianificazione Infrastrutture Viabilità Trasporti

PIANO GENERALE DEL TRAFFICO URBANO STATO DI ATTUAZIONE E AGGIORNAMENTO

Allegato D

Stima dei consumi energetici e delle emissioni atmosferiche da traffico

Allegato

alla Deliberazione G.C. n. 265 del 23.05.2014

INDICE

1.	INTRODUZIONE.....	2
1.1.	Generalità	2
1.2.	Procedura di stima dei coefficienti in condizioni stazionarie	3
2.	PARAMETRI E FUNZIONI DI CONSUMO/EMISSIONE	4
3.	ANALISI DEL PARCO CIRCOLANTE	6
3.1.	Statistiche ACI sul parco circolante	6
3.2.	Analisi del parco veicolare all'orizzonte 2017	6
4.	STIMA DEI COEFFICIENTI UNITARI PER VEICOLI-TIPO	8
4.1.	Riferimenti teorici	8
4.2.	Calcolo applicativo	9
5.	CALCOLO DEI CONSUMI/EMISSIONI	12
5.1.	Gli indicatori.....	13

Il presente documento contiene :

- La descrizione della procedura utilizzata per la stima dei consumi energetici e delle emissioni di inquinanti atmosferici determinata dal traffico veicolare in Comune di Venezia;
- L'applicazione di questa procedura per valutare i benefici ambientali determinati dagli interventi previsti dal PGTU.

1. INTRODUZIONE

1.1. Generalità

Il calcolo dei consumi e delle emissioni di inquinanti atmosferici associati alla circolazione dei veicoli motorizzati utilizza i risultati del modello di simulazione del traffico a scala urbana (stima dei volumi di traffico e delle velocità di percorrenza) e si sviluppa attribuendo ai volumi di traffico opportuni coefficienti unitari di consumo/emissione, rappresentativi delle prestazioni ambientali dei veicoli circolanti.

La stima dei volumi di traffico è ottenuta con il modello di simulazione (già utilizzato per la valutazione tecnica degli scenari di Piano), modello che consente di disporre di una stima – disaggregata per singolo arco del grafo stradale – dei volumi di traffico e delle velocità medie di deflusso. Ciò consente di ottenere, a livello territoriale, stime di impatto ambientale ben disaggregate, che si prestano facilmente a successive aggregazioni per porzioni di rete e/o comparti urbani.

I coefficienti unitari di consumo/emissione, variabili in funzione delle caratteristiche tecnologiche dei veicoli e delle loro condizioni di marcia, sono definiti in base a informazioni tratte dalla letteratura tecnica, e in particolare dalla banca dati INEMAR/COPERT, opportunamente adattata al parco veicolare circolante nell'ambito territoriale oggetto di analisi.

I principali input/output della procedura sono sintetizzati nella seguente tabella.

Input	⇒ Flussi di traffico stradale per categoria di veicolo e arco stradale ⇒ Velocità media di deflusso per arco stradale ⇒ Coefficienti unitari di consumo/emissione per categoria veicolare (INEMAR/COPERT) ⇒ Composizione media del parco veicolare circolante
Output	⇐ Consumi energetici ed emissioni atmosferiche per arco stradale

Gli indicatori di consumo energetico normalmente presi in esame sono tre, mentre quelli di emissione atmosferica sono cinque (si veda tabella seguente).

Tipologia	Indicatore	Descrizione	Unità di misura.
CONSUMI ENERGETICI	C(b)	Consumi di benzina	g/vkm
	C(d)	Consumi di gasolio	g/vkm
	C	Consumi totali (compresi GPL e metano)	gwp/vkm
EMISSIONI ATMOSFERICHE	E(CO ₂)	Emissioni di anidride carbonica	g/vkm
	E(CO)	Emissioni di monossido di carbonio	g/vkm
	E(NO _x)	Emissioni di ossidi di azoto	g/vkm
	E(COV)	Emissioni di composti organici volatili	g/vkm
	E(PM ₁₀)	Emissioni di particolato	g/vkm

Va evidenziato che la procedura, non contemplando la modellizzazione della dispersione atmosferica delle sostanze emesse in atmosfera, consente di stimare unicamente le emissioni inquinanti, intese come fattore di pressione ambientale, e non invece le concentrazioni delle singole sostanze, intese come indicatore di stato/impatto ambientale.

1.2. Procedura di stima dei coefficienti in condizioni stazionarie

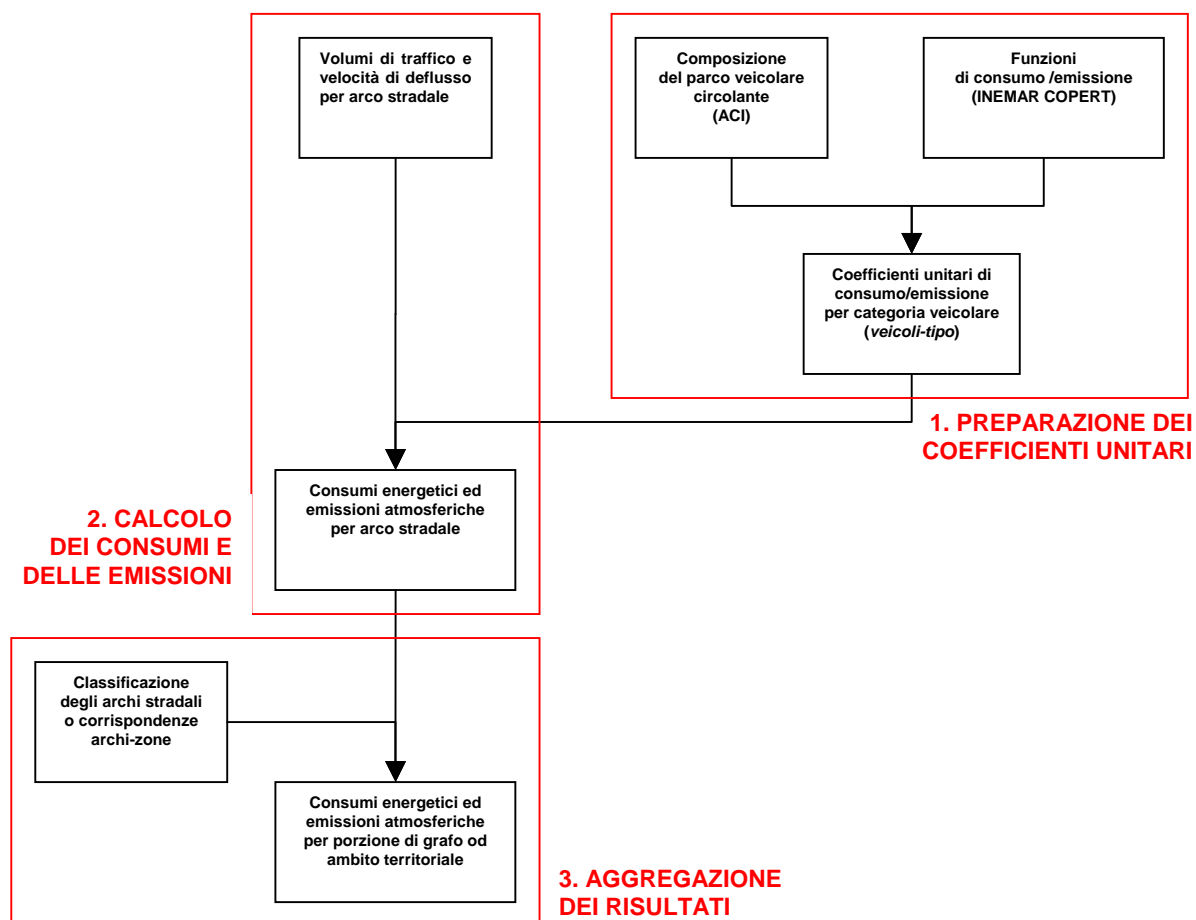
La procedura applicata è di tipo stazionario, cioè trascura le fasi di accelerazione e decelerazione che caratterizzano le condizioni di marcia reali, e si basa essenzialmente sulla costruzione di coefficienti unitari di consumo/emissione, definiti in funzione della velocità media di deflusso veicolare, attribuibili a veicoli-tipo, ciascuno dei quali viene fatto corrispondere a una delle categorie veicolari assegnate nel modello di simulazione.

Questa semplificazione è peraltro coerente con l'applicazione del calcolo ai risultati del modello di simulazione, che stima appunto non un andamento variabile di marcia ma la velocità media per ciascun arco della rete.

In termini schematici, la procedura assume le funzioni di consumo/emissione unitario definite dalla banca-dati INEMAR/COPERT e le combina tra loro in funzione della composizione del parco veicolare circolante nell'area di studio, in modo da ottenere funzioni rappresentative delle prestazioni ambientali fornite dai flussi veicolari assegnati al grafo stradale alle diverse velocità di deflusso.

Il calcolo prosegue poi attribuendo a ciascun arco stradale i coefficienti unitari, corrispondenti alla velocità di deflusso simulata, e moltiplicandoli per il volume di traffico, ottenuto come prodotto tra il flusso simulato e la lunghezza dell'arco.

I risultati ottenuti possono essere infine aggregati per porzioni di rete e/o per ambiti territoriali.



2. PARAMETRI E FUNZIONI DI CONSUMO/EMISSIONE

Il principale riferimento per la determinazione dei coefficienti unitari di consumo/emissione, da attribuire ai volumi di traffico simulati sulla rete, è rappresentato dalla metodologia INEMAR (INventario delle Emissioni in AtmosfeRa), che prevede l'utilizzo della banca-dati europea CORINAIR, e per quanto attiene al traffico si traduce nella metodologia di calcolo COPERT¹.

La banca-dati INEMAR/COPERT fornisce i coefficienti unitari di consumo/emissione relativi ad un gran numero di categorie veicolari (vedi tabella seguente), a loro volta articolate per:

- ⇒ alimentazione (benzina, gasolio, GPL)²
- ⇒ dimensione (cilindrata o portata)
- ⇒ età e classe di omologazione (UN-ECE / Euro)

Le tipologie di veicoli direttamente rappresentate nel modello sono:

- veicoli leggeri privati e veicoli commerciali leggeri (non differenziati)
- motocicli
- veicoli commerciali pesanti
- autobus

Come noto, la metodologia COPERT prevede che il calcolo delle emissioni dei singoli inquinanti emessi avvenga secondo una formulazione del tipo:

$$E_{TOT} = E_H + E_C + E_E$$

dove:

- E_{TOT} sono le emissioni totali
- E_H sono le emissioni durante il regime stazionario di funzionamento del motore (emissioni "a caldo")
- E_C sono le emissioni aggiuntive durante il regime transitorio di funzionamento del motore (emissioni "a freddo"), o comunque con catalizzatore al di sotto della temperatura di attivazione (*light off*)
- E_E sono le emissioni evaporative (rilevanti soltanto per i composti organici volatili).

EMISSIONI A CALDO

Le emissioni a caldo dell'inquinante z per la categoria veicolare z su ciascun arco (i,j) sono stimate, in modo analogo ai consumi energetici, secondo relazioni del tipo

$$E_{k,z}^H(i,j) = e_{k,z}^H(v) \cdot F_k(i,j) \cdot L(i,j)$$

dove:

- $L(i,j)$ è la lunghezza dell'arco (i,j)
- $F_k(i,j)$ è il flusso veicolare di categoria k assegnato all'arco (i,j)
- $e_{k,z}^H(v)$ è un coefficiente di emissione unitario definito per il combustibile z e la categoria veicolare k in funzione della velocità media di avanzamento del flusso veicolare sull'arco (i,j)

¹ Vedi: Ntziachristos L., Samaras Z. [2000] *COPERT III Computer programme to calculate emissions from road transport. Methodology and emission factors (version 2.1)*; technical report n.49, European Environmental Agency, Copenhagen, november 2000. Gkatzoflias D., Kouridis C., Ntziachristos L., Samaras Z. [2007] *COPERT 4 Computer programme to calculate emissions from road transport; user manual*, European Environmental Agency, Copenhagen, december 2007.

² La banca-dati non comprende i coefficienti di consumo/emissione dei veicoli a metano, che in alcune regioni italiane costituiscono una quota secondaria, ma non del tutto trascurabile, del parco veicolare circolante.

Il calcolo dei coefficienti di consumo unitario avviene secondo le formulazioni empiriche contenute nel manuale COPERT III (metodologia base – capp.4-5). In particolare, si fa riferimento alle formule indicate nel prospetto seguente:

Categoria	Alimentazione	Tabelle
Motocicli	Benzina	5.22 / 5.24 / 5.25
Autovetture	Benzina	5.7
	Diesel	5.8 / 5.9 / 5.10
	Gpl	5.11 / 5.12
Autobus	Diesel	5.19 / 5.21
Veicoli comm.leggeri	Diesel	
Veicoli comm.pesanti	Diesel	

EMISSIONI A FREDDO

Queste emissioni, additive rispetto a quelle calcolate per il funzionamento a caldo, sono calcolate mediante relazioni del tipo:

$$E_{k,z}^C(i,j) = \beta_{k,z}(\theta) \cdot \left[\frac{e^C}{e^H} - 1 \right] \cdot e_{k,z}^H(v) \cdot F_k(i,j) \cdot L(i,j)$$

dove:

- $\beta_{k,z}(\vartheta)$ è la frazione di percorrenze veicolari che si verificano con motori a freddo
- e^C è il coefficiente di emissione a caldo
- $L(i,j)$ è la lunghezza dell'arco (i,j)
- $F_k(i,j)$ è il flusso veicolare di categoria k assegnato all'arco (i,j)
- $e_{k,z}^H(v)$ è un coefficiente di emissione unitario definito per il combustibile z e la categoria veicolare k in funzione della velocità media di avanzamento del flusso veicolare sull'arco (i,j)

Il parametro β dipende dalla temperatura ambientale ϑ (per motivi pratici si utilizza la temperatura media mensile di ciascuna zona) ed anche dalle modalità d'uso dei veicoli (in particolare la lunghezza media degli spostamenti).

Data la lunghezza media degli spostamenti, L_{TRIP} , esso è dato da:

$$\beta = 0,6474 - 0,02545 \cdot L_{TRIP} - (0,00974 - 0,000385 \cdot L_{TRIP}) \cdot \theta$$

Il fattore moltiplicativo viene invece espresso da relazioni del tipo:

$$\frac{e^C}{e^H} = Av + B\theta + K$$

definite per ciascun tipo di veicolo, separatamente per gli intervalli di velocità 5-25 km/h e 26-45 km/h.

EMISSIONI EVAPORATIVE

Le emissioni evaporative sono state qui trascurate, anche perché scarsamente differenziate tra le diverse alternative analizzate.

3. ANALISI DEL PARCO CIRCOLANTE

3.1. Statistiche ACI sul parco circolante

L'utilizzo dei coefficienti unitari COPERT richiede un adattamento in funzione dell'effettiva composizione del parco veicolare circolante, che viene in genere desunta dalle statistiche dell'ACI.

In particolare, è possibile utilizzare le statistiche relative al totale dei veicoli immatricolati nel territorio nazionale, che vanno da qualche anno sotto il nome di "autoritratto", e che sono reperibili sul sito www.aci.it.

Da tale fonte è possibile estrarre le statistiche relative ai veicoli immatricolati per Provincia, ripartiti per tipo (MC=motocicli, AV=autovetture, VI=veicoli industriali, AB=autobus), alimentazione, cilindrata/portata e classi di omologazione.

3.2. Analisi del parco veicolare all'orizzonte 2017

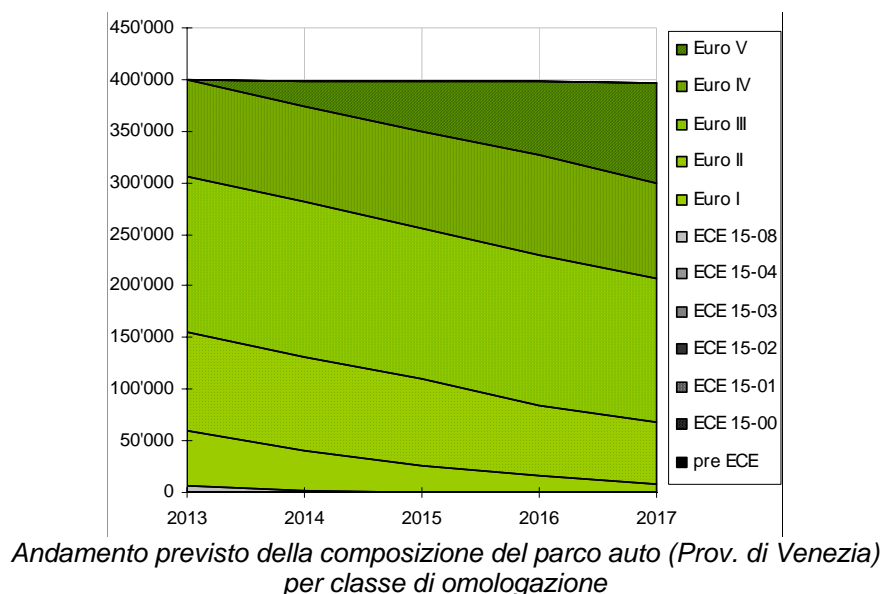
Per stimare l'effetto dell'evoluzione tecnologica del parco veicolare è stata sviluppata una analisi storica dell'andamento del parco, in modo da poter ipotizzare la composizione del parco in orizzonte futuro.

I principali fattori considerati sono stati:

- la numerosità complessiva del parco, anche in funzione dell'andamento della popolazione residente (tassi di motorizzazione);
- la composizione per alimentazione (benzina, gasolio, GPL, metano);
- la composizione per cilindrata (autovetture) o portata (autocarri);
- la composizione per classi d'età e/o di omologazione Euro/ECE.

La proiezione futura del parco veicolare rappresenta un'attività piuttosto complessa, che ha richiesto l'utilizzo di uno specifico strumento modellistico (modello "demografico/markoviano").

In estrema sintesi si stima il numero di auto e l'età delle auto che verranno rottamate da oggi al 2017 e la composizione delle auto di nuova immatricolazione che entreranno in circolazione nel medesimo periodo.



L'evoluzione è rappresentata nel precedente grafico.

Si prevede che nei prossimi 5 anni il numero di veicoli immatricolati resti costante.

Per effetto della naturale usura dovuta ai chilometri percorsi dai veicoli e come conseguenza delle politiche che spingono verso l'acquisto di auto meno inquinanti (attraverso incentivi alla rottamazione o con l'imposizione di divieti di circolazione ai veicoli più inquinanti in determinati periodi dell'anno), si può prevedere che la "composizione del parco veicolare" vari nel tempo.

Questo perché i motori dei veicoli rottamati (mediamente con più di 10 anni di vita) rispettano normative antinquinamento ormai datate (PRE-EURO, EURO1 o EURO2).

Per legge i nuovi veicoli venduti devono rispettare invece la normativa EURO5, che prevede l'installazione di motori con minore emissione di gas inquinanti. Alcune case automobilistiche hanno nei propri listini autovetture già in regola con la normativa EURO6 (che entrerà in vigore il 1 gennaio 2016).

Di conseguenza, per il solo effetto del ricambio delle auto in circolazione, si avrà una serie di benefici ambientali anche a parità di km percorsi sull'intera rete.

Come si può osservare nella parte alta del grafico, ad esempio, la quota di veicoli EURO5 (i meno inquinanti) nel 2017 sarà circa il 25% del totale delle auto in circolazione.

Al contrario si prevede la pressoché totale scomparsa dei veicoli "pre-EURO" (i veicoli più inquinanti, rappresentati in grigio nel grafico) e una decisa riduzione dei veicoli EURO1.

4. STIMA DEI COEFFICIENTI UNITARI PER VEICOLI-TIPO

4.1. Riferimenti teorici

Una volta nota la composizione del parco veicolare, i coefficienti di consumo/emissione da applicare ai volumi simulati possono essere determinati per semplice ponderazione dei valori COPERT, sulla base della numerosità dei veicoli appartenenti a ciascuna classe veicolare, nonché delle corrispondenti percorrenze medie annue³.

Le formule sono le seguenti :

$$c_k(v) = \frac{N_{a,c,o} \cdot P_{a,c,o}}{\sum N_{a,c,o} \cdot P_{a,c,o}} c_{a,c,o}(v)$$

$$e_k(v) = \frac{N_{a,c,o} \cdot P_{a,c,o}}{\sum N_{a,c,o} \cdot P_{a,c,o}} e_{a,c,o}(v)$$

dove:

$c_k(v)$, $e_k(v)$	coefficiente di consumo/emissione attribuito alla classe veicolare k, in funzione della velocità v
$c_{a,c,o}(v)$, $e_{a,c,o}(v)$	coefficiente di consumo/emissione attribuito alla classe di alimentazione a, cilindrata c ed omologazione o, in funzione della velocità v
$N_{a,c,o}$	numero di veicoli appartenenti alla classe di alimentazione a, cilindrata c ed omologazione o
$P_{a,c,o}$	percorrenza media annua dei veicoli appartenenti alla classe di alimentazione a, cilindrata c ed omologazione o

Operativamente si ottengono le tabelle dei coefficienti medi unitari di consumo/emissione per le diverse composizioni del parco, definiti per intervalli di velocità di 10 km/h.

Nel caso delle autovetture, le tabelle da utilizzare sono due, relative ai coefficienti di emissione a caldo ed a quelli totali (a caldo ed a freddo). La ripartizione tra quota di percorrenza a caldo e quota di percorrenza a freddo è stimata globalmente sulla base di un dato -stimato- di percorrenza media.

A titolo esemplificativo, per le autovetture le classi veicolari considerate sono indicate nella seguente tabella. Per ognuna di esse la metodologia COPERT fornisce una specifica curva di consumo e di emissione per tutti gli inquinanti considerati.

³ L'utilizzo delle percorrenze medie annue come fattore di ponderazione è reso necessario dal fatto che la probabilità di intercettare un veicolo appartenente ad una data classe di alimentazione/cilindrata/omologazione, all'interno di una corrente di traffico simulata, è proporzionale non soltanto al numero di veicoli appartenenti a tale classe, ma anche alla corrispondente intensità d'uso. In presenza di simulazioni multi-utente, con distinzione dei flussi di traffico per motivo o relazione O/D, è possibile ipotizzare l'utilizzo di parchi veicolari specifici e distinti per ogni categoria di domanda assegnata.

<u>Distrib.per classe ECE - benzina</u>	Distribuzione per cilindrata			Totale
	< 1,4 l	1,4-2,0 l	> 2,0 l	
PRE ECE	15'497	5'575	1'139	22'211
Euro I (91/441/EEC)	8'756	4'596	344	13'696
Euro II (94/12/EC)	42'944	15'386	821	59'151
Euro III (98/69/EC stage 2000)	30'612	8'436	957	40'005
Euro IV (98/69/EC stage 2000)	63'482	17'035	2'141	82'658
Euro V	17'207	3'444	376	21'027
Totale	178'498	54'472	5'778	238'748

<u>Distrib.per classe ECE - gasolio</u>	Distribuzione per cilindrata			Totale
	< 1,4 l	1,4-2,0 l	> 2,0 l	
conventional	206	1'415	1'629	3'250
Euro I (91/441/EEC)	14	763	776	1'553
Euro II (94/12/EC)	48	10'759	4'226	15'033
Euro III (98/69/EC stage 2000)	5'477	33'786	10'152	49'415
Euro IV (98/69/EC stage 2000)	14'721	41'032	10'264	66'017
Euro V	4'523	20'854	4'172	29'549
Totale	24'989	108'609	31'219	164'817

<u>Distrib.per classe ECE - GPL</u>	Distribuzione per cilindrata			Totale
	< 1,4 l	1,4-2,0 l	> 2,0 l	
conventional	1'166	1'432	138	2'736
Euro I (91/441/EEC)	293	782	49	1'124
Euro II (94/12/EC)	1'526	2'567	195	4'288
Euro III (98/69/EC stage 2000)	1'226	1'391	245	2'862
Euro IV (98/69/EC stage 2000)	14'216	6'055	492	20'763
Euro V	3'124	637	13	3'774
Totale	21'551	12'864	1'132	35'547

<u>METANO</u>	Distribuzione per cilindrata			Totale
	< 1,4 l	1,4-2,0 l	> 2,0 l	
Totale	5'111	2'771	96	7'978

Composizione del parco circolante in provincia di Venezia (fonte: Autoritratto ACI 2012)

Per la ricostruzione dell'auto media circolante a Venezia sono state quindi ponderate (in proporzione alla composizione del parco circolante) le curve per ognuno dei parametri determinati per ogni classe inserita in tabella.

4.2. Calcolo applicativo

La procedura sopra descritta è stata sviluppata per il caso in esame utilizzando i dati relativi alla Provincia di Venezia.

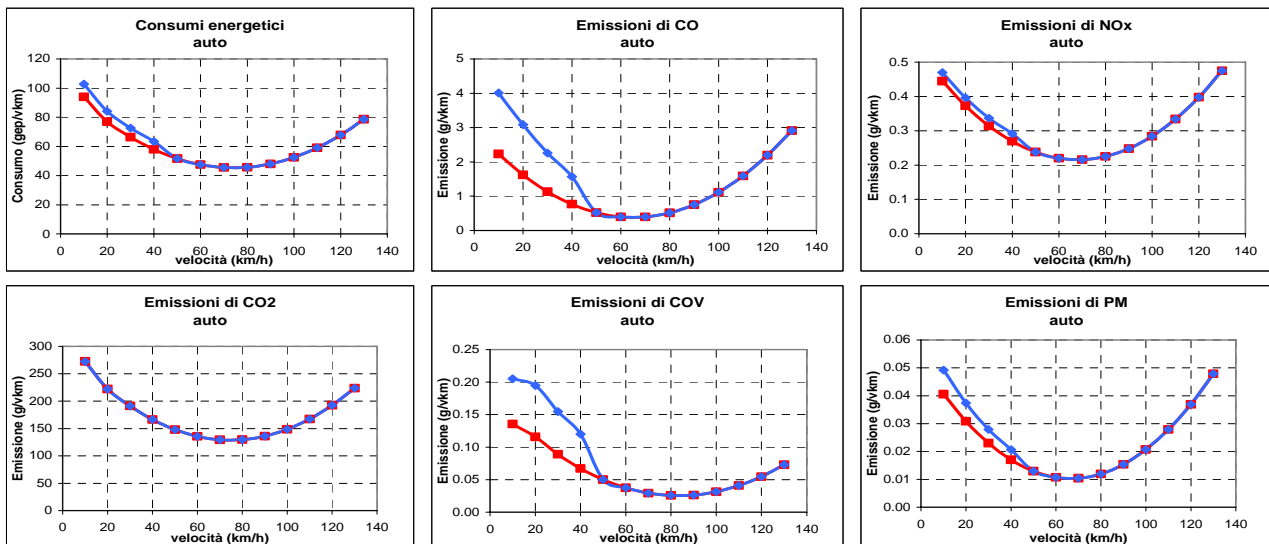
Di seguito sono riportati:

- i coefficienti medi finali di consumo ed emissioni unitarie attuali per le diverse categorie considerate (autovetture, mezzi pesanti). Per le autovetture è anche riportata la tabella relativa alla stima delle emissioni future);
- (nel caso delle autovetture) i grafici delle curve di consumo/emissione unitaria in funzione della velocità di avanzamento del veicolo. Le curve rappresentate in blu sono relative alle emissioni totali (a caldo ed a freddo), mentre quelle rappresentate in rosso rispecchiano le sole emissioni a caldo.

Autovetture 2012

COEFFICIENTI DI CONSUMO/EMISSIONE UNITARI IN CONDIZIONI STAZIONARIE (COPERT)								
Velocità km/h	Consumi (g/vkm)			Emissioni (g/vkm)				
	benzina	gasolio	g.e.p.*vkm	CO2	CO	COV	NOx	PM
0	63.1	48.5	121.4	322.6	4.94	0.216	0.543	0.0610
10	51.5	42.8	102.8	272.3	4.01	0.205	0.470	0.0492
20	39.8	37.1	84.1	222.1	3.08	0.195	0.396	0.0374
30	33.8	32.3	72.6	191.1	2.26	0.155	0.337	0.0279
40	29.1	28.5	63.4	166.4	1.57	0.120	0.291	0.0207
50	23.4	23.4	51.7	147.9	0.52	0.050	0.238	0.0130
60	21.2	21.7	47.6	135.6	0.40	0.038	0.220	0.0108
70	20.2	20.8	45.6	129.5	0.40	0.030	0.216	0.0104
80	20.2	20.8	45.7	129.7	0.52	0.026	0.225	0.0120
90	21.4	21.7	48.0	136.0	0.75	0.026	0.248	0.0154
100	23.6	23.4	52.5	148.6	1.11	0.032	0.284	0.0207
110	27.0	26.0	59.1	167.4	1.59	0.041	0.334	0.0279
120	31.4	29.5	67.8	192.5	2.19	0.055	0.397	0.0369
130	37.0	33.8	78.7	223.7	2.92	0.073	0.474	0.0479

* g.e.p. = grammi equivalenti di petrolio



Autocarri (heavy duty vehicles) 2012

COEFFICIENTI DI CONSUMO/EMISSIONE UNITARI IN CONDIZIONI STAZIONARIE (COPERT)								
Velocità km/h	Consumi (g/vkm)			Emissioni (g/vkm)				
	benzina	gasolio	g.e.p.*vkm	CO2	CO	COV	NOx	PM
0	0.0	530.3	530.3	1654.2	5.8	4.97	14.17	1.17
10	0.0	406.8	406.8	1268.9	4.2	3.41	10.33	0.84
20	0.0	283.2	283.2	883.5	2.6	1.86	6.48	0.51
30	0.0	229.6	229.6	716.4	2.0	1.30	4.94	0.38
40	0.0	198.1	198.1	618.0	1.6	1.01	4.08	0.31
50	0.0	176.7	176.7	551.3	1.5	0.88	3.68	0.27
60	0.0	161.0	161.0	502.3	1.3	0.75	3.22	0.23
70	0.0	172.9	172.9	539.6	1.2	0.65	3.03	0.21
80	0.0	182.5	182.5	569.6	1.1	0.59	3.05	0.19
90	0.0	196.7	196.7	613.7	1.0	0.54	3.07	0.17
100	0.0	215.3	215.3	671.9	1.0	0.49	3.20	0.16
110	0.0	215.3	215.3	671.9	1.0	0.49	3.20	0.16
120	0.0	215.3	215.3	671.9	1.0	0.49	3.20	0.16
130	0.0	215.3	215.3	671.9	1.0	0.49	3.20	0.16

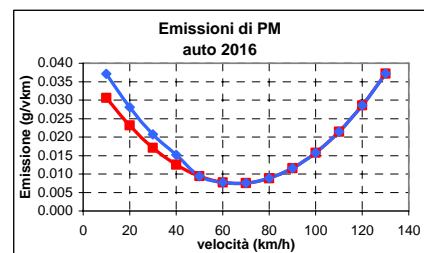
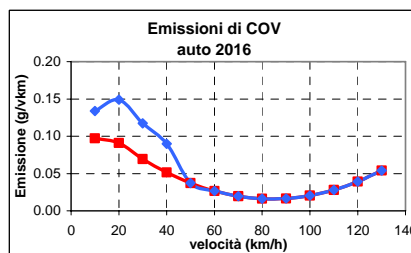
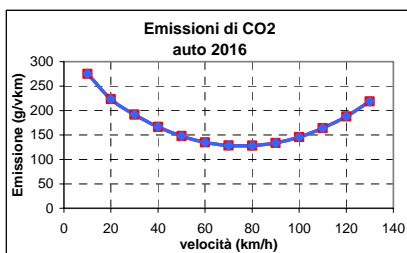
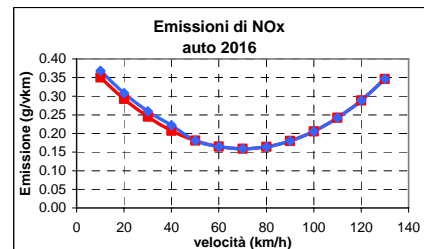
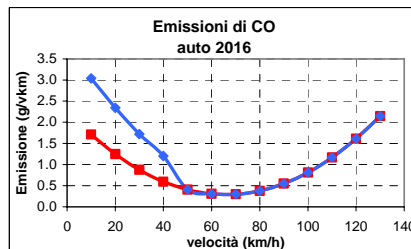
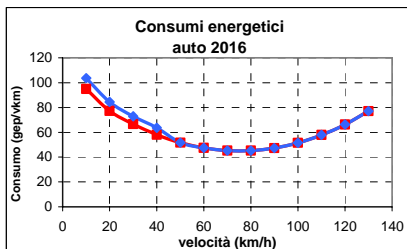
* g.e.p. = grammi equivalenti di petrolio

** si ipotizza una velocità massima dei veicoli pesanti di 100 km/h (le emissioni per archi simulati a velocità superiore sono

Autovetture 2016

COEFFICIENTI DI CONSUMO/EMISSIONE UNITARI IN CONDIZIONI STAZIONARIE (COPERT)									
Velocità km/h	Consumi (g/vkm)			Emissioni (g/vkm)					
	benzina	gasolio	g.e.p.*/vkm	CO ₂	CO	COV	NO _x	PM	
0	64.9	48.2	122.9	327.1	3.74	0.119	0.427	0.0462	
10	52.6	42.6	103.7	275.2	3.04	0.134	0.368	0.0371	
20	40.4	36.9	84.6	223.3	2.34	0.149	0.308	0.0281	
30	34.2	32.2	72.9	192.0	1.72	0.117	0.260	0.0207	
40	29.3	28.4	63.5	166.8	1.20	0.090	0.222	0.0152	
50	23.4	23.4	51.7	147.9	0.40	0.037	0.181	0.0094	
60	21.1	21.7	47.4	135.1	0.30	0.027	0.165	0.0078	
70	19.8	20.8	45.2	128.5	0.30	0.020	0.159	0.0076	
80	19.7	20.8	45.2	128.1	0.38	0.016	0.164	0.0089	
90	20.7	21.7	47.3	133.8	0.55	0.017	0.180	0.0116	
100	22.8	23.4	51.5	145.8	0.81	0.020	0.205	0.0158	
110	25.9	26.0	57.9	163.9	1.17	0.028	0.242	0.0214	
120	30.2	29.4	66.4	188.2	1.61	0.039	0.289	0.0286	
130	35.5	33.7	77.0	218.7	2.15	0.054	0.346	0.0371	

* g.e.p. = grammi equivalenti di petrolio

**Autocarri (heavy duty vehicles) 2016**

COEFFICIENTI DI CONSUMO/EMISSIONE UNITARI IN CONDIZIONI STAZIONARIE (COPERT)									
Velocità km/h	Consumi (g/vkm)			Emissioni (g/vkm)					
	benzina	gasolio	g.e.p.*/vkm	CO ₂	CO	COV	NO _x	PM	
0	0.0	530.3	530.3	1654.2	5.6	4.84	13.89	1.13	
10	0.0	406.8	406.8	1268.9	4.0	3.32	10.14	0.81	
20	0.0	283.2	283.2	883.5	2.5	1.81	6.40	0.49	
30	0.0	229.6	229.6	716.4	1.9	1.27	4.89	0.37	
40	0.0	198.1	198.1	618.0	1.5	0.98	4.04	0.30	
50	0.0	176.7	176.7	551.3	1.5	0.85	3.64	0.26	
60	0.0	161.0	161.0	502.3	1.3	0.73	3.20	0.23	
70	0.0	172.9	172.9	539.6	1.2	0.63	3.00	0.20	
80	0.0	182.5	182.5	569.6	1.1	0.58	3.01	0.18	
90	0.0	196.7	196.7	613.7	1.0	0.52	3.02	0.17	
100	0.0	215.3	215.3	671.9	0.9	0.47	3.12	0.16	
110	0.0	215.3	215.3	671.9	0.9	0.47	3.12	0.16	
120	0.0	215.3	215.3	671.9	0.9	0.47	3.12	0.16	
130	0.0	215.3	215.3	671.9	0.9	0.47	3.12	0.16	

* g.e.p. = grammi equivalenti di petrolio

** si ipotizza una velocità massima dei veicoli pesanti di 100 km/h (le emissioni per archi simulati a velocità superiore sono calcolate utilizzando i coefficienti di emissione a 100 km/h)

5. CALCOLO DEI CONSUMI/EMISSIONI

Il calcolo dei consumi energetici viene effettuato, per ciascuna categoria veicolare k e ciascun combustibile z su ciascun arco (i,j) , utilizzando una relazione del tipo:

$$C_{k,z}(i,j) = c_{k,z}(v) \cdot F_k(i,j) \cdot L(i,j)$$

dove:

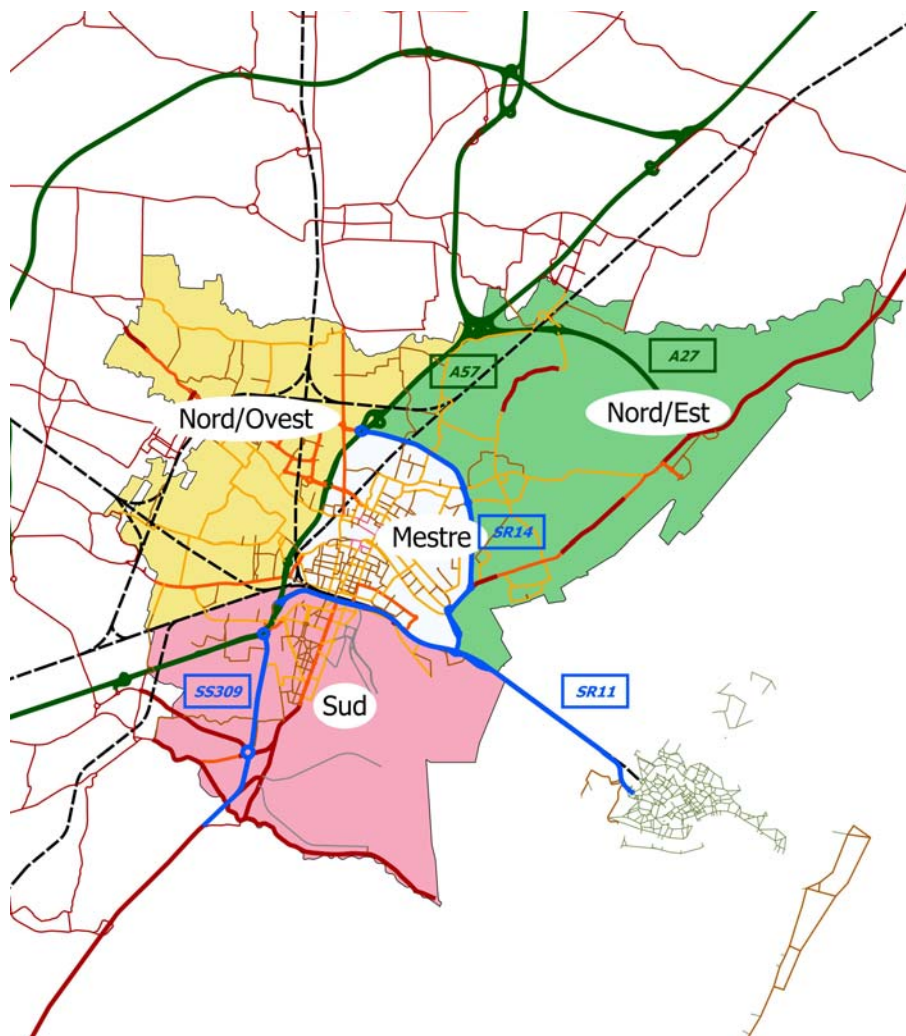
$L(i,j)$ è la lunghezza dell'arco (i,j)

$F_k(i,j)$ è il flusso veicolare di categoria k assegnato all'arco (i,j)

$c_{k,z}(v)$ è un coefficiente di consumo unitario definito per il combustibile z e la categoria veicolare k in funzione della velocità media di avanzamento del flusso veicolare sull'arco (i,j)

I valori di consumo ed emissioni calcolati per arco vengono poi riaggregati per comparto territoriale e categorie di strade, distinguendo:

- Rete autostradale (A57, A27)
- Rete superstradale (Romea, viale Ponte della Libertà, viale Martiri della Libertà)
- Mestre – Area densa
- Quadrante nord est
- Quadrante nord ovest
- Quadrante sud



Definizione delle aree di analisi

5.1. Gli indicatori

Nelle seguenti tabelle sono riportati i valori delle percorrenze, dei consumi e delle emissioni relative all'ora di punta del mattino di un giorno lavorativo/scolastico tipo calcolati per lo stato di fatto e per lo scenario PGTU (orizzonte temporale 2016).

I valori sono differenziati per comparto territoriale.

Stato di fatto	Percorrenza in ora di punta		Prestazioni medie auto e furgoni in ora di punta			Consumi in ora di punta			Emissioni in ora di punta				
	Area	Auto e furgoni km	Bus e camion km	Velocità media km/h	Rendimenti Benzina km/l	Rendimenti Gasolio km/l	Benzina kg	Gasolio kg	kGEP kg	CO2 t	CO kg	COV kg	NO _x kg
A57+A27	89'810	29'784	49.0	12.5	17.1	2'226	7'814	10'512	31.2	130.7	32.15	135.5	9.57
SS309+SR11+SR14	42'956	15'778	27.4	9.9	14.2	1'343	4'945	6'548	19.2	109.2	26.89	93.5	7.21
Mestre	33'892	4'418	34.7	10.5	14.7	1'001	1'873	3'071	8.7	59.9	8.71	29.3	2.19
Quadrante nord/est	36'083	4'906	49.4	12.8	17.4	869	1'745	2'797	8.1	36.6	6.68	27.0	1.86
Quadrante nord/ovest	35'230	2'575	38.4	10.8	15.1	1'004	1'508	2'714	7.5	55.3	6.54	21.3	1.56
Quadrante sud	25'981	4'717	33.1	10.7	15.1	749	1'648	2'545	7.3	44.9	7.57	27.1	2.02
Totale	263'952	62'178	47.9	11.3	15.8	7'192	19'532	28'187	81.9	436.5	88.54	333.6	24.41

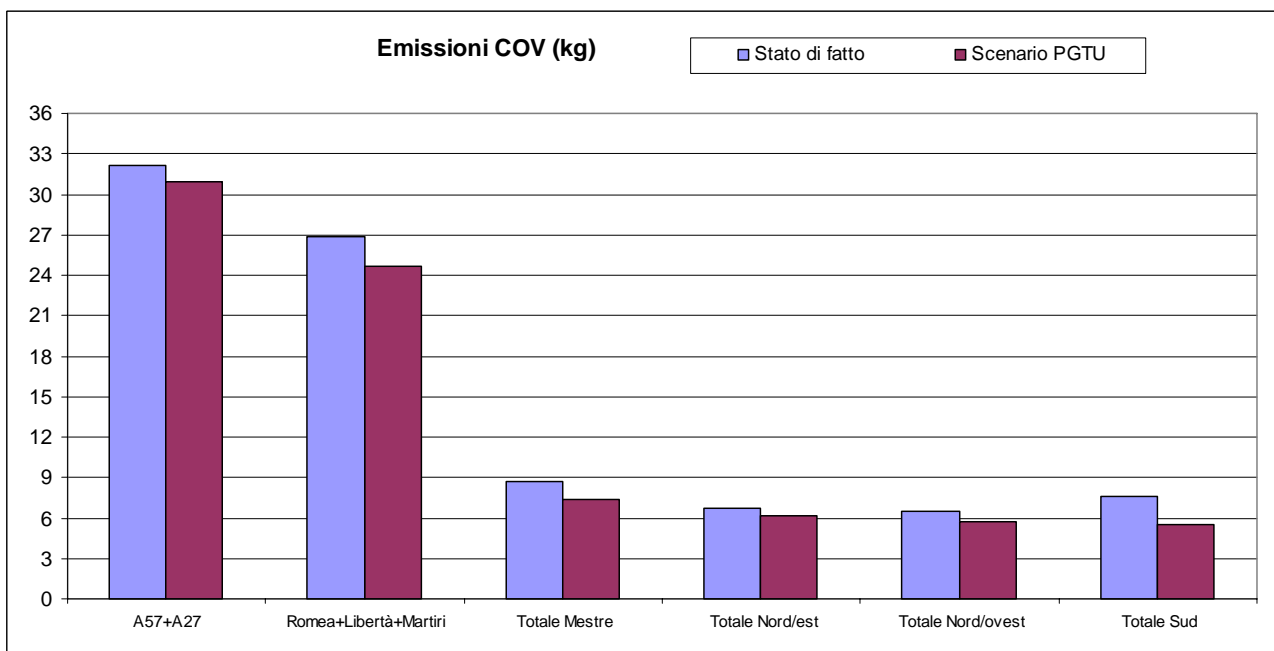
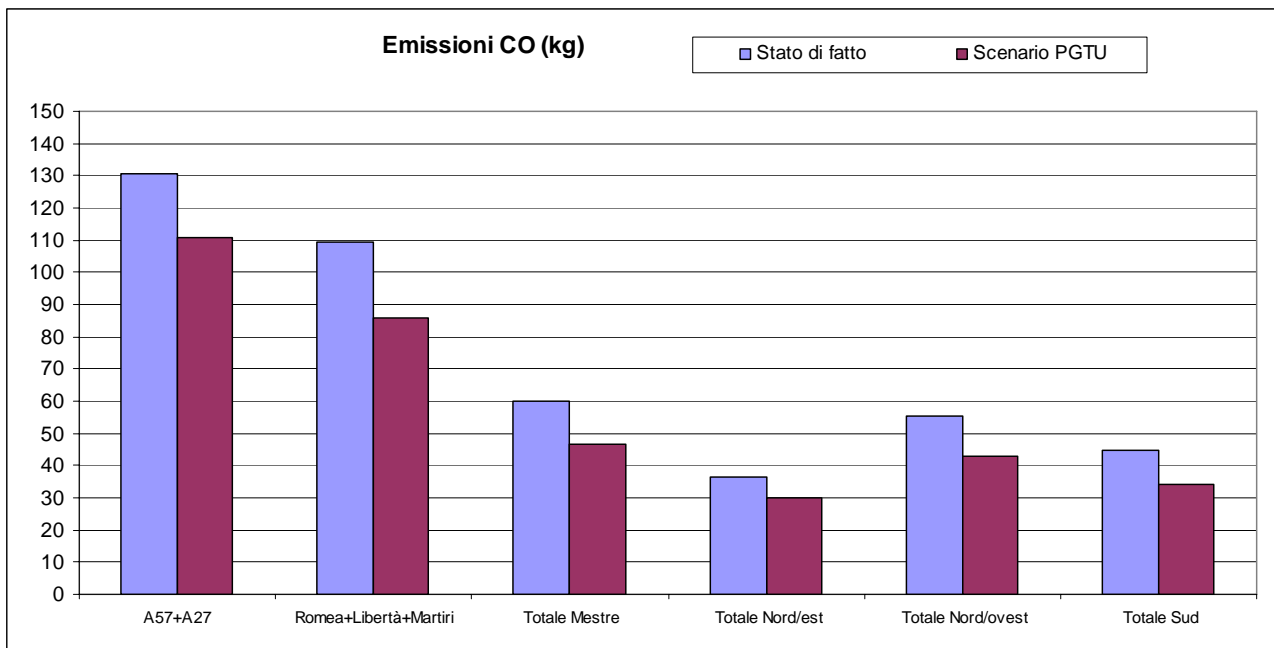
Scenario PGTU	Percorrenza in ora di punta		Prestazioni medie auto e furgoni in ora di punta			Consumi in ora di punta			Emissioni in ora di punta				
	Area	Auto e furgoni km	Bus e camion km	Velocità media km/h	Rendimenti Benzina km/l	Rendimenti Gasolio km/l	Benzina kg	Gasolio kg	kGEP kg	CO2 t	CO kg	COV kg	NO _x kg
A57+A27	89'864	30'275	48.7	12.5	17.1	2'221	7'968	10'660	31.6	110.8	30.93	131.8	9.26
SS309+SR11+SR14	41'693	16'225	28.2	10.0	14.4	1'289	4'932	6'470	19.0	85.7	24.66	89.4	6.70
Mestre	34'526	4'143	35.1	10.5	14.8	1'019	1'828	3'047	8.6	46.6	7.33	25.7	1.87
Quadrante nord/est	36'819	5'182	49.6	12.9	17.5	880	1'806	2'873	8.3	30.1	6.16	25.7	1.76
Quadrante nord/ovest	34'696	2'731	38.1	10.7	15.1	998	1'527	2'724	7.6	43.0	5.68	19.4	1.40
Quadrante sud	25'584	3'734	33.3	10.6	15.1	742	1'424	2'312	6.6	34.0	5.53	20.5	1.48
Totale	263'182	62'290	48.4	11.4	15.9	7'151	19'485	28'087	81.7	350.2	80.28	312.5	22.46

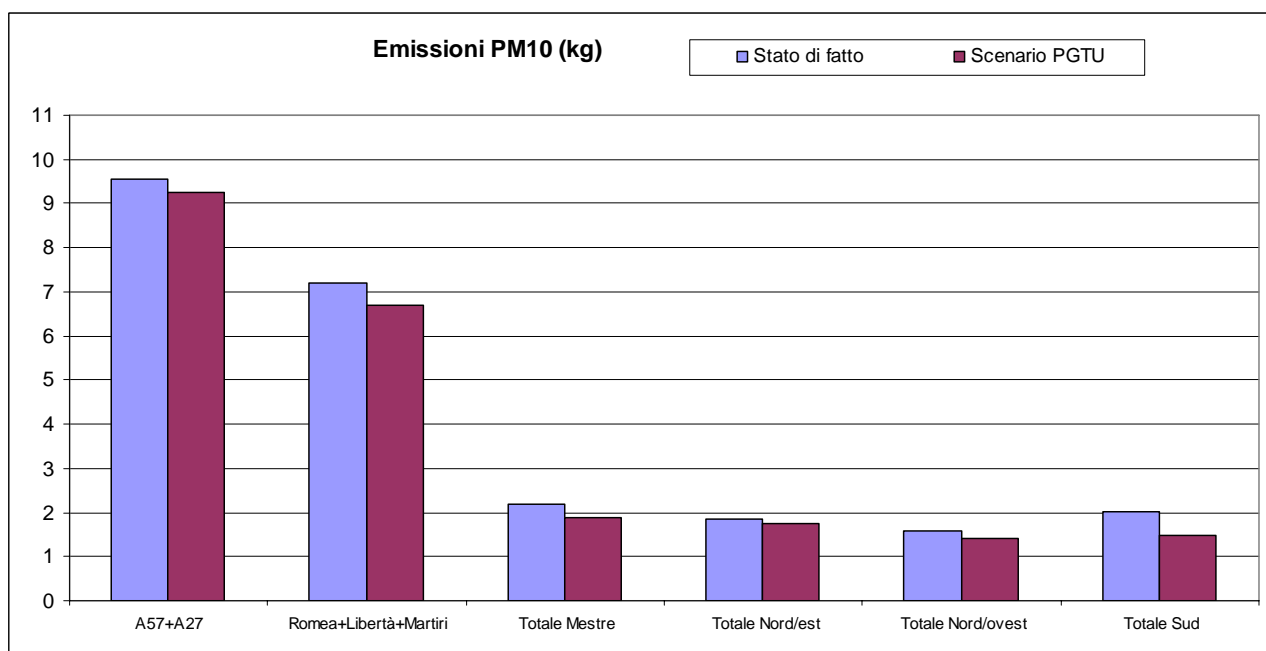
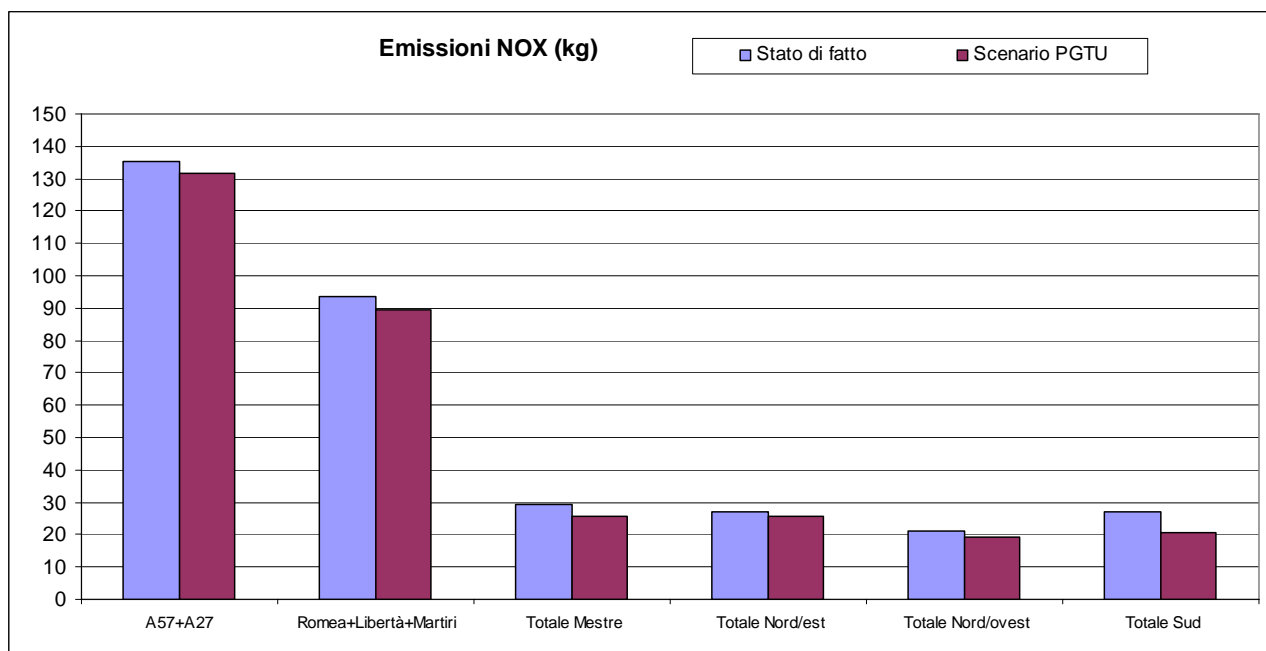
Differenze PGTU-SDF	Percorrenza in ora di punta		Prestazioni medie auto e furgoni in ora di punta			Consumi in ora di punta			Emissioni in ora di punta				
	Area	Auto e furgoni km	Bus e camion km	Velocità media km/h	Rendimenti Benzina km/l	Rendimenti Gasolio km/l	Benzina kg	Gasolio kg	kGEP kg	CO2 t	CO kg	COV kg	NO _x kg
A57+A27	54	491	-0.3	0.0	-0.1	-5	154	148	0.4	-19.8	-1.22	-3.7	-0.31
SS309+SR11+SR14	-1'263	447	0.8	0.1	0.2	-54	-13	-78	-0.2	-23.5	-2.23	-4.1	-0.51
Mestre	634	-275	0.4	0.0	0.1	18	-45	-24	-0.1	-13.3	-1.39	-3.6	-0.32
Quadrante nord/est	736	276	0.2	0.1	0.1	12	61	76	0.2	-6.5	-0.53	-1.3	-0.10
Quadrante nord/ovest	-534	156	-0.3	-0.1	0.0	-6	19	10	0.0	-12.3	-0.86	-1.9	-0.17
Quadrante sud	-397	-983	0.2	-0.1	0.0	-6	-224	-233	-0.7	-11.0	-2.04	-6.6	-0.54
Totale	-770	112	0.5	0.0	0.1	-41	-48	-100	-0.2	-86.3	-8.26	-21.2	-1.95

Differenze % PGTU-SDF	Percorrenza in ora di punta		Prestazioni medie auto e furgoni in ora di punta			Consumi in ora di punta			Emissioni in ora di punta				
	Area	Auto e furgoni km	Bus e camion km	Velocità media km/h	Rendimenti Benzina km/l	Rendimenti Gasolio km/l	Benzina kg	Gasolio kg	kGEP kg	CO2 t	CO kg	COV kg	NO _x kg
A57+A27	0.1%	1.6%	-0.7%	0.3%	-0.3%	-0.2%	2.0%	1.4%	1.4%	-15.2%	-3.8%	-2.7%	-3.3%
SS309+SR11+SR14	-2.9%	2.8%	2.9%	1.1%	1.7%	-4.0%	-0.3%	-1.2%	-0.9%	-21.5%	-8.3%	-4.4%	-7.1%
Mestre	1.9%	-6.2%	1.1%	0.1%	0.9%	1.8%	-2.4%	-0.8%	-0.8%	-22.2%	-15.9%	-12.2%	-14.7%
Quadrante nord/est	2.0%	5.6%	0.4%	0.7%	0.5%	1.4%	3.5%	2.7%	2.9%	-17.8%	-7.9%	-4.7%	-5.5%
Quadrante nord/ovest	-1.5%	6.1%	-0.8%	-0.9%	0.0%	-0.6%	1.2%	0.4%	0.6%	-22.2%	-13.2%	-8.8%	-10.7%
Quadrante sud	-1.5%	-20.8%	0.5%	-0.7%	0.1%	-0.8%	-13.6%	-9.1%	-9.9%	-24.4%	-26.9%	-24.4%	-26.7%
Totale	-0.3%	0.2%	1.0%	0.3%	0.5%	-0.6%	-0.2%	-0.4%	-0.3%	-19.8%	-9.3%	-6.3%	-8.0%

Dall'analisi delle precedenti tabelle si evidenziano i seguenti risultati maggiormente significativi:

- Consumi complessivi (kGEP) ed inquinanti globali (CO₂) hanno andamenti strettamente legati ai valori delle percorrenze e presentano quindi riduzioni contenute sotto 1%;
- Gli inquinanti a ricaduta locale presentano invece riduzioni tra il 6 e il 20%, determinate in primo luogo dall'impatto del rinnovo del parco circolante (principalmente per auto e furgoni);
- La riduzione più alta si registra per il CO, dato che per questo inquinante la quota emessa dai mezzi pesanti (bus e commerciali, che presentano un rinnovo del parco più lento rispetto alle auto) è meno preponderante rispetto agli altri inquinanti a ricaduta locale;
- Nel comparto di Mestre tutti gli inquinanti a ricaduta locale presentano una riduzione superiore al 10%;
- Significativa è la riduzione delle emissioni nel quadrante sud (Marghera), presumibilmente determinata dall'impatto della moderazione di via Beccaria e soprattutto della realizzazione della nuova rotatoria Area BLO sulla Romea; questa rotatoria permette, in particolare ai mezzi commerciali pesanti, di raggiungere direttamente le aree produttive/commerciali di Marghera nell'intorno di via Bottenigo senza impegnare la viabilità urbana di Marghera;
- Meno rilevante è la riduzione di consumi ed emissioni negli altri quadranti; in particolare nel quadrante nord/est l'intervento della variante di Campalto ha un effetto rilevante in termini di risanamento della tratta della via Orlanda nel centro di Campalto, ma modifica solo parzialmente i bilanci trasportistici (percorrenze) ed ambientali (consumi ed emissioni) complessivi del comparto, se non per l'effetto del rinnovo del parco veicolare; per quanto riguarda Mestre centro e il quadrante nord/ovest, il Piano non prevede -se si eccettua il completamento della Vallenari bis- interventi infrastrutturali rilevanti, ed i benefici di tipo ambientale derivano dagli effetti di fluidificazione del traffico determinati dalla riorganizzazione di una serie di incroci e -anche in questo caso- dagli effetti del rinnovo del parco veicolare.





Le analisi predittive svolte possono essere collegate a quanto evidenziato nella Relazione Tecnica del PGTU in merito all'andamento delle concentrazioni in atmosfera degli inquinanti (si veda par. 4.1.2 della Relazione) desunti dai rilievi eseguiti dall'ARPAV (Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto).

Tali rilievi provengono dalle cinque stazioni fisse di monitoraggio nel territorio comunale, così localizzate:

- due stazioni di fondo - background (B) ubicate al Parco della Bissuola e in via Beccaria a Marghera;
- due stazioni di traffico - hot spot (T) in via G. da Verazzano e via Tagliamento;
- una stazione industriale (I) situata in via Lago di Garda a Malcontenta.

Fra i dati monitorati da queste stazioni, il PGTU prende in esame alcuni parametri convenzionali, quali Monossido di Carbonio (CO), Polveri Totali Sospese (PTS), e parametri non convenzionali quali Benzene, Particolato atmosferico PM10, Benzo(a)pirene.

A livello complessivo sono state riscontrate negli ultimi anni riduzioni contenute, ma costanti, delle concentrazioni medie annuali. In particolare, i valori relativi al monossido di carbonio (CO) e al benzene (C6H6) non presentano criticità particolari.

Come evidenziato attraverso l'analisi predittiva delle emissioni inquinanti, gli effetti stimati nello scenario di attuazione del PGTU concorreranno al trend di riduzione degli inquinanti atmosferici, seppure in misura differente per i vari comparti territoriali.

È opportuno precisare che queste valutazioni sulle emissioni possono dare solamente indicazioni di tendenza sull'andamento delle concentrazioni, in quanto non risulta una correlazione lineare tra i valori di emissione (espressi dal modello ambientale di traffico) e quelli rilevati dalle stazioni (che riguardano le concentrazioni nel tempo nei siti in cui sono localizzate le stesse). Inoltre va sottolineato che i rilievi delle stazioni captano i livelli di concentrazione complessivi, derivanti non solo dal traffico, ma dovuti anche a impianti di riscaldamento e impianti industriali.