

UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE
Facoltà di Ingegneria

Tesi di Laurea in Ingegneria Civile e Ambientale
A.A. 2018/2019



Sviluppo e valutazione delle emissioni del traffico veicolare in un'area a traffico intenso.

Development and evaluation of vehicle traffic emissions in an area with strong traffic.

Relatore:
Prof. Ing. Giorgio Passerini

Tesi di Laurea di:
Massimiliano Felici

Sommario

INTRODUZIONE.....	4
Capitolo 1.....	6
1.1 ATMOSFERA E INQUINAMENTO	6
1.1.1 INQUINANTI.....	10
1.1.2 OSSIDI DI AZOTO.....	14
1.2 INQUINAMENTO DA TRAFFICO VEICOLARE.....	16
1.2.1 EVOLUZIONE TRAFFICO VEICOLARE ITALIANO.....	18
1.2.2 EMISSIONI E NORMATIVA VIGENTE	20
1.2.3 EFFETTI SULLE SALUTE E NORMATIVA VIGENTE	23
Capitolo 2.....	29
2.1 GOOGLE DATA.....	29
2.2 ACI E PARCO VEICOLARE	31
2.2.1 TREND VEICOLARE	33
2.3 DEPARTMENT FOR TRANSPORT E M.O.T.....	38
2.4 MODELLO DI QUALITA' DELL'ARIA: AERMOD.....	42
2.4.1 MODELLO MATEMATICO.....	43
2.4.2 MODELLO AERMOD.....	49
Capitolo 3.....	54
3.1 PROFILO TRAFFICO VEICOLARE.....	54
3.2 ANALISI DEI DATI.....	59
3.2.1 FATTORI EMISSIVI M.O.T.	62

3.2.2	PARCO VEICOLARE REGIONE MARCHE.....	64
3.2.3	CALCOLO DELLE EMISSIONI	66
3.2.4	PREVISIONE TREND PARCO VEICOLARE FINO AL 2022	80
3.3	MODELLAZIONE RISULTATI ATTRAVERSO IL MODELLO AERMOD	90
3.3.1	INPUT MODELLO AERMOD.....	90
3.3.2	SCELTA INPUT TEMPORALE	97
Capitolo 4	98
4	RISULTATI MODELLAZIONE AERMOD.....	98
4.1	OUTPUT 2016.....	98
4.2	OUTPUT 2022.....	109
4.3	CONFRONTO 2016-2022	119
CONCLUSIONE	126
Bibliografia	128

INTRODUZIONE

In questa tesi ci si è prefissati di monitorare lo stato di inquinamento da traffico veicolare di una determinata zona di Ancona, nella Regione Marche, con lo scopo di produrre poi elaborati dello stato di qualità dell'aria per l'anno 2016 e fino al 2022 mediante l'utilizzo del Modello per la dispersione atmosferica degli inquinanti chiamato AERMOD. Lo scopo di questa tesi è dunque quello di voler fotografare il livello di inquinamento ambientale prodotto dal traffico veicolare, il suo impatto e mostrarne l'evoluzione negli anni in relazione al quantitativo di vetture circolanti. L'inquinamento da traffico veicolare risulta infatti un problema in continua crescita soprattutto nelle zone urbane dove si concentrano gli spostamenti dei veicoli e dove gli inquinanti risultano con più difficoltà dispersi dagli agenti atmosferici e creano situazioni di alta concentrazione potenzialmente molto pericolose per la salute umana; le emissioni in atmosfera da trasporto stradale rappresentano infatti una delle maggiori sorgenti di inquinamento dell'aria e quindi direttamente collegate alla salute dell'uomo. Il focus di questo studio è analizzare la situazione attuale di inquinamento per quanto riguarda l'inquinante NO_x e elaborarne l'andamento per i prossimi anni essendo l'NO_x uno degli inquinanti più nocivi. Lo studio è stato condotto in maniera totalmente sperimentale su una zona che fosse il più possibile rappresentativa della situazione veicolare e ambientale della città di Ancona. Si è partiti dai dati di traffico reperiti in modo gratuito all'interno della applicazione Traffic di Google Maps attraverso i quali si è risaliti a un profilo di traffico identificativo della zona e specchio dell'andamento giornaliero degli spostamenti eseguiti dai veicoli in quella zona con relativi picchi. In seguito, tramite l'utilizzo della banca dati ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale) dell'ACI (Automobile Club D'Italia) e di documenti specifici provenienti dal Department For Transport inglese relativi a fattori emissivi derivanti dal test M.O.T. si è risaliti ad una stima plausibile e il più possibile reale delle emissioni in quell'area in relazione a quella situazione veicolare. Ci si è mossi poi dai dati del parco veicolare italiano relativi al 2016

e si è elaborata una prospettiva fino al 2022 realizzando poi lo stesso tipo di studio sul profilo delle emissioni. Mediante l'utilizzo del programma Aermoc infine è stata analizzata la dispersione dell'inquinante e le relative concentrazioni nell'area decisa in relazione alle caratteristiche specifiche del luogo e mettendo a confronto gli anni considerati per valutarne poi le differenze e i cambiamenti così da avere una visione sullo sviluppo delle emissioni negli anni e capire infine l'efficienza delle politiche anti-inquinamento adottate sui veicoli di nuova generazione.

Capitolo 1

1.1 ATMOSFERA E INQUINAMENTO

L'atmosfera è quell'involucro gassoso che circonda il nostro pianeta composta da una miscela di gas costituita da molecole tenute insieme dalla forza di gravità e che con una lenta evoluzione ha creato le condizioni ideali per garantire la vita dell'uomo, degli animali e dei vegetali. In base all'andamento della temperatura con l'aumentare della quota, lo spessore dell'atmosfera viene suddiviso in cinque strati, che andando dal basso verso l'alto sono: la troposfera, la stratosfera, la mesosfera, la termosfera e l'esosfera; il passaggio da uno strato all'altro avviene attraverso sottili "fasce di transizione", dette rispettivamente tropopausa, stratopausa, mesopausa e termo pausa. La troposfera, caratterizzata da condizioni chimico-fisiche adeguate, ospita la vita, qui infatti vivono tutte le specie viventi. L'aria di cui l'atmosfera è composta è costituita da una miscela di gas quali azoto (circa 78%), ossigeno (circa 21%) e da altri gas come argon, anidride carbonica e metano, presenti in concentrazioni molto inferiori. Nell'aria si trovano inoltre vapore acqueo, in concentrazione molto variabile, e particelle solide di varia natura e dimensione.

L'inquinamento atmosferico non è altro che la presenza di sostanze fisiche, chimiche e biologiche che alterano le naturali caratteristiche dell'atmosfera terrestre. Una qualsiasi sostanza che modifica la composizione dell'aria si può considerare un inquinante. Si parla dunque di inquinamento atmosferico ogni qualvolta una sostanza è presente nell'aria in concentrazione diversa rispetto a quella naturale. Queste alterazioni possono essere causate sia da fenomeni di origine naturale, sia da attività umane: si parla in tal caso di inquinamento di origine antropica. Tipiche sorgenti artificiali di inquinamento atmosferico antropico sono le emissioni degli inquinanti industriali, delle centrali termiche, degli impianti di riscaldamento e dei mezzi di trasporto. Le sostanze contenute

nelle emissioni possono ritrovarsi direttamente nell'ambiente (inquinanti primari) o subire in atmosfera dei processi di trasformazione, dando luogo a nuove sostanze inquinanti (inquinanti secondari). (Polidori, 2006)

Nello specifico infatti definiamo gli inquinanti:

- primari: sono gli inquinanti che vengono immessi direttamente nell'ambiente in seguito al processo che li ha prodotti. I principali inquinanti primari sono quelli emessi nel corso di processi di combustione di qualunque natura: il monossido di carbonio; il biossido di carbonio; il monossido di azoto; le polveri; gli idrocarburi incombusti; nel caso in cui i combustibili contengano anche zolfo, si ha inoltre emissione di anidride solforosa. Dopo la loro emissione in atmosfera gli inquinanti primari sono soggetti a processi di diffusione, trasporto e deposizione. Subiscono dunque dei processi di trasformazione chimico-fisica che possono portare alla formazione degli inquinanti secondari.
- secondari: sono inquinanti secondari tutti gli inquinanti che si formano mediante reazioni di varia natura (spesso coinvolgenti l'ossigeno atmosferico e la luce) tra le varie sostanze presenti in atmosfera (queste sostanze possono essere inquinanti primari oppure no); la formazione di ozono nello smog è un esempio di inquinante secondario. Spesso essi risultano più tossici e di più vasto raggio d'azione dei composti originari.

L'inquinamento dell'aria può essere frutto di tre fenomeni chiave: emissione (emanazione di sostanze nocive alla fonte) trasmissione (diffusione e, in parte, trasformazione delle sostanze nocive nell'aria) e immissione (concentrazione o deposizione di inquinanti atmosferici nel luogo d'azione).

Con il termine "emissioni" quindi si intendono i processi mediante i quali vengono introdotte nell'atmosfera sostanze che prima non comparivano o comparivano solo in quantità molto piccole. (Environmental Analysis and Measurements, 2013/2014).

Pressoché la totalità dei fenomeni di inquinamento atmosferico avviene nella porzione più bassa dell'atmosfera chiamata "Planetary Boundary Layer" (Strato Limite Planetario), o PBL. Il PBL comprende la parte di troposfera nella quale la struttura del campo anemologico risente dell'influenza della superficie terrestre e si estende fino a oltre 1 km di altezza.

I più importanti fattori meteorologici che interessano i fenomeni di inquinamento atmosferico sono:

- il vento orizzontale (velocità e direzione), generato e modificato dal contributo delle forze di attrito del terreno e da effetti meteorologici locali, come brezze marine, di monte e di valle, circolazioni urbano-rurali, ecc.;
- la stabilità atmosferica, che è un indicatore della turbolenza atmosferica alla quale si devono i rimescolamenti dell'aria e quindi il processo di diluizione degli inquinanti;
- la quota sul livello del mare;
- le inversioni termiche che determinano l'altezza del PBL;
- i movimenti atmosferici verticali dovuti a sistemi baroclini od orografici.

L'instabilità atmosferica assume un ruolo fondamentale nella dispersione degli inquinanti. Condizioni instabili si verificano quando il trasporto di calore dal suolo verso l'alto è notevole, come accade nelle giornate assolate. Le condizioni stabili, che si verificano tipicamente nelle limpide notti continentali con vento debole, sono le più favorevoli ad un ristagno ed accumulo degli inquinanti. I più gravi episodi di inquinamento si verificano in condizioni di inversione termica; in questi casi infatti gli inquinanti emessi al di sotto della quota di inversione non riescono ad innalzarsi poiché risalendo si trovano ad essere comunque più freddi e dunque più pesanti dell'aria circostante. Nello specifico:

Il vento è un importante variabile da considerare nell'inquinamento atmosferico, in alcune zone può avere un effetto positivo perché disperde gli inquinanti, in altre invece può avere un effetto negativo perché sposta le masse d'aria inquinata in zone meno inquinate;

Le precipitazioni hanno un ruolo molto importante per la qualità dell'aria, infatti riescono a intrappolare gli inquinanti dispersi in atmosfera e portarli al suolo ripulendo in questo modo l'aria; la pioggia, in particolare se di una certa consistenza risulta molto efficace, invece la neve in quanto più soffice non è altrettanto efficace, inoltre si accompagna spesso con peggioramenti del traffico veicolare (intasamenti) per cui provoca un aumento dell'incidenza del traffico.

L'orografia (conformazione del territorio considerando i monti, valli, pianure, ecc.) del territorio è un altro fattore importante. In particolare, nelle zone montane poco esposte al sole, come ad esempio nelle valli, si può determinare un accumulo di sostanze inquinanti, in particolare nei periodi invernali. Infatti, per esempio, in fondo a una valle poco assolata è molto facile l'instaurazione di condizioni di inversione termica, che, come già detto provoca un ristagno degli inquinanti.

L'urbanistica: nelle zone abitate è un fattore che incide sulla qualità dell'aria, infatti strade strette con edifici alti molto vicini tra loro si comportano come le pareti di una valle, o meglio di un canyon dove l'aria rimane imprigionata, queste situazioni determinano un forte accumulo di inquinanti.

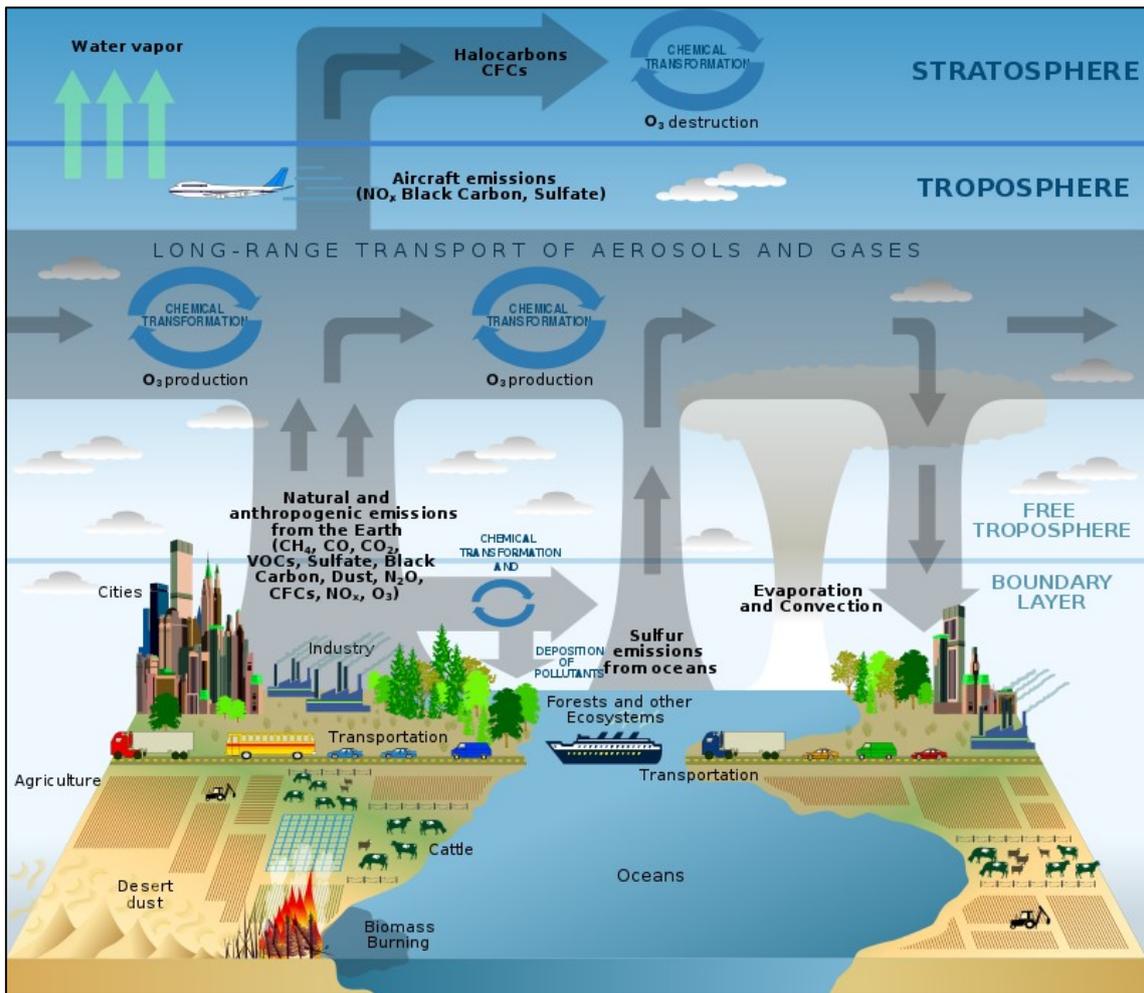


Figura 1: Strategic Plan for the U.S. Climate Change Science Program, Phillippe Rekacewicz

1.1.1 INQUINANTI

Ad oggi sono state identificate diverse migliaia di agenti inquinanti, la maggioranza dei quali di origine antropica, prodotti dai vari processi industriali, dai sistemi di riscaldamento/condizionamento degli edifici e dai mezzi di trasporto. Queste sostanze inquinanti hanno effetti dannosi nei confronti della salute o dell'ambiente in cui viviamo.

Il loro impatto dipende da vari fattori, come la concentrazione, il tempo di esposizione e la tossicità dell'inquinante stesso.

Gli effetti sulla salute possono essere di piccola entità e reversibili (come un'irritazione agli occhi) oppure debilitanti (come un aggravamento dell'asma) o anche molto gravi (come il cancro).

I principali inquinanti dell'aria sono:

- monossido di carbonio
- ossidi di zolfo
- ossidi di azoto
- l'ozono
- il benzene
- il particolato

Monossido di carbonio CO: Il monossido di carbonio o ossido di carbonio (CO) è un gas incolore, inodore, infiammabile, e molto tossico. La sua formazione si ha durante le combustioni delle sostanze organiche, quando sono incomplete per difetto di aria (cioè per mancanza di ossigeno). Le emissioni naturali e quelle antropiche sono oramai dello stesso ordine di grandezza, ciò permette di comprendere quale sia il trend inquinante che si è instaurato nel corso dell'ultimo secolo. Il monossido di carbonio è estremamente diffuso specialmente nelle aree urbane a causa dell'inquinamento prodotto dagli scarichi degli autoveicoli. Gli effetti sull'ambiente sono da considerarsi trascurabili mentre quelli sull'uomo sono estremamente pericolosi.

Ossidi di zolfo SO_x: Normalmente gli ossidi di zolfo presenti in atmosfera sono l'anidride solforosa (SO₂) e l'anidride solforica (SO₃); questi composti vengono anche indicati con il termine comune SO_x. In particolare, elevate concentrazioni di SO₂ in aria possono determinare le cosiddette "piogge acide". L'anidride solforosa o biossido di zolfo è un gas incolore, irritante, non infiammabile, molto solubile in acqua e dall'odore pungente. Dato che è più pesante dell'aria tende a stratificarsi nelle zone più basse. L'origine naturale deriva principalmente dalle eruzioni vulcaniche mentre quella antropica deriva dalla combustione domestica degli impianti non metanizzati e dall'uso di combustibili liquidi e solidi nelle centrali termoelettriche.

Ossidi di azoto NO_x: In atmosfera sono presenti diverse specie di ossidi di azoto ma per quanto riguarda l'inquinamento dell'aria si fa quasi esclusivamente riferimento al termine NO_x che sta ad indicare la somma del monossido di azoto (NO) e del biossido di azoto (NO₂). L'ossido di azoto (NO) è un gas incolore, insapore ed inodore; è anche chiamato ossido nitrico. È prodotto soprattutto nel corso dei processi di combustione ad alta temperatura assieme al biossido di azoto (che costituisce meno del 5% degli NO_x totali emessi). Viene poi ossidato in atmosfera dall'ossigeno e più rapidamente dall'ozono producendo biossido di azoto. La tossicità del monossido di azoto è limitata, al contrario di quella del biossido di azoto che risulta invece notevole. Il biossido di azoto è un gas tossico di colore giallo-rosso, dall'odore forte e pungente e con grande potere irritante; è un energico ossidante, molto reattivo e quindi altamente corrosivo. Il ben noto colore giallognolo delle foschie che ricoprono le città ad elevato traffico è dovuto per l'appunto al biossido di azoto.

Ozono O₃: L'ozono è un gas tossico di colore bluastro, costituito da molecole instabili formate da tre atomi di ossigeno (O₃). L'ozono è presente per più del 90% nella stratosfera dove viene prodotto dall'ossigeno molecolare per azione dei raggi ultravioletti solari. In stratosfera costituisce uno schermo protettivo nei confronti delle

radiazioni UV generate dal sole. Per effetto della circolazione atmosferica viene in piccola parte trasportato anche negli strati più bassi dell'atmosfera (troposfera), nei quali si forma anche per effetto di scariche elettriche durante i temporali. Generalmente nella troposfera è presente a basse concentrazioni e rappresenta un inquinante secondario particolarmente insidioso. Viene inoltre prodotto nel corso di varie reazioni chimiche in presenza della luce del sole a partire da inquinanti primari, in modo particolare dal biossido di azoto. Le più alte concentrazioni di ozono si rilevano nei mesi più caldi dell'anno e nelle ore di massimo irraggiamento solare mentre nelle ore serali l'ozono diminuisce.

Il Benzene: Il benzene è un idrocarburo aromatico strutturato ad anello esagonale ed è costituito da 6 atomi di carbonio e 6 atomi di idrogeno (formula C_6H_6). Il benzene è il più semplice composto della classe degli idrocarburi aromatici. Il benzene a temperatura ambiente si presenta come un liquido incolore che evapora all'aria molto velocemente. È una sostanza altamente infiammabile, ma la sua pericolosità è dovuta principalmente al fatto che è un cancerogeno riconosciuto per l'uomo. Pur essendo la pericolosità del benzene ampiamente dimostrata da numerose ricerche mediche, per il suo ampio utilizzo questa sostanza è praticamente insostituibile. Molte industrie lo utilizzano per produrre alcuni tipi di gomme, lubrificanti, coloranti, inchiostri, collanti, detergenti, solventi e pesticidi. (Polidori, 2006)

Particolato PM: Il particolato atmosferico è l'insieme di particelle atmosferiche solide e liquide con diametro aerodinamico compreso fra 0,1 e 100 μm . Le particelle più grandi generalmente raggiungono il suolo in tempi piuttosto brevi e causano fenomeni di inquinamento su scala molto ristretta. Sia quelle antropiche che quelle naturali possono dar luogo a particolato primario (emesso direttamente nell'atmosfera) o secondario (formatasi in atmosfera attraverso reazioni chimiche). Il particolato atmosferico può diffondere la luce del Sole assorbendola e rimettendola in tutte le direzioni; il risultato

è che una quantità minore di luce raggiunge la superficie della Terra. Questo fenomeno può determinare effetti locali (temporanea diminuzione della visibilità) e globali (possibili influenze sul clima). Molto pericoloso per la salute dell'uomo è il PM10, contrazione delle parole inglesi Particulate Matter materiale articolato; il 10 indica che il diametro aerodinamico delle particelle è minore di 10 micron. Le dimensioni delle particelle sono tali da penetrare fino al tratto toracico dell'apparato respiratorio (bronchi) mentre quelle più piccole, i PM2.5, con diametro aerodinamico inferiore a 2,5 micron possono arrivare fino agli alveoli polmonari, dove avviene lo scambio ossigeno-anidride carbonica del nostro organismo, ossia possono passare attraverso i filtri delle vie aeree respiratorie superiori.

Fra tutti questi inquinanti, gli agenti inquinanti tradizionalmente monitorati sono il biossido di zolfo (SO₂), il monossido di carbonio (CO), il monossido e biossido di azoto (NO_x), l'ozono (O₃) e il particolato atmosferico, indicato dalla sigla "PM" seguito da un numero che indica la misura del particolato espressa in micron. (Polidori, 2006)

1.1.2 OSSIDI DI AZOTO

Per quanto riguarda gli Ossidi di Azoto bisogna aprire una necessaria parentesi, più accurata, poiché la presente tesi ha un evidente focus sulle loro concentrazioni derivanti dal traffico veicolare e sui possibili effetti collaterali che ne derivano per la salute dell'uomo.

Il monossido di azoto (NO) è un gas incolore, inodore e insapore, chiamato anche ossido nitrico, mentre il biossido di azoto (NO₂) si presenta sotto forma di un gas giallo-rossastro di odore forte e pungente. L'NO si forma in tutti i processi di combustione in presenza di aria per reazione dell'azoto con l'ossigeno atmosferico, soprattutto in condizioni di elevata temperatura. L'NO così prodotto reagisce successivamente con

l'ossigeno (O_2) dell'atmosfera, dando origine al biossido di azoto NO_2 (il 10-15 % dell' NO prodotto si trasforma in NO_2). La concentrazione di NO_2 in aria dipende però anche da altri processi ossidativi, tra i quali è particolarmente rilevante la reazione dell' NO con l'ozono (O_3) prodotto nelle ore di maggiore irraggiamento solare. L' NO_2 è dunque da considerare un inquinante secondario, anche se piccole quantità di questo gas si formano durante il processo di combustione stesso. L' NO_2 è uno dei fattori inquinanti che attivano i processi di formazione dello smog fotochimico. In particolare, la sua presenza conduce alla formazione perossiacetilnitrato (PAN), di acido nitroso (HNO_2) e di acido nitrico (HNO_3). Le principali sorgenti artificiali di NO , e dunque di NO_2 , sono gli impianti di riscaldamento, alcuni processi industriali e i gas di scarico dei veicoli a motore: in particolare per tale tipo di sorgente, a differenza dell'ossido di carbonio, le concentrazioni più elevate vengono emesse in condizione di accelerazione e marcia a velocità elevata (combustione a temperatura più elevata). Tra le fonti di origine naturale vi sono invece l'azione dei fulmini, gli incendi e le emissioni vulcaniche. In generale i motori diesel emettono più ossidi di azoto e particolato rispetto ai motori a benzina, i quali però emettono più ossido di carbonio e idrocarburi. Si stima che in Italia vengano emesse in atmosfera circa 2 milioni di tonnellate all'anno di ossidi di azoto, di cui circa la metà è dovuta al traffico degli autoveicoli. Negli ambienti chiusi la concentrazione di ossidi di azoto risulta più elevata nelle cucine per le combustioni aperte dei fornelli e spesso si può arrivare a concentrazioni più elevate di quelle esterne. La diminuzione di questi inquinanti risulta comunque estremamente rapida non appena viene meno la causa della loro produzione. Anche le loro concentrazioni presentano un andamento stagionale, che però è meno marcato rispetto a quello dell' SO_2 . Anche perché più stabile, l' NO_2 è considerato più importante per gli effetti sulla salute umana: esso provoca infatti irritazioni alle mucose degli occhi e danni alle vie respiratorie e alla funzionalità polmonare quali bronchiti croniche, asma ed enfisema polmonare. Lunghe esposizioni anche a basse concentrazioni provocano una drastica diminuzione delle

difese polmonari con conseguente aumento del rischio di affezioni alle vie respiratorie. (Polidori, 2006)

1.2 INQUINAMENTO DA TRAFFICO VEICOLARE

L'inquinamento atmosferico rappresenta da molti anni un problema di salute pubblica. La valutazione dell'esposizione della popolazione generale e il legame con gli effetti sulla salute a breve e lungo termine sono oggetto di studio e i criteri e metodi di approccio hanno subito nel tempo un'evoluzione continua. Le evidenze scientifiche che emergono sottolineano l'esistenza di eccessi di rischio sulla mortalità e sulla morbosità della popolazione generale e di individui suscettibili esposti ai livelli di concentrazione degli inquinanti normalmente rilevati nelle aree urbane del nostro paese. Individuare un'"esposizione media" di una popolazione è un esercizio molto complesso in considerazione dei numerosi fattori che contribuiscono all'incertezza complessiva di una stima di questo tipo. L'approccio lungamente seguito è stato quello di determinare la concentrazione in siti fissi outdoor degli inquinanti via via ritenuti di maggior rilevanza sanitaria; tipicamente le concentrazioni rilevate presentano una marcata variabilità spazio-temporale. Tale variabilità è governata in modo decisivo dalla prossimità alle sorgenti prevalenti, in particolare qualora la sorgente prevalente sia il traffico veicolare, e dalle condizioni meteorologiche del luogo, che influenzano le dinamiche di diluizione, dispersione, trasporto e deposizione e possono favorire o meno le trasformazioni chimiche che possono subire gli inquinanti una volta emessi dalle varie sorgenti. (Serafini I. C., 2012)

Vengono indicate emissioni da traffico veicolare le emissioni provocate dal traffico dei veicoli per il trasporto di persone e merci. Essi dipendono dal tipo di combustibile, dal tipo di veicolo e dalla sua età. Tutti i motori termici producono acqua, se alimentati a

combustibili fossili producono anidride carbonica (CO₂), mentre i veicoli alimentati a gasolio emettono principalmente particolato come PM₁₀ e inferiori, idrocarburi, ossidi di azoto (NO_x) e biossido di zolfo (SO₂). Un veicolo a benzina emette particolato, NO_x e CO, mentre i veicoli a metano e GPL emettono NO_x, particolato ultrafine e scarsi idrocarburi. I vari mezzi di trasporto possono impattare in modo differente sull'ambiente a seconda delle loro caratteristiche, innanzitutto maggiore è la dimensione e peso del mezzo e maggiore saranno le energie necessarie per accelerare e arrestare il mezzo, generando un impatto maggiore rispetto ad un mezzo piccolo di pari tecnologia, sia per quanto concerne gli inquinanti prodotti dal motore e dalla sua fonte d'alimentazione (benzina, gasolio, GPL, metano, elettricità, ecc.) che dalle polveri prodotte da pneumatici e freni. Anche l'impatto ambientale per produrre il mezzo varia molto sia dalle dimensioni che dalla tecnologia, oltre che dal processo produttivo adottato dalla relativa azienda. Ultimo fattore è lo smaltimento a fine ciclo vitale del mezzo, alcune soluzioni che possono essere molto valide per ridurre la produzione d'inquinanti (i motori elettrici non producono CO₂ e polveri sottili) durante la fase di utilizzo nel ciclo vitale non sempre lo sono altrettanto per la produzione e dismissione del mezzo ed anche per quanto concerne la produzione del carburante o dell'elettricità. In alcuni casi infatti si è visto come i mezzi a motore tradizionale, trasformati in veicoli a gas naturale possano essere competitivi con i veicoli elettrici nell'emissione di CO₂ e come questa vari enormemente a seconda di come viene prodotto il gas naturale (tradizionale, da rifiuti o biomasse oppure sintetico). Rimanendo alle motorizzazioni tradizionali confrontando benzina e gasolio, in particolar modo l'intero processo vitale, si è evidenziata una maggiore produzione d'inquinanti CO₂ nel caso del motore diesel pur avendo esso emissioni minori ai gas di scarico dei motori a benzina.

Il traffico veicolare è considerabile ad oggi il primo responsabile dell'inquinamento atmosferico nelle aree urbane, a causa della emissione dei prodotti della combustione dei carburanti, della loro successiva trasformazione chimica, nonché a causa della

evaporazione degli idrocarburi incombusti. Gli effetti negativi sulla salute dell'inquinamento da traffico sono accertati al di là di ogni ragionevole dubbio e vari studi hanno dimostrato che non è neppure possibile stabilire una soglia di sicurezza al di sotto della quale si annulli il rischio. Negli ultimi anni sono sempre più numerose le ricerche che hanno individuato e misurato le conseguenze sulla salute dell'inquinamento da traffico. Secondo un rapporto recente dell'Organizzazione mondiale della sanità, sono ben tre milioni l'anno le morti attribuibili all'inquinamento. Nonostante la maggioranza del carico di malattie riguardi i Paesi in via di sviluppo, anche in Europa l'inquinamento dell'aria rappresenta un fattore di rischio al quale è attribuibile una quota non trascurabile di conseguenze sulla salute: malattie cardiovascolari e respiratorie, ictus e tumore del polmone. (Palmerini, 2018) Nell'area euro secondo l'OMS l'inquinamento da particolato è responsabile della riduzione di 1 anno di vita in media. (Organization) Le patologie che mostrano un rischio significativamente maggiore sono quelle a carico dell'apparato cardiovascolare e respiratorio, tra cui i tumori al polmone (da notare che il rischio relativo di quest'ultimo resta comunque molto basso rispetto al tabacco).

1.2.1 EVOLUZIONE TRAFFICO VEICOLARE ITALIANO

La crescita del parco veicolare italiano ha accompagnato negli anni la crescita economica del paese; a livello nazionale il numero complessivo di veicoli è aumentato di quasi cinque volte tra il 1951 e il 1961; è più che triplicato nel decennio successivo; tra il 1971 e il 1981 ha fatto un ulteriore balzo in avanti di circa il 63% e la crescita è stata quasi lineare nel decennio successivo (+ 55% circa) (Cattani G D. M., 2006). Tra il 1990 e il 2000 si è verificata una forte crescita della domanda di trasporto passeggeri; successivamente la domanda è rimasta stabile con un andamento oscillante fino al 2010 per poi registrare una riduzione significativa nel 2011-2012, in seguito alla crisi economica.

Successivamente la domanda ha ripreso a salire fino a tornare nel 2015- 2016 ai livelli del periodo 2000-2010 per poi superarli nel 2017. La domanda viene soddisfatta in maniera crescente dal trasporto stradale individuale (autovetture e motocicli), che per incremento e quota modale (circa l'81% nel 2017) continua a essere predominante rispetto alle altre modalità di trasporto. (ISPRA, 2018) Oltre al trasporto dei passeggeri è opportuno è parlare anche del trasporto merci, il quale nel nostro Paese ha avuto un andamento crescente fino al 2005, negli anni successivi si sono registrate forti riduzioni in valore assoluto fino al 2013 poi seguite da una fase di stabilità. Considerando la crescente importanza del ruolo svolto dai vettori esteri nel trasporto stradale, con le conseguenti sensibili ripercussioni in termini di emissioni, è stato stimato anche questo tipo di traffico. Questo elemento integra il quadro precedentemente delineato, evidenziando ulteriormente il ruolo predominante svolto dal trasporto stradale. (ISPRA, 2018) Nel 2018 il parco veicolare in Italia ammonta a circa 51 milioni e mezzo di unità, di cui 39 milioni sono autovetture. L'Italia è attualmente il secondo paese europeo, dopo il Lussemburgo, per numero di autovetture per abitante. (Cattani G D. M., 2006) In generale, la consistenza del parco veicolare nell'arco degli ultimi dieci anni (2009-2018) è aumentata del 7,6%, con un massimo per la categoria dei motocicli (+10,8%); le autovetture sono aumentate del 7,3%, gli autobus sono cresciuti del 1,3% ed i veicoli industriali sono aumentati del 5,9%. Ricordiamo che dal 2009 non vengono più conteggiati i rimorchi ed i semirimorchi peso totale a terra inferiore a 3,5 tonnellate. La consistenza del parco veicolare 2018 è in leggero aumento rispetto al 2017 (+1,3% circa sia per il parco complessivo che per le autovetture), i veicoli industriali crescono di poco più del 1,4%, i motocicli e gli autobus aumentano di quasi l'1,4% e del 1% rispettivamente. (ACI)

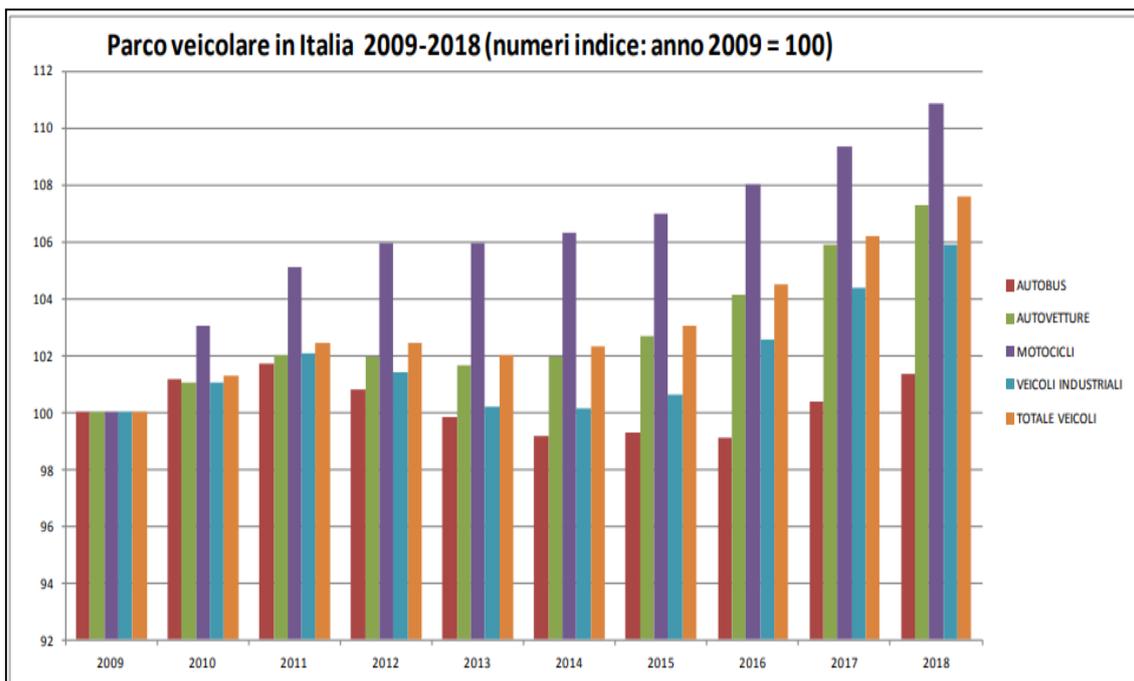


Tabella 2: Evoluzione parco veicolare italiano degli ultimi 10 anni, 100 come base numerica di tutte le categorie di veicoli del primo anno di riferimento. FONTE: ACI

1.2.2 EMISSIONI E NORMATIVA VIGENTE

Il contenimento dell'inquinamento atmosferico dovuto alle emissioni di sostanze nocive provenienti dai gas di scarico dei veicoli a motore è un problema che non può essere affrontato all'interno dei confini geografici di ogni singola nazione ma, proprio a causa degli effetti che produce sul pianeta, richiede un intervento organico di tutti gli Stati a livello sovranazionale. La prima normativa europea che introdusse limiti per le emissioni dei veicoli a motore fu la 70/220/CEE (Regolamento ECE 15), con il ciclo di prova ECE-UDC. Questo regolamento fu modificato negli anni, fino alla versione 4 della Direttiva 83/351. A essa seguirono altre normative più restrittive fino alla 91/441/CEE, nota anche come Euro 1, nel 1991. È quello infatti il periodo in cui abbiamo cominciato a familiarizzare con termini come catalizzatore e benzina verde. Da

allora la sigla Euro 0 identifica i veicoli sprovvisti di catalizzatore, immatricolati prima del dicembre 1992. La Euro 1 fu negli anni superata dalle normative seguenti, fino all'attuale Euro 6. Sono state di volta in volta abbassate le soglie per le emissioni e introdotte nuove prove, per esempio il controllo delle emissioni allo scarico dopo una partenza a freddo. I veicoli che rispettano un nuovo ciclo vengono gradualmente introdotti prima dell'entrata in vigore dello stesso: vengono stabilite inoltre una data dalla quale i nuovi limiti vanno rispettati solo dai modelli da omologare e una data dalla quale le ultime regole valgono anche per le nuove immatricolazioni. Entrando più nello specifico:

Euro 1: la normativa è in vigore dal 1993 e ha di fatto reso obbligatoria la marmitta catalitica e l'iniezione elettronica nei motori a benzina, determinando la scomparsa dei carburatori;

Euro 2: la normativa è in vigore dal 1997 e ha imposto limiti differenti tra i motori a benzina e i diesel;

Euro 3: la normativa è in vigore dal 2001 e ha introdotto l'installazione a bordo delle autovetture di un sistema di monitoraggio delle emissioni noto con l'acronimo di OBD (On Board Diagnostic). Con questo sistema vengono stabiliti dei nuovi limiti al di sopra dei quali deve accendersi una spia di malfunzionamento che avverta il conducente della presenza di un problema ai sistemi ecologici del mezzo;

Euro 4: la normativa è in vigore dal 2006 e ha di fatto imposto l'adozione del filtro antiparticolato per i motori diesel. Il Filtro Anti Particolato (FAP) è un dispositivo capace di abbattere le emissioni di polveri sottili (particolato) prodotte dai motori diesel. Il funzionamento del Filtro Anti Particolato si basa sull'aggregazione delle polveri sottili (particolato fine o PM10), prodotte dai gas di scarico, in agglomerati di particelle più grosse, che vengono intercettate da un filtro inserito nel condotto della marmitta. Per

evitare l'intasamento che danneggerebbe il motore, il filtro Anti Particolato provvede periodicamente a rimuovere questi agglomerati bruciandoli (ossidandoli), attuando così quella che viene chiamata rigenerazione del filtro. Alcuni modelli sono dotati di un Filtro Attivo Antiparticolato che grazie a un additivo miscelato automaticamente al combustibile completa la rigenerazione a temperature inferiori.

Euro 5: in vigore da Ottobre 2008, la norma Euro 5 per essere rispettata dai diesel necessita del filtro antiparticolato e del catalizzatore SCR, ma riduce anche i livelli di emissione permessi alle auto a benzina.

A partire dalla Euro 1 le emissioni vengono misurate in g/km, mentre le normative precedenti fissavano i limiti in g/prova, ovvero i grammi di una determinata sostanza emessi durante il ciclo di prova.

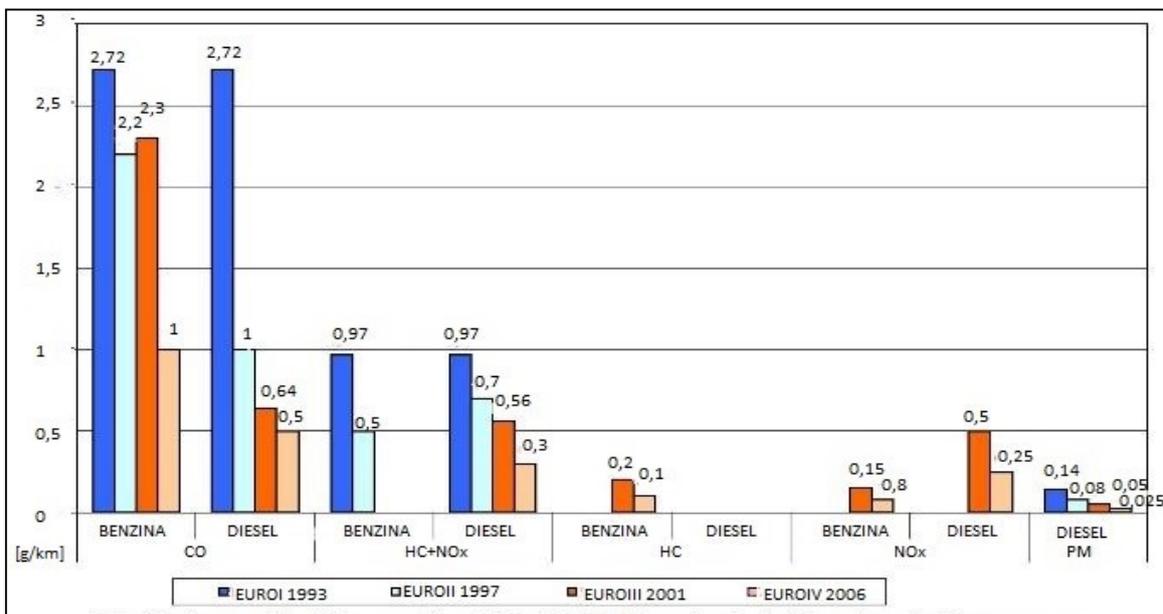


Tabella 3: valori limite previsti nelle Normativa EURO I-EURO IV per veicoli della categoria M con massa massima inferiore a 2500kg e per i veicoli di categoria N1 classe I. FONTE: APAT

All'interno della normative antinquinamento Euro 6 dal primo settembre dello scorso anno è entrata in vigore la nuova procedura per la misurazione delle emissioni dei nuovi modelli di auto e veicoli commerciali, nota come WLTP (Worldwide Harmonized Light Duty Vehicle Test Procedure, Procedura di test per veicoli leggeri armonizzata a livello mondiale). Dal primo settembre 2018 è in vigore la Euro 6d-temp, al WLTP si è affiancato il test RDE (Real Drive Emission) con il quale le emissioni di particolato e ossidi di azoto verranno misurate in una reale prova su strada. Fanno parte della normativa Euro 6, le Euro 6c Euro 6d-Temp Euro 6d. (Cerfed)

I fattori inquinanti principali su cui si sono concentrati i regolamenti antinquinamento della serie Euro sono l'ossido di carbonio (CO), gli ossidi di azoto (NOx), gli idrocarburi incombusti (HC) e il particolato (PM). A essi si aggiunge l'anidride carbonica (CO₂), che non è un inquinante ma un gas serra.

1.2.3 EFFETTI SULLE SALUTE E NORMATIVA VIGENTE

Storicamente, parallelamente all'evoluzione delle ipotesi e delle evidenze scientifiche circa gli effetti sulla salute e sull'ambiente nel suo complesso dell'inquinamento atmosferico, sono stati oggetto di monitoraggio e misure di riduzione alcuni inquinanti gassosi (biossido di azoto (NO₂), ozono (O₃), monossido di carbonio (CO), biossido di zolfo (SO₂) e benzene (C₆H₆)) la cui presenza, in particolare nelle aree urbane può essere messa in relazione direttamente o indirettamente con le emissioni da trasporto su strada. Insieme a questi, particolare rilievo assume il materiale particolato e in questo caso l'attenzione è rivolta all'insieme delle particelle atmosferiche solide e liquide aventi diametro aerodinamico inferiore o uguale a 10 µm (PM₁₀), in grado di penetrare nel sistema respiratorio umano e depositarsi oltre la laringe e alla frazione respirabile, e l'insieme delle particelle atmosferiche solide e liquide aventi diametro aerodinamico

inferiore o uguale a $2,5 \mu\text{m}$ (PM_{2,5}), che hanno una elevata probabilità una volta inalate di raggiungere le vie più profonde del sistema respiratorio fino alla zona alveolare. Numerosi altri composti in fase gassosa (composti organici volatili alifatici, aromatici e carbonilici) e in fase particellare (composti inorganici contenenti metalli, composti organici poco volatili) sono emessi dai veicoli a combustione interna o sono prodotti in conseguenza di fenomeni di attrito; anche in questo caso il traffico su strada è una delle possibili sorgenti antropiche e in molti casi la più rilevante. Questi sono oggetto di attenzione da parte della comunità scientifica internazionale e in particolare dell'OMS per gli effetti sulla salute noti o possibili (Serafini). Il trasporto su strada è ad oggi oggetto di studi mirati a limitare le conseguenze immediate e a lungo termine per una migliore qualità della vita. L'Organizzazione Mondiale della Sanità stima che ogni anno 4,3 milioni di decessi siano attribuibili nel mondo all'esposizione, prevalentemente in ambienti indoor, nei paesi a basso e medio reddito, ad inquinanti emessi nelle attività quotidiane a causa dell'utilizzo di combustibili come legna, carbone e residui organici in apparecchi privi di qualsiasi sistema di abbattimento delle emissioni. Altri 3,7 milioni di decessi sono attribuiti all'inquinamento outdoor. In questo caso, il fenomeno riguarda anche i paesi dell'Europa occidentale, gli Stati Uniti e l'Australia, nonostante i progressi ottenuti in queste aree del pianeta nella riduzione delle emissioni di origine industriale e da traffico veicolare. L'Agenzia Europea per l'Ambiente ha stimato che in Italia, nel 2014, 50.550 morti premature possano essere attribuibili all'esposizione a lungo termine al PM_{2,5}, 17.290 all'NO₂ e 2.900 all'O₃. L'andamento generalmente decrescente delle emissioni è dovuto principalmente alla forte penetrazione del gas naturale sul territorio nazionale in sostituzione di combustibili come carbone e olio, all'introduzione dei catalizzatori nei veicoli, all'adozione di misure volte al miglioramento dei processi di combustione nella produzione energetica e di tecniche di abbattimento dei fumi. Tuttavia, continuano a verificarsi superamenti del valore limite giornaliero del PM₁₀ in molte aree urbane e, per quanto riguarda l'NO₂, del limite annuale, nelle stazioni di monitoraggio collocate in prossimità di importanti arterie stradali. (Cattani, 2017) Ai fini di questo studio si

focalizzerà l'attenzione sugli effetti di alcuni inquinanti secondari come gli ossidi di azoto e i particolati.

PM10: Particolato aero-disperso, s'intende l'insieme delle particelle atmosferiche solide e liquide sospese in aria, il termine PM10 identifica le particelle di diametro aerodinamico inferiore o uguale ai 10µm. Si tratta di un inquinante dalla natura chimico-fisica complessa, alla cui costituzione contribuiscono più sostanze. In parte è emesso in atmosfera come tale direttamente dalle sorgenti (PM10 primario) e in parte si forma in atmosfera attraverso reazioni chimiche fra altre specie inquinanti (PM10 secondario). Il PM10 può avere sia origine naturale sia antropica: tra le sorgenti antropiche un importante ruolo è rappresentato dal traffico veicolare. Tra gli inquinanti atmosferici il particolato è quello con il maggior impatto sulla salute umana. Vari studi epidemiologici sugli effetti sanitari dell'inquinamento atmosferico da particelle, hanno evidenziato associazioni tra le concentrazioni in massa del PM10 e un incremento sia di mortalità che di ricoveri ospedalieri per malattie cardiache e respiratorie nella popolazione generale. I soggetti ritenuti maggiormente sensibili a tali effetti sono in particolare, gli anziani, i bambini, le persone con malattie cardiopolmonari croniche e affette da influenza o asma; su di essi si concentrano incrementi di mortalità e seri effetti patologici a seguito di esposizioni acute a breve termine. Ulteriori evidenze sono emerse considerando gli effetti sanitari a lungo termine conseguenti all'esposizione a basse concentrazioni di PM10. Tali effetti riguardano la mortalità ed altre patologie croniche come la bronchite e la riduzione della funzione polmonare. Anche l'incremento di tumore polmonare è stato associato recentemente all'inquinamento ambientale, ed in particolare alla frazione fine dell'aerosol: il materiale particolato aero-disperso è stato inserito dall'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC) tra i cancerogeni di gruppo 1 (agenti sicuramente cancerogeni per l'uomo). La direttiva 2008/50/CE e il D. Lgs 155/2010 stabiliscono per il PM10, ai fini della protezione della salute umana, un

valore limite annuale di 40 µg/m³ e un valore limite giornaliero di 50 µg/m³ da non superare più di 35 volte in un anno (Giorgio Cattani).

INQUINANTE	LIMITE	PERIODO MEDIAZIONE	LIMITE	SUPERAMENTI IN UN ANNO
PM10	Valore limite sulle 24 ore	Media giornaliera	50 µm/ m ³	35 massimo
	Valore limite annuale	Anno Civile	40 µm/ m ³	

Tabella 4 Limiti dei livelli di concentrazione stabiliti dal D.lgs. 155/2010, PM10

PM 2,5: Le PM2,5 possono essere respirate e spingersi nella parte più profonda dell'apparato respiratorio, fino a raggiungere i bronchi. Le polveri ultrafini potrebbero essere addirittura in grado di filtrare fino agli alveoli e ancora più in profondità nell'organismo e, si sospetta, entrare nel circolo sanguigno e poi nelle cellule. La concentrazione di massa del PM2,5 è dominata da quelle particelle nell'intervallo dimensionale da circa 0,1 µm a circa 1 µm. Il particolato secondario, formato in atmosfera a partire da gas precursori o per fenomeni di aggregazione di particelle più piccole, o per condensazione di gas su particelle che fungono da coagulo, può rappresentare una quota rilevante della concentrazione di massa osservata. L'emissione diretta di particolato fine è associata a tutti i processi di combustione, in particolare quelli che prevedono l'utilizzo di combustibili solidi (carbone, legna) o distillati petroliferi con numero di atomi di carbonio medio-alto (gasolio, olio combustibile). Particelle fini sono dunque emesse dai gas di scarico dei veicoli a combustione interna, degli impianti per la produzione di energia e dai processi di combustione nell'industria, dagli impianti per il riscaldamento domestico e dagli incendi boschivi.

INQUINANTE	LIMITE	PERIODO MEDIAZIONE	LIMITE	SUPERAMENTI IN UN ANNO
PM 2.5	Valore limite annuale	Anno Civile	25 $\mu\text{m}/\text{m}^3$	

Tabella 5 Limiti dei livelli di concentrazione stabiliti dal D.lgs. 155/2010, PM2,5

NOx: I rapporti di combinazione dell'azoto con l'ossigeno per formare una serie di ossidi che sono classificati in funzione dello stato di ossidazione dell'azoto sono numerosi, e tra questi abbiamo NO Ossido di azoto, N2O3 Triossido di azoto (Anidride nitrosa), NO2 Biossido di azoto, N2O4 Tetrossido di di-azoto (Ipoazotide), N2O5 Pentossido di azoto (Anidride nitrica). Con il termine NOx si va ad indicare la somma del monossido di azoto (NO) e del biossido di azoto (NO2). L'ossido di azoto è un inquinante primario che si forma generalmente dai processi di combustione ad alta temperatura; è un gas a tossicità limitata, al contrario del biossido di azoto. L' NO2 ha un odore forte, pungente, è irritante e di colore giallo-rosso. È responsabile, con altri prodotti, del cosiddetto smog fotochimico, in quanto base per la produzione di una serie di inquinanti secondari pericolosi come l'ozono o l'acido nitrico. Contribuisce per circa un terzo alla formazione delle piogge acide. L'aumento del traffico veicolare degli ultimi anni ha generato un livello crescente delle concentrazioni di ossidi di azoto, specialmente nelle aree urbane. In caso di inquinamento fortuito da monossido di azoto, la concentrazione decade in 2-5 giorni, ma nel caso di emissioni continue (ad esempio in aree urbane a forte traffico veicolare), si assiste all'attivazione di un ciclo giornaliero che porta alla produzione di inquinanti secondari, quali il biossido di azoto. Il picco si registra nelle ore a traffico più intenso, per poi scendere nelle ore notturne. Tra gli ossidi di azoto, solo l'NO2 ha rilevanza tossicologica: provoca irritazione della porzione distale dell'apparato respiratorio - con conseguente alterazione delle funzioni polmonari - bronchiti croniche,

asma ed enfisema polmonare. L' NO₂ ha effetti minori di quelli generati dal biossido di zolfo, anche se può interferire con gli scambi gassosi a livello fogliare, provocando necrosi o clorosi. Gli ossidi di azoto contribuiscono anche alla formazione delle piogge acide e ha conseguenze importanti sugli ecosistemi acquatici e terrestri. Per il biossido di azoto, il D. Lgs. 155/2010 stabilisce per la protezione della salute umana un valore limite orario (200 µg/m³ di concentrazione media oraria da non superare più di 18 volte in un anno) e un valore limite annuale (40 µg/m³).

INQUINATE	PERIODO MEDIAZIONE	SOGLIA ALLARME	LIMITE	SUPERAMENTI IN UN ANNO
NO ₂ (salute umana)	Media oraria	400 µm/ m ³ per 3h	200 µm/ m ³	18
	Media annuale		40 µm/ m ³	

Tabella 6 Limiti dei livelli di concentrazione stabiliti dal D.lgs. 155/2010, ossidi di azoto.

Riferimenti normativi ufficiali con relativi obbiettivi:

Direttiva europea 2008/50/EC relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa con scopo principale riunificazione della legislazione europea esistente sulla qualità, valutazione della qualità dell'aria con riferimento a ossidi di azoto e di zolfo, particolato PM₁₀ e PM_{2.5}, piombo, benzene, monossido di carbonio, ozono. La direttiva fissa soglie di valutazione per ciascun inquinante, criteri relativi al metodo di valutazione, metodi di misura, soglie di informazione e di allarme

Decreto Legislativo 13 agosto 2010, n.155: Attuazione della direttiva 2008/50/EC

Capitolo 2

Avendo come obiettivo lo studio dell'inquinamento da traffico veicolare e le sue ripercussioni sulla qualità dell'aria, ci si è serviti di alcuni strumenti facilmente reperibili come Google Maps, le banche dati dell'ISPRA e ACI e il parco veicolare effettivamente presente a livello locale. Da qui si è partiti poi per elaborare il vero e proprio studio, infatti a questa mole di dati si sono accompagnati dei modelli matematici per la valutazione dell'impatto ambientale dovuto al traffico e per l'analisi delle emissioni.

2.1 GOOGLE DATA

Google Maps (Google LLC) è un servizio di mappatura web sviluppato da Google. Offre immagini satellitari, fotografia aerea, mappe stradali, viste panoramiche a 360° delle strade (Street View), condizioni del traffico in tempo reale (Google Traffic (Google LLC)) e pianificazione del percorso per viaggiare a piedi, in auto, in bicicletta e in aereo (in versione beta) o con i mezzi pubblici. La vista satellitare di Google Maps è una vista "dall'alto verso il basso" o "a volo d'uccello"; la maggior parte delle immagini ad alta risoluzione delle città sono le fotografie prese da aerei che volano da 240 a 460 m, mentre la maggior parte delle altre immagini proviene da satelliti. Gran parte delle immagini satellitari disponibili non ha più di tre anni e viene aggiornata regolarmente. Google Maps utilizza una variante della proiezione di Mercatore e pertanto non è stato possibile visualizzare con precisione le aree intorno ai poli. Per i servizi cartografici online come Google Maps viene utilizzata una versione semplificata della proiezione di Mercatore, comunemente detta Web Mercator (indicata anche come Google Web Mercator, Spherical Mercator, *WGS84 Web Mercator* oppure *WGS84/Pseudo-Mercator*). Pur non essendo questo un sistema geodetico di riferimento riconosciuto, è codificato ufficialmente come EPSG:3857. La proiezione cilindrica centro-grafica

modificata di Mercatore o più semplicemente proiezione di Mercatore è una proiezione cartografica conforme e cilindrica proposta del 1569 dal geografo e cartografo Gerardo Mercatore. La rappresentazione di Mercatore è uno sviluppo cilindrico diretto modificato da un procedimento misto geometrico-analitico che rende le carte isogone (angoli uguali nella rotta). Essa è diventata la proiezione cartografica più usata per le carte nautiche per la sua proprietà di rappresentare linee di costante angolo di rotta (linee lossodromiche) con segmenti rettilinei. Nell'agosto 2018, la versione desktop di Google Maps è stata aggiornata per mostrare un globo 3D come proiezione predefinita. È ancora possibile tornare alla proiezione di Mercatore nelle impostazioni. Google Maps per dispositivi Android e iOS è stato rilasciato a settembre 2008 e presenta una GPS passo-passo con funzioni di assistenza al parcheggio dedicate. Nell'agosto 2013, è stata determinata essere l'app più popolare al mondo per smartphone, con oltre il 54% dei proprietari di smartphone globali che la utilizza almeno una volta. (Smith, 2013)

Nel 2007, Google ha iniziato a offrire dati sul traffico come una sovrapposizione colorata in cima a strade e autostrade per rappresentare la velocità del traffico. Il crowdsourcing viene utilizzato per ottenere le posizioni determinate dal GPS di un gran numero di utenti di telefoni cellulari, da cui vengono prodotte mappe del traffico in tempo reale. La tecnologia usata per la funzione Traffic proviene da ZipDash, una startup che Google acquisì nel 2005. Il database velocità/traffico è ottenuto da differenti fonti, inclusi coloro che utilizzano questa funzione. Infatti, quando l'applicazione è utilizzata sugli smartphone, raccoglie le informazioni derivanti dal GPS e le invia ai server di Google. Queste informazioni sono messe insieme per creare uno specchio della situazione di traffico corrente. L'opzione Traffic è semplice da usare e visualizzerà sulla mappa derivante da Google Maps 3 diversi tipi di colori rappresentanti 3 differenti velocità di traffico.

- Verde: nessun ritardo dovuto al traffico, velocità maggiore o uguale a 50km/h

- Giallo: volume di traffico medio, velocità compresa tra 25 e 50 km/h
- Rosso: ritardi dovuti al traffico. Più scuro è il rosso, più ridotta è la velocità del traffico sulla strada, velocità inferiore a 25km/h (Google)

Quindi per ogni giorno è possibile conoscere quali sono le condizioni di traffico nelle ore 06:00 - 22:00 e inoltre Google Traffic consente anche di conoscere il traffico tipico settimanale.

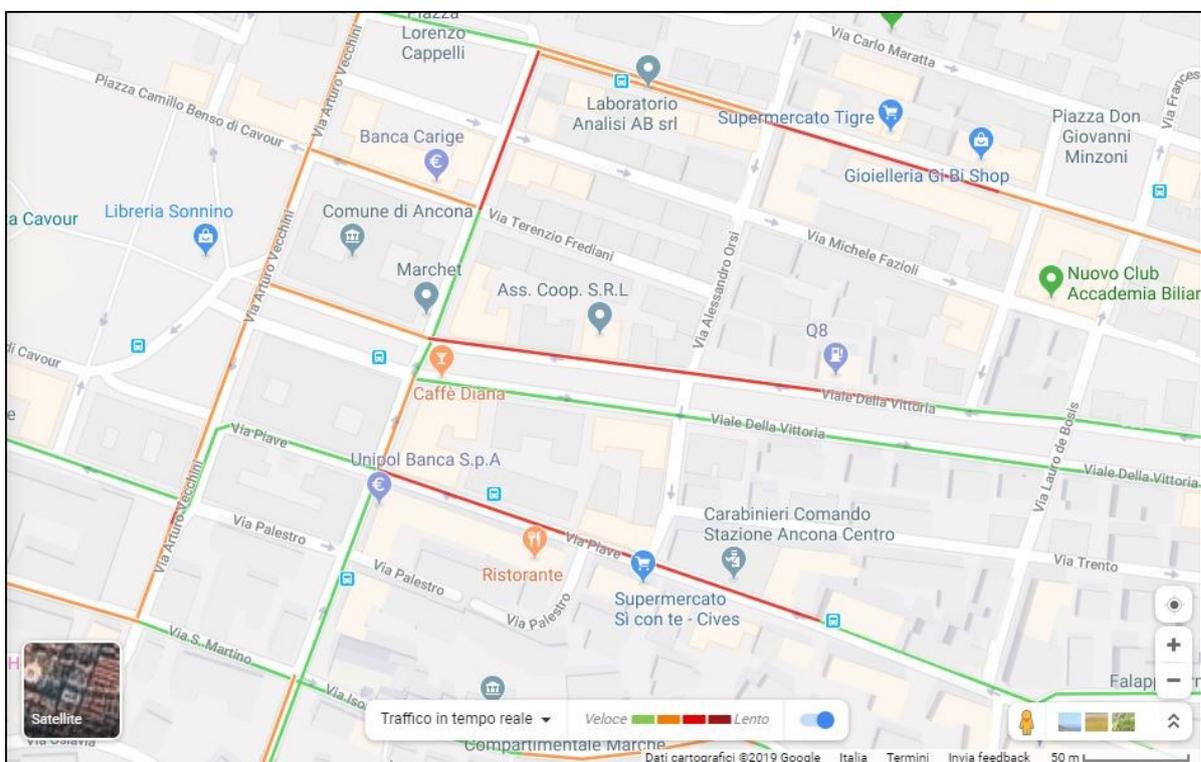


Figura 1: esempio applicazione di Google Traffic

2.2 ACI E PARCO VEICOLARE

Fin dalla sua nascita, nel 1905, l'ACI ha seguito e sostenuto l'evoluzione del fenomeno automobilistico in Italia, dai 2.229 autoveicoli allora circolanti alle decine di milioni di

oggi. Una crescita esponenziale che ha fatto nascere esigenze e problemi che l'Automobile Club d'Italia da sempre analizza, interpreta e rappresenta, offrendo servizi adeguati ad una realtà in continua evoluzione. Nei suoi oltre cento anni di vita il Club si è fatto interprete delle istanze del mondo automobilistico, fornendo un contributo significativo di passione, esperienza e professionalità, svolgendo un'importante azione di tutela del cittadino, automobilista e no, nella difesa del suo diritto alla mobilità. Con oltre un milione di soci, l'Automobile Club d'Italia è oggi in Italia la più grande libera associazione di cittadini, dei quali si propone come rappresentante e portavoce presso le istituzioni nazionali ed internazionali riguardo alle tematiche del turismo, della mobilità e dell'ambiente.

L'ACI è riconosciuto dalla FIA (Fédération Internationale de l'Automobile) come l'unica Autorità Nazionale in Italia per lo sport automobilistico. Nell'esercizio del potere sportivo automobilistico, ACI lavora per promuovere e diffondere la passione per questo sport affiancando le persone anche nella passione sportiva. ACI inoltre accompagna e tutela le persone nel turismo automobilistico in Italia e all'Estero. L'Automobile Club d'Italia quindi è impegnato in due principali ambiti d'intervento che configurano due ruoli distinti ma interconnessi dell'Ente: Il ruolo istituzionale e quello di servizio pubblico. In merito al Servizio Pubblico, l'ACI svolge molte attività istituzionali ed è responsabile della fornitura di servizi alla collettività. Tra i più rilevanti figurano la gestione del Pubblico Registro Automobilistico, delle tasse automobilistiche regionali e dell'imposta regionale di trascrizione. Inoltre, redige periodicamente studi circa l'andamento del parco veicolare locale, con stime e confronti internazionali o regionali. Sul sito ufficiale dell'ACI sono infatti reperibili pubblicazioni statistiche relative al fenomeno della motorizzazione nel suo complesso. Qui possiamo trovare esempio analisi del parco veicoli, tendenze di mercato, incidentalità e archivio annuari sulla circolazione.

2.2.1 TREND VEICOLARE

Nel 2018 il parco veicolare in Italia ammonta a circa 51 milioni e mezzo di unità, di cui 39 milioni sono autovetture. In generale, la consistenza del parco veicolare nell'arco degli ultimi dieci anni (2009-2018) è aumentata del 7,6%, con un massimo per la categoria dei motocicli (+10,8%); le autovetture sono aumentate del 7,3%, gli autobus sono cresciuti del 1,3% ed i veicoli industriali sono aumentati del 5,9%. La consistenza del parco veicolare 2018 è in leggero aumento rispetto al 2017 (+1,3% circa sia per il parco complessivo che per le autovetture), i veicoli industriali crescono di poco più del 1,4%, i motocicli e gli autobus aumentano di quasi l'1,4% e del 1% rispettivamente. (ACI)

	2009	2010	2011	2012	2013
AUTOBUS	98.724	99.895	100.438	99.537	98.551
AUTOVETTURE	36.371.790	36.751.311	37.113.300	37.078.274	36.962.934
MOTOCICLI	6.118.098	6.305.032	6.428.476	6.482.796	6.481.770
VEICOLI INDUSTRIALI	5.381.233	5.436.046	5.494.366	5.456.303	5.392.300
ALTRO	65.233	70.117	73.121	76.332	77.585
TOTALE ITALIA	48.035.078	48.662.401	49.209.701	49.193.242	49.013.140
	2014	2015	2016	2017	2018
AUTOBUS	97.914	97.991	97.817	99.100	100.042
AUTOVETTURE	37.080.753	37.351.233	37.876.138	38.520.321	39.018.170
MOTOCICLI	6.505.620	6.543.612	6.606.844	6.689.911	6.780.733
VEICOLI INDUSTRIALI	5.387.334	5.414.989	5.518.021	5.618.093	5.698.801
ALTRO	78.845	80.668	83.055	83.922	84.624
TOTALE ITALIA	49.150.466	49.488.493	50.181.875	51.011.347	51.682.370

Tabella 2: Parco veicolare italiano, serie storica 2009-2018

Di seguito riportiamo la serie storica degli ultimi dieci anni delle autovetture distinte per alimentazione (tab.3) e successivamente la rappresentazione grafica della sua composizione percentuale (tab.4).

Alimentazione	2009	2010	2011	2012	2013
BENZINA	20.911.084	20.429.629	20.163.157	19.743.503	19.304.459
BENZINA O GAS LIQUIDO	1.473.803	1.752.620	1.776.255	1.862.199	1.943.722
BENZINA O METANO	612.275	660.174	680.994	719.685	773.539
ELETTRICITA'	1.277	1.279	1.518	1.968	2.554
GASOLIO	13.365.766	13.900.106	14.484.901	14.744.469	14.932.241
ALTRO	7.585	7.503	6.475	6.450	6.419
TOTALE AUTOVETTURE	36.371.790	36.751.311	37.113.300	37.078.274	36.962.934

Alimentazione	2014	2015	2016	2017	2018
BENZINA	18.955.130	18.650.827	18.477.578	18.370.694	18.323.229
BENZINA O GAS LIQUIDO	2.042.120	2.137.078	2.211.368	2.309.020	2.409.840
BENZINA O METANO	833.668	883.190	911.246	926.704	945.184
ELETTRICITA'	3.391	4.547	5.707	7.521	12.113
GASOLIO	15.240.069	15.669.276	16.263.957	16.900.141	17.321.593
ALTRO	6.375	6.315	6.282	6.241	6.211
TOTALE AUTOVETTURE	37.080.753	37.351.233	37.876.138	38.520.321	39.018.170

Tabella 3: Vetture per alimentazione in Italia, serie storica 2009-2018

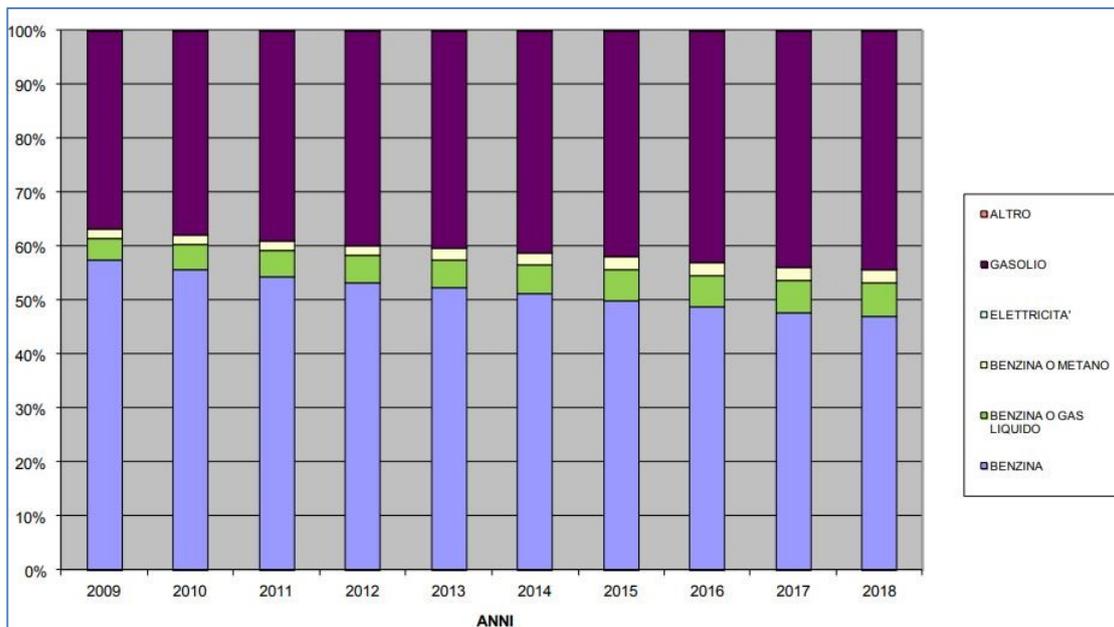


Tabella 4: autovetture per alimentazione in Italia, composizione percentuale

Considerando l'evoluzione del parco autovetture negli ultimi 10 anni secondo i numeri indice, possiamo notare il notevole incremento delle auto elettriche (oltre 9 volte il valore iniziale) ma anche l'aumento delle doppie alimentazioni a benzina o gas liquido e

benzina o metano (quasi raddoppiate). Il gasolio cresce lentamente ma in modo costante, mentre per la benzina si verifica il contrario.

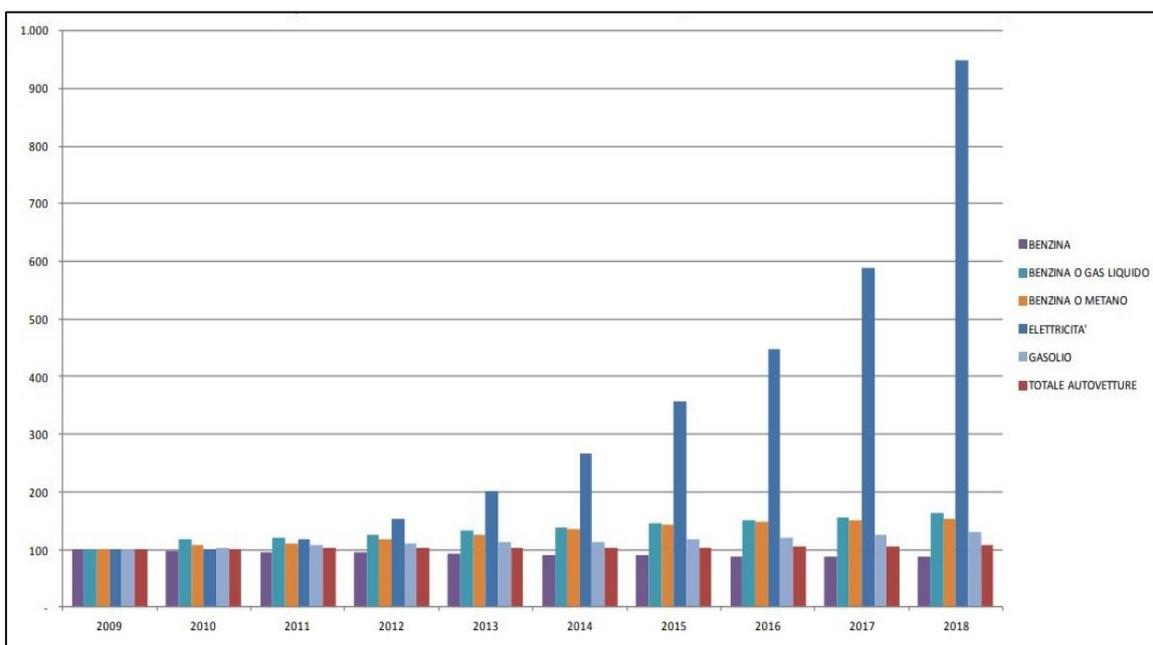


Tabella 5: Parco autovetture per alimentazione in Italia 2009-2018 (numeri indice: anno 2009 = 100)

In Italia il parco autovetture con alimentazione ecologica (GPL, metano, elettriche e ibride) è in costante aumento. Nel 2018 le alimentazioni ecologiche rappresentano il 9,3% circa del totale, contro l'8,9% del 2017. Nel complesso le autovetture con alimentazione ecologica sono cresciute del 73% negli ultimi dieci anni. Analizzando la distribuzione per Regione, le Marche e l'Emilia-Romagna risultano quelle con la percentuale più elevata di autovetture ecologiche rispetto al proprio parco autovetture complessivo (19,4% e 19% rispettivamente), seguite dall'Umbria (13,9%) e dal Veneto (11,7%). Sono otto complessivamente le regioni che presentano una percentuale di autovetture ecologiche maggiore di quella media dell'Italia (9,3%). In termini assoluti, l'Emilia-Romagna è la regione con il maggior numero di autovetture con alimentazione ecologica (circa 545.000 unità), seguita dalla Lombardia (oltre 470.000) e dal Veneto

(368.000). Le Regioni che hanno incrementato in misura maggiore il numero di autovetture con alimentazione ecologica tra il 2017 e il 2018 sono il Trentino-Alto Adige (con una variazione percentuale del 11,3%), il Lazio (8,7%) ed il Friuli (7,8%), seguite da Campania e Piemonte, con una variazione percentuale superiore al 7%. (ACI)

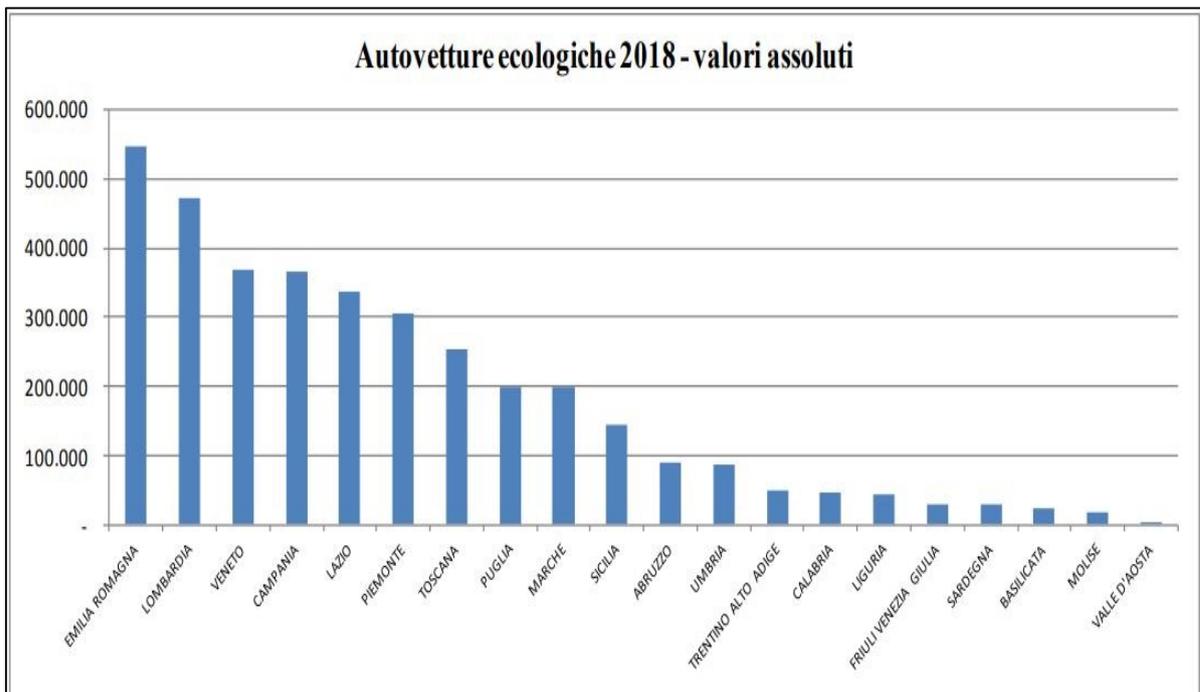


Figura 6: Autovetture ecologiche 2018 in valori assoluti

Nel 2018 le prime iscrizioni di veicoli nuovi si attestano attorno a quasi due milioni e quattrocentomila veicoli, un valore in leggera diminuzione rispetto a quello dell'anno precedente (-1,9%). Le autovetture iscritte nel 2018 hanno registrato un decremento del 2,5% rispetto all'anno precedente mentre quelle a gasolio sono scese del 11,5%. La regione con il valore assoluto più alto è la Lombardia (quasi 410.000 veicoli iscritti). L'incidenza del gasolio sul totale autovetture nuove di fabbrica iscritte è del 51,5% circa sul territorio nazionale, con picco in Trentino (70%) seguito dalla Calabria (67%). L'incidenza nazionale delle autovetture iscritte sul totale immatricolazioni è dell'81%, e

la Valle D'Aosta è la regione con il valore più alto (88,6%), mentre la Liguria (61,5%) è quella con la più bassa incidenza.

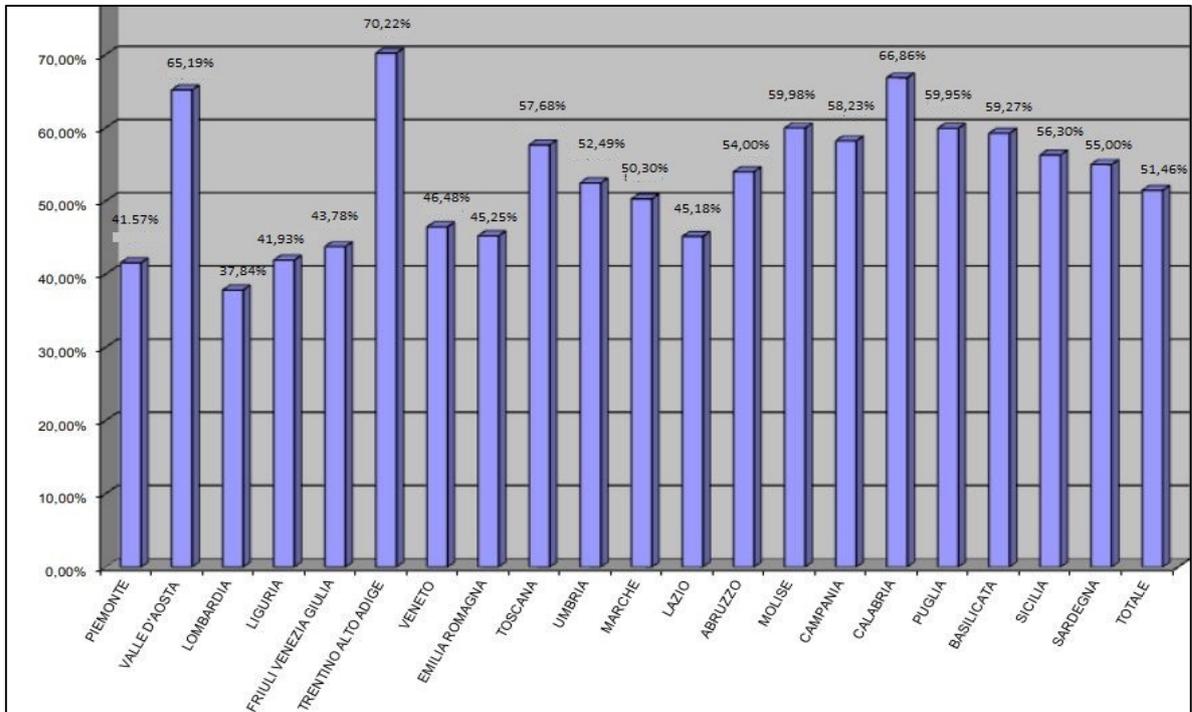


Figura 7:incidenza del gasolio su totale autovetture per Regione

L'incidenza dei motocicli iscritti a livello nazionale sul totale veicoli è pari al 9% circa, ma ci sono 3 regioni che si distaccano notevolmente in modo positivo: la Liguria (31,6%), la Campania (19,6%) e la Sicilia (17,5%); due regioni si trovano decisamente al di sotto della media: la Valle D'Aosta con lo 0,4% ed il Trentino con il 2,1%.

Per quanto riguarda le radiazioni, che nel 2018 sono state pari a quasi 1 milione e ottocentomila veicoli (con un incremento del 6,5% rispetto al 2017), è interessante osservare l'incidenza percentuale delle autovetture immatricolate prima del 1993 sul totale autovetture radiate. Si va da un valore massimo di 26,3% in Liguria ad un minimo di 0,12% in Sicilia. Il nord Italia presenta un'incidenza percentuale pari al 5,7%, il centro raggiunge il 3,3% mentre il sud e le isole presentano un valore più elevato, pari al 6,4%.

L'incidenza delle autovetture radiate ante 1993 rispetto al numero di autovetture radiabili ante 1993 è più alta in Valle D'Aosta (16,6%) seguita dal Veneto (13,2%). Il valore nazionale è 2,1%, mentre le regioni con la più bassa incidenza sono la Sicilia (0,02%) e la Puglia (0,21%). L'incidenza delle autovetture radiate sul totale radiazioni in Italia è piuttosto alta (quasi l'85%) con punte massime in Sardegna (90,4%) ed in Puglia, Calabria e Basilicata (tutte attorno all'89%) e minime in Liguria (67%). L'incidenza dei motocicli radiati sul totale radiazioni in Italia è del 6,9% con una regione che si attesta ben oltre la media: la Liguria con il 26,2%.

A riguardo dei trasferimenti di proprietà, cioè il mercato dell'usato, nel 2018 ci sono stati quasi 7 milioni di formalità, di cui l'81% riguarda le autovetture. I trasferimenti al netto delle mini-volture sono stati poco più di 4 milioni, di cui il 76% autovetture. (ACI)

2.3 DEPARTMENT FOR TRANSPORT E M.O.T.

"We work with our agencies and partners to support the transport network that helps the UK's businesses and gets people and goods travelling around the country. We plan and invest in transport infrastructure to keep the UK on the move." (DfT)

Il Department for Transport (DfT) (Government Digital Service) è il dipartimento governativo responsabile delle infrastrutture dei trasporti inglesi. Il dipartimento è diretto dal Secretary of State for Transport (dal 4 settembre 2012 è Patrick McLoughlin). Il dipartimento "crea il quadro strategico" per i servizi di trasporto, che sono forniti da parte di un ampio numero di società ed enti pubblici e privati, tra i quali vi sono anche le proprie agenzie operative. Il Department for Transport ha quattro obiettivi strategici:

- Sostenere la crescita economica e un aumento di produttività attraverso delle reti di comunicazione affidabili ed efficienti;

- Migliorare l'impatto ambientale del trasporto;
- Rinforzare la sicurezza del trasporto;
- Migliorare l'accesso alle attività lavorative, ai servizi e ai social network, anche per le persone con handicap.

Il Test M.O.T. (Ministry of Transport) (Government Digital Service) è un test annuale della sicurezza dei veicoli, aspetti tecnici ed emissioni di gas di scarico richiesti nel Regno Unito per la maggior parte dei veicoli di età superiore a tre anni utilizzati in qualsiasi modo, come descritto nel Road Traffic Act 1988. Il nome deriva dal Ministry of Transport, un vecchio dipartimento governativo, che fu un antenato dell'attuale Dipartimento di Trasporto. I certificati del MOT test sono attualmente emessi in Gran Bretagna sotto l'egida del Driver and Vehicle Standards Agency (DVSA) una agenzia esecutiva del Department for Transport e prima del 1° Aprile 2014 dal VOSA (Vehicle and Operator Services Agency). Il test e il certificato di passaggio vengono spesso definiti semplicemente "M.O.T.". In Gran Bretagna i centri di collaudo M.O.T. sono regolamentati e autorizzati dal Dipartimento for Trasporto e dal DVSA, e allo stesso modo anche i singoli tester che effettuano le ispezioni devono essere formati e certificati. La decisione di passare o no il test infatti è a discrezione del tester che deve seguire le linee guida emesse dal DVSA. Il M.O.T. test copre i seguenti aspetti: scarichi ed emissioni, cinture di sicurezza, sterzo, parabrezza, clacson, luci, freni, pneumatici e ruote, specchietti, targa e porta targa, porte, sedili, sospensioni, serbatoio, struttura fisica del mezzo. Il manuale di ispezione è disponibile online. I dettagli completi devono per legge essere forniti su richiesta da tutte le officine autorizzate ad eseguire i test M.O.T., e sono attualmente pubblicati nel volantino DVSA "M.O.T. Test and You". Un certificato di passaggio M.O.T. indica che al momento della prova il veicolo ha soddisfatto o superato gli standard minimi di sicurezza stabiliti dalle linee guida DVSA. Ciò non significa che il veicolo sia idoneo alla circolazione per tutta la durata del certificato. Il test non copre le condizioni del motore (diverse dalle emissioni), della frizione o del cambio. La

manutenzione necessaria per il funzionamento affidabile ed efficiente del veicolo, ma non per la sua sicurezza, fa parte di un'ispezione di servizio raccomandata dai produttori, ma non è un requisito legale per il funzionamento del veicolo sull'autostrada pubblica.

Articoli come il parabrezza, i tergicristalli e i sistemi di scarico sono testati per condizioni e funzionamento. I tergicristalli non superano il test se non puliscono adeguatamente il parabrezza. Il sistema di scarico, oltre ai controlli sulle sue condizioni e sulla sicurezza, è testato anche per accertare se sia più rumoroso di un altro veicolo della stessa marca e modello con un sistema di scarico standard montato. Lo smontaggio di qualsiasi parte del veicolo durante la prova M.O.T. è strettamente contrario alle norme di prova, poiché rende molto difficile determinare con precisione la valutazione della corrosione o dei componenti usurati in alcune aree specifiche e su determinati modelli di auto.

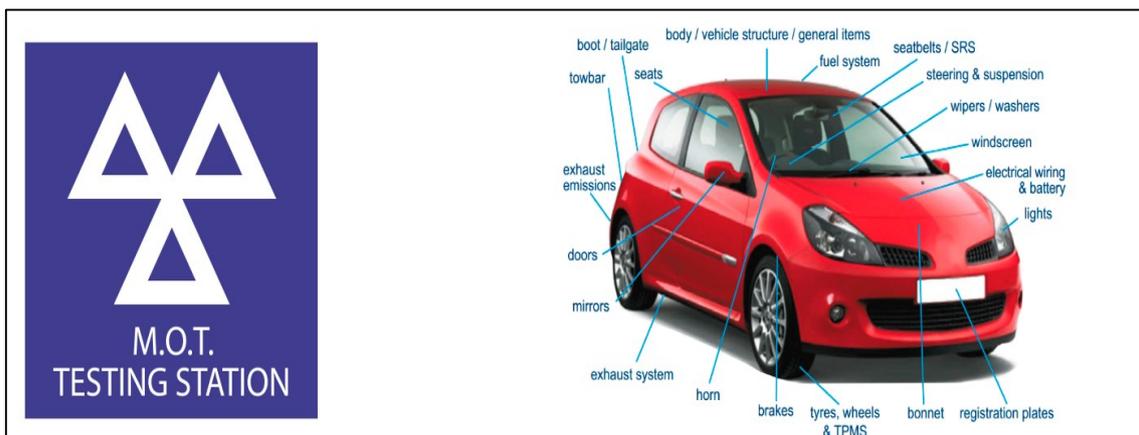


Figura 8: Logo M.O.T. Test e oggetti sottoposti a controllo



Department for Transport

FORD	MONDEO	2000 cc	Euro 6		Declared CO2		115	
Exhaust Gas Recirculation Selective Catalytic Reduction			Diesel Oxidation Catalyst Diesel Particulate Filter			Lean NOx Trap		
Laboratory Testing								
Atm. Pres.	101,2	Humidity	41,3	Temp.	24,1			
NEDC	Cold	PEMS	Hot	A	B	A+B	Rev.	WLTC
CO2	123,8	129,4	115,5	115,6	113,20	114,4	119,4	--
NOx	52,2	118,6	108,4	89,8	57,30	73,5	60,7	--
HC	46,3		30,7	25	24,50	7	22,5	--
HC + Nox	98,5		139,1	114,7	81,78	228,92	83,2	--
CO	85,5	7.1	29,1	24,3	30,20	11,8	27,4	--
Particle #	4.32x109		1.8x109	1.7x109	1.5x109	1.57x109	1.51x109	--
Track Testing								
Atm. Pres.	100	Humidity	81	Temp.	12,2			
NEDC	Hot	A	B	A+B	Rev.	+10%		
CO2	211,6	--	--	190,4	181	--		
NOx	376,6	--	--	457,8	190,5	--		
Road Testing								
Atm. Pres.	100,3	Humidity	78,9	Temp.	13,2			
CO2	171,6	NOx	670					
CO2 - g/km. NOx, HC, HC+NOx, CO - mg/km. Atmospheric Pressure - kPa. Temperature - °C.								

Figura 9: Esempio risultati M.O.T. test allo scarico

2.4 MODELLO DI QUALITÀ DELL'ARIA: AERMOD

Il Decreto-legge n. 351/1999 (Consiglio dei Ministri), ha attuato la direttiva quadro europea 96/62, in materia di valutazione e gestione della qualità dell'aria ambiente, e si pone, tra gli altri, l'obiettivo di "mantenere la qualità dell'aria ambiente laddove è buona e migliorarla negli altri casi" (art.1). Abroga una serie di decreti ministeriali attuativi della vecchia normativa, in particolare quello concernente i criteri per la raccolta dei dati inerenti alla qualità dell'aria. La vera novità è rappresentata dal sistema informativo adottato; gli enti governativi territoriali vengono autorizzati ad usufruire di diversi strumenti quali: le reti di monitoraggio, i modelli di dispersione e gli inventari di emissione per il controllo della qualità dell'aria. Il decreto stabilisce una suddivisione del territorio nazionale in zone, attraverso una valutazione preliminare della qualità dell'aria. Le zone sono classificate in funzione del livello di inquinamento e ad ognuna di esse si affianca un sistema informativo idoneo, identificato con un monitoraggio in continuo, una campagna periodica di misura o una simulazione ad opera di modelli. Più precisamente là dove il livello di inquinamento è inferiore alla soglia di valutazione superiore le misure puntuali possono essere combinate con le tecniche di simulazione dei modelli e per valori al di sotto della soglia di valutazione inferiore è ammesso il solo uso dei modelli. I valori soglia come i valori limite sono indicati in un apposito allegato mediante recepimento di specifiche direttive comunitarie. La 351 esprime la necessità di affiancare alle normali tecniche di rilevamento e misurazione, sia modelli meteorologici sia modelli per il calcolo della dispersione degli inquinanti. L'impossibilità, il più delle volte, di una adeguata copertura spazio-temporale da parte delle stazioni di monitoraggio, rendono le misure dei parametri ambientali insufficienti da sole a verificare il rispetto dei limiti imposti alle sorgenti esistenti o dei valori di qualità dell'aria. Diventa quindi necessaria l'adozione di strumenti aggiuntivi in grado di colmare le lacune esistenti; tali strumenti sono individuati nei modelli matematici. L'elevato dettaglio con i quali i modelli considerano le variazioni spazio-temporali delle emissioni e delle condizioni meteorologiche e la capacità di valutare l'impatto delle sorgenti

emissive e di distinguerne i contributi, li rendono utili nell'individuazione di efficaci strategie ambientali. (Ing. Sinesi)

2.4.1 MODELLO MATEMATICO

Il modello è uno strumento capace di rappresentare la realtà, utilizzato per prevedere e descrivere l'evoluzione di un fenomeno reale.

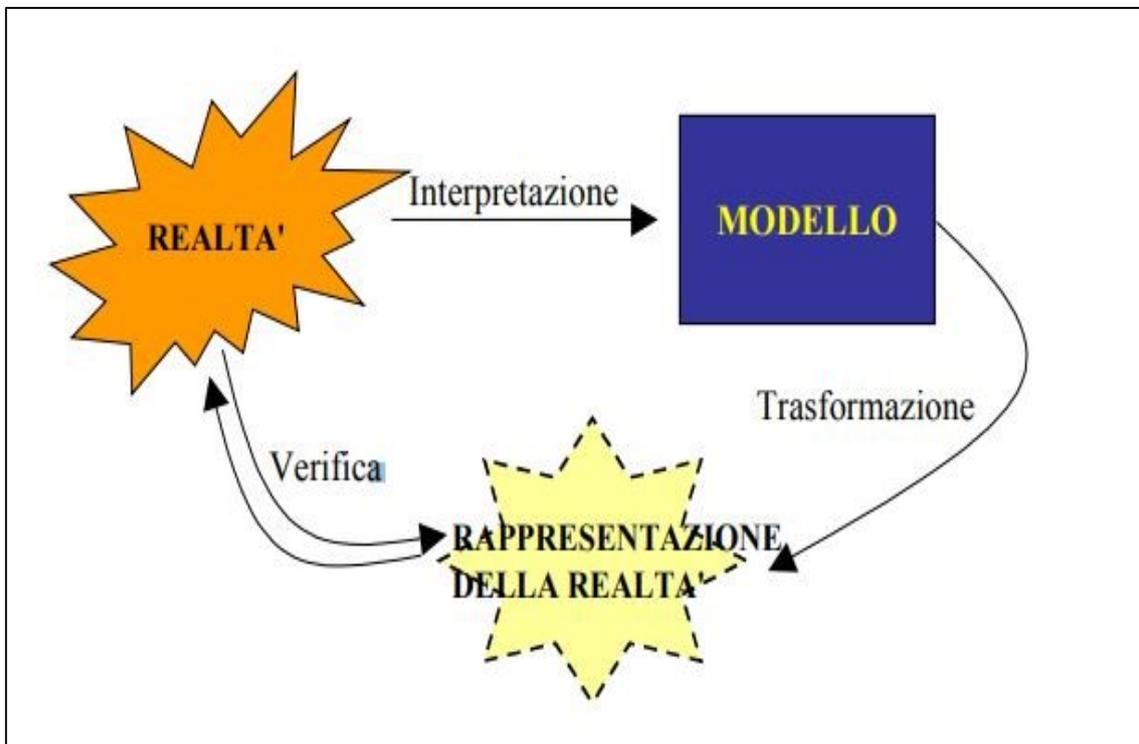


Figura 10: schema applicazione modello

I principali requisiti che si richiedono ad un modello sono tre:

- il modello deve poter predire l'andamento di un fenomeno tenendo conto delle eventuali perturbazioni che l'hanno indotto.

- deve includere ogni conoscenza a priori.
- deve essere coerente con la teoria che presiede alla sua costruzione.

Parleremo di modello matematico ogni volta che verrà utilizzato un qualsiasi oggetto matematico per formalizzare le relazioni esistenti tra le variabili che descrivono un fenomeno reale. I modelli matematici si dividono in due classi: i modelli deterministici e i modelli stocastici. In campo dell'inquinamento atmosferico i modelli deterministici si basano su relazioni fisiche di tipo causa-effetto, i secondi si basano su misure pregresse in punti stabiliti e solo per quei punti è possibile prevedere il valore futuro della concentrazione di inquinanti. I modelli stocastici sono impiegati là dove è possibile avere a disposizione delle misure e, quindi, vengono generalmente impiegati in contesti urbani o industriali, in cui si necessita un controllo in tempo reale dei livelli di attenzione e di allarme. I modelli deterministici sono i più utilizzati; in essi, le variabili di input assumono valori fissi, ed i risultati ottenuti non tengono in considerazione eventuali fattori di incertezza (al contrario dei modelli stocastici) (Ing. Sinesi). I modelli di tipo deterministico si propongono di ricostruire in maniera quantitativa fenomeni che determinano l'evoluzione spazio-temporale della concentrazione d'inquinanti in aria. Possiamo distinguere due classi di modelli deterministici, in funzione del diverso modo di osservare e descrivere le proprietà di un fluido: modelli euleriani e i modelli lagrangiani.

I modelli euleriani fanno riferimento ad un sistema di coordinate fisse; sono basati sull'integrazione dell'equazione differenziale della diffusione, ricavata dal bilancio di massa applicato ad un volumetto infinitesimo d'aria sotto determinate ipotesi.

L'equazione generale del trasporto e della diffusione ottenuta mediante il bilancio di massa, su un volumetto infinitesimo ($dx-dy-dz$), durante l'intervallo temporale (dt) nella sua forma completa risulta:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -\nabla(vC) + \nabla \cdot (K \cdot \nabla C) + \nabla \cdot (D \cdot \nabla C) - R + S$$

Indicando con:

C = concentrazione d'inquinante al recettore [g/m³]

v = vettore della velocità del vento all'altezza di riferimento [m/s]

D = coefficienti di diffusività molecolare [m² /s]

K = tensore di diffusività turbolenta [m² /s]

R = fattore di rimozione [g/ (m³ ·s)] (Il fattore di rimozione R tiene conto sia della componente di rimozione chimica in atmosfera, sia della componente di rimozione dovuta al fenomeno della deposizione).

S = fattore sorgente [g/ (m³ ·s)].

A seconda di come l'equazione differenziale viene risolta avremo a che fare con modelli analitici (a puff e gaussiani), modelli a box e modelli a griglia.

- I modelli analitici gaussiani, sono in grado di descrivere l'andamento al suolo della concentrazione sottovento dovuta ad una sorgente continua puntiforme, ipotizzando per la dispersione una legge di tipo gaussiano. Sono modelli di facile utilizzo, perché adottano una serie di semplificazioni restrittive: stazionarietà e omogeneità delle condizioni meteorologiche, velocità orizzontale del vento non nulla nella direzione del vento e mediamente nulla sul piano ortogonale ad essa, terreni piani, assenza di trasformazioni chimiche.

- I modelli a puff rappresentano un'estensione dei modelli gaussiani e permettono di ricostruire i valori di concentrazione in condizione non omogenee e non stazionarie. Il valore della concentrazione in un punto è ottenuto tramite somma dei contributi delle concentrazioni dei vari puff all'interno del dominio, ricordando che la dispersione per ogni puff segue sempre una legge di tipo gaussiano.
- I modelli a box dividono il dominio d'indagine in una o più celle in cui gli inquinanti sono considerati perfettamente mescolati. Questo permette di riscrivere l'equazione del bilancio di massa in modo facilmente risolvibile e, noti alcuni parametri (concentrazione di fondo, velocità del vento, velocità di deposizione, altezza dello strato di mescolamento ecc. ecc.), calcolare immediatamente la concentrazione.
- I modelli a griglia dividono anch'essi il dominio di calcolo in celle tridimensionali all'interno delle quali, la soluzione dell'equazione di diffusione atmosferica è ottenuta tramite le tecniche alle differenze finite, restituendo per ogni punto della griglia il valore di concentrazione. All'aumentare del numero di nodi aumenta la complessità di calcolo; generalmente la dimensione orizzontale delle celle è di qualche chilometro, mentre quella verticale è funzione degli strati atmosferici che devono essere studiati (da pochi metri a centinaia di chilometri).

I modelli lagrangiani fanno riferimento ad un sistema di coordinate mobile che segue gli spostamenti delle masse d'aria di cui si vuole riprodurre il comportamento. Tra essi si possono distinguere modelli a traiettoria e a particelle.

- Nei modelli a traiettoria viene simulata l'evoluzione di una colonna d'aria che si muove sotto l'azione della componente media della velocità del vento (per ipotesi orizzontale e uniforme con la quota).

- Nei modelli a particelle si simula l'emissione degli inquinanti con la generazione di un certo numero di particelle emesse ad ogni nuovo passo temporale: il campo di concentrazione ad ogni passo è ricostruito in funzione direttamente proporzionale al numero di particelle attraversano un certo volume di spazio.

L'individuazione degli elementi caratteristici del problema e l'analisi dei vincoli presenti sono due aspetti importanti per identificare il modello più idoneo e riuscire ad utilizzarlo in maniera corretta ed efficiente. Le principali caratteristiche in grado di descrivere il problema sono:

Scala Spaziale: I modelli sono in grado di riprodurre l'andamento degli inquinanti atmosferici su differenti scale spaziali a seconda del tipo di fenomeno che si vuole analizzare. Le scale prese in considerazione si dividono in micro-scala (100 m ÷ 1 km), scala locale (1 km ÷ 100 km), meso-scala (100 km ÷ 1000 km), scala regionale (1000 km ÷ 5000 km) e scala globale (tutta la superficie terrestre).

Scala Temporale: Possiamo distinguere in applicazioni di breve periodo o short-term (per lo studio di episodi critici) e applicazioni di lungo periodo o long-term (per lo studio di esposizioni cumulate).

Dominio: L'importanza del tipo di area geografica nell'influenzare i fenomeni atmosferici e la dispersione d'inquinanti necessita l'identificazione del dominio su cui si intende applicare la simulazione. Vengono definiti terreni piani, quei domini totalmente pianeggianti oppure quei domini su cui è presente un singolo rilievo o una valle isolata, mentre si definiscono terreni complessi tutti gli altri domini. Si può anche parlare di terreni urbani, se si è interessati a calcolare la concentrazione d'inquinanti in aree urbane densamente edificate, oppure terreni rurali se si considera l'aperta campagna. Le discontinuità di tipo terra-mare, città-campagna, sistemi acquiferi interni, come le

disomogeneità superficiali sono un altro aspetto da considerare e da definire al momento dell'impiego del modello.

Inquinante: Si distingue in Gas, Aerosol o Particolato e può essere inerte o reattivo. Se reattivo l'inquinante può subire reazioni in fase omogenea gassosa, reazioni in fase eterogenea, idrolisi e reazioni in fase acquosa, reazioni e processi che coinvolgono aerosol e particolato. I modelli devono quindi includere un modulo di trasformazione chimica qualora si voglia osservare il comportamento di inquinanti reattivi in atmosfera o la formazione di inquinanti secondari. Da aggiungere sono i processi di deposizione secca ed umida.

Meteorologia: Due sono i principali fenomeni che influenzano la distribuzione delle concentrazioni, il trasporto ad opera del campo di vento e la diffusione turbolenta. Tali fenomeni possono essere considerati omogenei e stazionari oppure avere un'evoluzione spazio-temporale. Il campo di vento dipende dall'orografia dell'area considerata e dalla presenza di particolari sistemi di circolazione, mentre la diffusione turbolenta è sia funzione del campo di moto (turbolenza meccanica) sia degli scambi di calore con la superficie (turbolenza convettiva). Si può dire quindi che la turbolenza nel suo complesso dipende dal campo di vento, dai bilanci radiativi e dalle caratteristiche geofisiche del terreno (inclinazione, rugosità superficiale, albedo). In condizioni estremamente semplificate (terreni piani, omogenei) le caratteristiche dispersive possono essere descritte sulla base di semplici parametri; in condizioni complesse la ricostruzione dei campi meteorologici richiede l'utilizzo di modelli veri e propri.

Sorgenti emmissive: Anche la tipologia delle sorgenti determina la categoria dei modelli, di solito si ha a che fare con sorgenti puntuali singole o multiple (camini degli impianti industriali), sorgenti lineari (emissioni lungo i tratti stradali), sorgenti areali o volumetriche (un'area industriale, fonti da riscaldamento domestico, il traffico in un quartiere urbano, zone agricole).

Regime: Si parla di regime stazionario se i fenomeni sono costanti nel tempo, al contrario in presenza della variabile temporale il regime si dirà evolutivo.

Nella gestione di un modello, al fine di verificarne la reale applicabilità, i vincoli da considerare sono: il budget, le risorse di calcolo disponibili, la disponibilità e la qualità dei dati di input (dati di emissione, dati meteorologici, dati di qualità dell'aria), il grado di complessità del problema, il livello di dettaglio e l'accuratezza richiesta ai dati di output, le competenze necessarie per poter applicare il modello correttamente. È bene ricordare che non basta conoscere le caratteristiche di un problema per scegliere il modello più adatto, ma si deve tener conto degli obiettivi che si intendono raggiungere, del tempo richiesto per raggiungerli e dei vincoli presenti, che il più delle volte sono determinanti nell'applicare o meno un tipo di un modello. (Ing. Sinesi)

2.4.2 MODELLO AERMOD

“A steady-state plume model that incorporates air dispersion based on planetary boundary layer turbulence structure and scaling concepts, including treatment of both surface and elevated sources, and both simple and complex terrain” (Schewe, 2012)

Il software AERMOD è stato sviluppato dalla ISCST3 (Industrial Source Complex Short Term Model), ed include numerosi concetti comunemente applicati nella ricerca scientifica, quali la teoria del PBL (Planetary Boundary Layer) e metodologie avanzate per la modellazione della morfologia dei terreni. Il modello AERMOD è ritenuto valido per la dispersione delle emissioni in atmosfera per distanze non superiori a 50 km dalla sorgente di emissione. Il software si compone di tre elementi: il preprocessore meteorologico (AERMET), il preprocessore di modellazione del terreno (AERMAP) ed il modello gaussiano di calibrazione del plume. AERMET elabora i dati relativi alla meteorologia con cadenza oraria, mentre il secondo modulo, AERMAP, è impiegato per

l'analisi dei dati relativi al terreno, in unione con una rete di fonti di emissione e di bersagli presenti come file di controllo per AERMOD. L'AERMOD è un modello misto, che tratta con approccio gaussiano la dispersione in atmosfera stabile, mentre in condizioni instabili utilizza un sistema lagrangiano; si tratta di un modello complesso, adatto per l'analisi del trasporto dei composti provenienti dal traffico veicolare anche su larga scala. Tale modello richiede tuttavia un notevole sforzo in ambito di reperimento dei dati (meteorologici, sulle emissioni, etc.), ma risulta maggiormente performante in condizioni orografiche complesse; infine, bisogna evidenziare che la valutazione dei dati meteorologici viene svolta dal preprocessore ad intervalli orari, aumentando la complessità di calcolo ma anche l'accuratezza del risultato. (Davide Scannapieco)

Le caratteristiche fondamentali di AERMOD:

Scala Spaziale: fino a 50 km

Scala Temporale: short e long term

Dominio: qualsiasi tipo, da terreni semplici a complessi. Le sorgenti possono trovarsi sia su terreni urbani che rurali ed i recettori sia su terreni semplici o complessi.

Inquinanti: Inquinanti primari e rilascio di sostanze tossiche e pericolose (trasformazioni chimiche elementari). Sono presenti i processi di deposizione secca ed umida.

Sorgenti emissive: qualsiasi tipo (puntuale, lineare, areale e volumetrica)

Regime: stazionario

Preprocessori impiegati: AERMET fornisce dati meteorologici ed AERMAP fornisce dati sulle quote del terreno e sulla posizione dei recettori; questi dati sono di input per AERMOD.

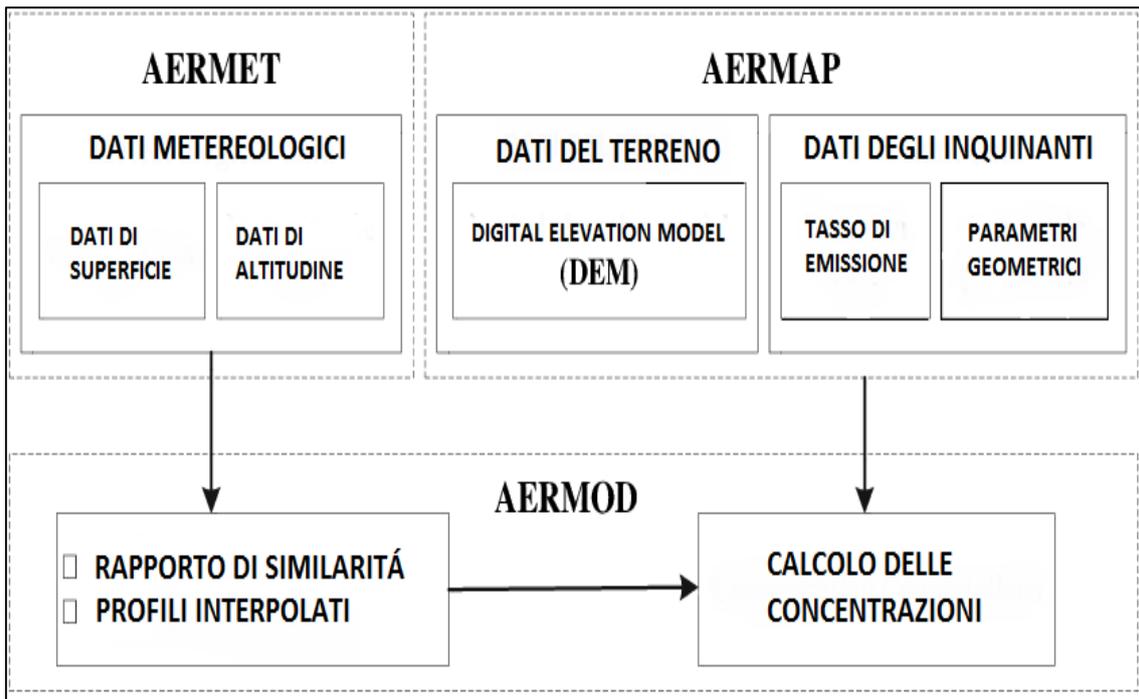


Figura 11: Componenti dati input Aermod, FONTE: Sarawut Thepanondh

- Le applicazioni:
 - Sorgenti puntuali, volumetriche ed areali
 - Calcolo delle concentrazioni in prossimità della superficie e a quote elevate
 - Terreni semplici e complessi
 - Trasporto di sostanze su domini per cui l'assunzione di stato stazionario sia appropriata (fino a 50 km)
 - Rappresentazione in continuo delle emissioni di sostanze tossiche
 - Medie temporali da un'ora ad un anno
- I vantaggi:

- Minimizza i dati meteorologici in ingresso
- Semplifica le interazioni con il terreno
- Permette la simulazione sia su terreni semplici che complessi
- Simula più sorgenti emissive
- Tramite AERMET è in grado di costruire i profili verticali delle variabili meteorologiche (velocità e direzione del vento, temperatura e suo gradiente, turbolenza), attraverso dati misurati o relazioni empiriche; può simulare l'andamento dello Strato Limite Atmosferico (SLA) attraverso i contributi dovuti all'irraggiamento solare e agli scambi termici suolo-aria.
- Tiene conto del dominio urbano e dei suoi effetti sull'atmosfera stabile notturna.
 - Particolarità:
 - Il modello utilizza dati meteorologici orari per stimare le concentrazioni d'inquinanti (dati forniti da AERMET), restituendo medie da un'ora ad un anno
 - Utilizza il concetto di streamline (linea di flusso intermedia), l'altezza al di sopra della quale il pennacchio segue il terreno, mentre al di sotto rimane su un piano orizzontale (aggirando o impattando contro un ostacolo, a seconda dei casi) che divide il pennacchio in due parti sulla verticale; al di sotto il pennacchio contribuisce alle concentrazioni secondo le equazioni valide per terreni piani, al di sopra per il calcolo delle concentrazioni si tiene conto dell'andamento delle quote stabilito da AERMAP.
 - A differenza di altri software non bisogna differenziare il dominio in semplice, complesso o intermedio, ma si considera unicamente la posizione della massa d'inquinante rispetto alla linea di flusso intermedia

- La dispersione verticale in caso di atmosfera instabile è simulata da AERMOD, attraverso l'uso di una funzione densità di probabilità bi-gaussiana.

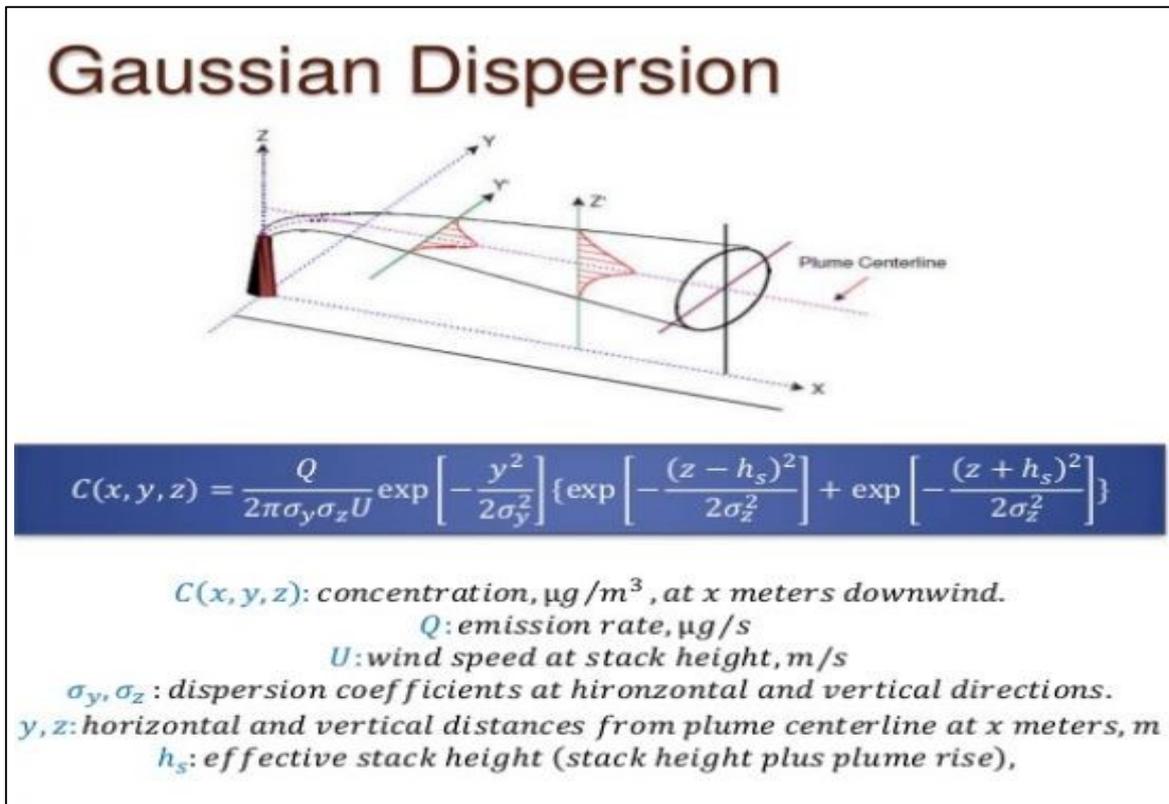


Figura 12: Equazione della concentrazione per Dispersione di tipo Gaussiano FONTE: Ying Wang Environmental Scientist at BEM System Inc.

Capitolo 3

3.1 PROFILO TRAFFICO VEICOLARE

Questa tesi verte sull'analisi del traffico veicolare e sui suoi risvolti in termini di inquinamento ed impatto ambientale nella città di Ancona. Per attuare questo tipo di studio si è focalizzata l'attenzione su un punto che potesse essere il più possibile rappresentativo della situazione di traffico e di inquinamento della città stessa. Si è scelto quindi di monitorare e studiare la porzione di terreno adiacente la Galleria Risorgimento nota come Piazzale della Libertà che consta di una rotatoria dove confluiscono quattro strade a doppia carreggiata a doppio senso di marcia: Via Alessandro Bocconi, Via Martiri della Resistenza, Via XXV Aprile e Galleria Risorgimento stessa. Questa zona infatti è interessata dalla quasi totalità del traffico veicolare, infatti qui si concentra per entrare ed uscire dalla città tutta la mole veicolare diretta dalla periferia al centro città (sede di uffici, scuole, presidi ospedalieri, eventi pubblici, servizi generici, supermercati e negozi) e viceversa (zone residenziali, collegamento per le strade a scorrimento veloce e ferrovie, università).

Si è scelto inoltre di monitorare questa zona anche per la presenza della galleria che ai fini del nostro studio risulta di particolare interesse per i risvolti e le ripercussioni sulle zone limitrofe. Infatti, l'inquinamento da traffico veicolare in spazi ristretti come gallerie costituisce una seria problematica poiché le emissioni influiscono sulla qualità dell'aria a distanze relativamente brevi dai punti di dispersione degli inquinanti e in questo caso sono da aggiungere all'inquinamento della rete stradale adiacente che si ripercuote sull'ambiente in un'area più ampia.

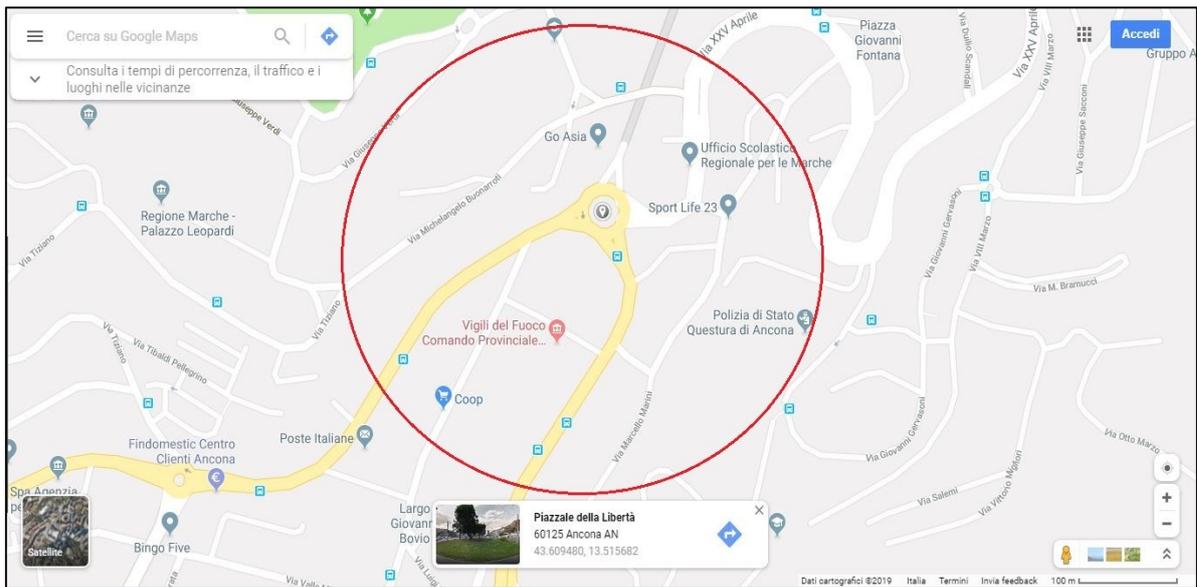


Figura 13: Area considerata per lo studio, FONTE: Google Maps

Per la misurazione dell'intensità del traffico veicolare senza strumenti in loco ci siamo serviti di un semplice quanto articolato metodo di indagine. Ci siamo infatti avvalsi della funzione Traffic di Google Maps. Tale funzione permette di conoscere la situazione di traffico reale o tipica di una determinata strada per qualunque giorno della settimana in qualunque orario dalle 6 alle 22 attraverso segnalazioni cromatiche dal verde al rosso scuro. A queste segnalazioni cromatiche è relazionata una determinata situazione di traffico mediante una specifica legenda a cui abbiamo fatto riferimento per estrapolare i nostri dati di partenza, infatti, al verde si associa una situazione in cui non vi è ritardo dovuto al traffico, all'arancione è associato un volume di traffico medio e al rosso è associata una situazione di traffico in cui sono generati ritardi (più è scuro il rosso più è ridotta la velocità del traffico lungo la strada).

Dovendo raccogliere abbastanza dati per condurre un'analisi il più possibile accurata e rappresentativa del reale e della situazione di traffico abbiamo preso in considerazione una settimana tipo di traffico e l'abbiamo analizzata giorno per giorno dal lunedì al

venerdì dalle ore 06:00 alle ore 22:00 ad intervalli di mezz'ora registrando i dati forniti da Google Traffic.

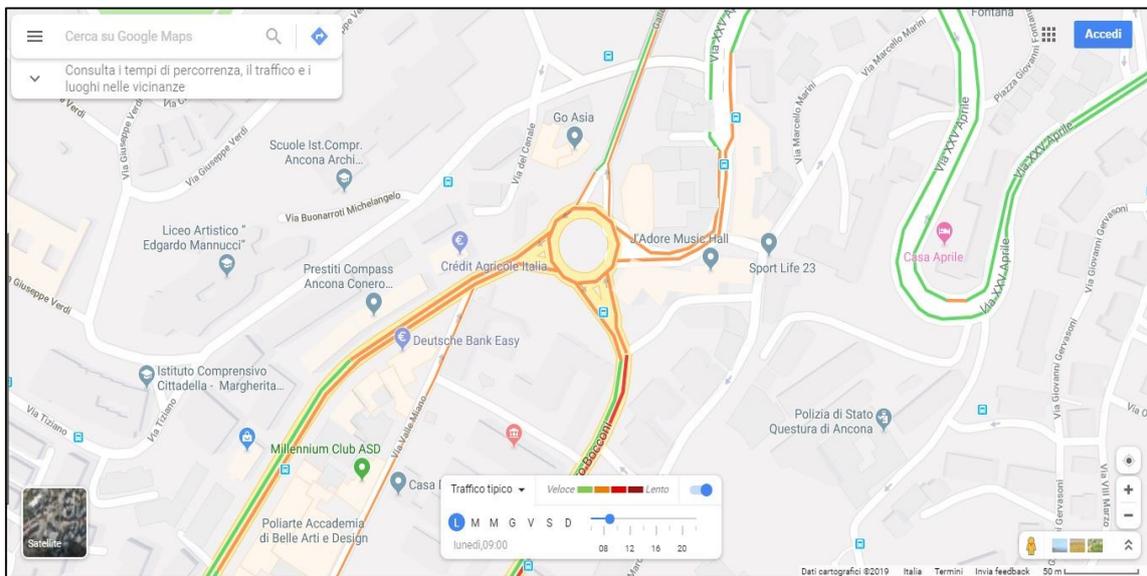


Figura 14: Esempio traffico tipico in zona Piazzale della Libertà

Poiché non era possibile gestire questa tipologia di studio mediante dei valori cromatici abbiamo assegnato arbitrariamente a ogni tonalità un determinato numero adimensionale così da poter avere un riscontro analitico sui dati raccolti. Si è quindi assegnato il valore:

- 0,15 al colore Verde (traffico ridotto)
- 0,35 al colore Arancione (traffico medio)
- 0,5 al colore Rosso (traffico intenso)

Andando avanti nella registrazione di tali dati ci si è però resi conto di dover introdurre ulteriori valori intermedi per rendere più attendibili situazioni miste in cui vi era la presenza di diversi colori e quindi situazioni di traffico. Oltre i tre valori citati precedentemente dunque si sono aggiunti i valori:

- 0,25 per la compresenza Verde-Arancione (traffico ridotto-medio)
- 0,42 per la compresenza Arancione-Rosso (traffico medio-intenso)

La raccolta dati è stata eseguita quindi per tutte e quattro le strade, Via Alessandro Bocconi, Via Martiri della Resistenza, Via XXV Aprile e Galleria del Risorgimento considerando arbitrariamente una lunghezza indicativa del tratto stradale pari a 100 m ritenuta sufficiente ai fini dello studio.

ORA	LUN	MAR	MER	GIO	VEN
06:00:00	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
06:30:00	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
07:00:00	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
07:30:00	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
08:00:00	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
08:30:00	0,42	0,5	0,42	0,5	0,5
09:00:00	0,5	0,5	0,35	0,42	0,5
09:30:00	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
10:00:00	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
10:30:00	0,35	0,35	0,35	0,25	0,35
11:00:00	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
11:30:00	0,25	0,35	0,35	0,35	0,35
12:00:00	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
12:30:00	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
13:00:00	0,5	0,5	0,42	0,42	0,5
13:30:00	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
14:00:00	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
14:30:00	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
15:00:00	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
15:30:00	0,25	0,35	0,25	0,35	0,35
16:00:00	0,35	0,35	0,25	0,35	0,35
16:30:00	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
17:00:00	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
17:30:00	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
18:00:00	0,35	0,35	0,35	0,42	0,35
18:30:00	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
19:00:00	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
19:30:00	0,35	0,42	0,25	0,42	0,35
20:00:00	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
20:30:00	0,15	0,25	0,25	0,25	0,35
21:00:00	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
21:30:00	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
22:00:00	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15

Tabella 7: Esempio tabella raccolta valori

Dopo aver raccolto questi valori a ogni mezz'ora, per ogni giorno della settimana (escludendo il sabato e la domenica in quanto si presentano valori atipici rispetto la settimana lavorativa), per ogni senso di marcia di ogni strada si è poi passati alle medie. Si è infatti eseguita la media dei suddetti valori per le quattro strade così da poter ottenere un unico quadro indicativo medio del volume di traffico transitante all'interno di Piazzale della Libertà e della sua distribuzione temporale dalle 6 alle 22. Ciò che ne è stato estrapolato, è un profilo di traffico orario che presenta dei picchi in orari ben precisi nelle ore della giornata ed è dunque particolarmente rappresentativo dei flussi di spostamento quotidiani. Possiamo osservare infatti che l'andamento è crescente dalle prime ore del mattino e raggiunge un primo picco verso le 08:30 (orario che corrisponde principalmente agli spostamenti lavorativi). La tendenza crescente del profilo si ripete in seguito in maniera del tutto simile nell'arco della giornata per esempio nelle ore a ridosso di mezzogiorno (13:00) e nel tardo pomeriggio (18:00) sempre per la stessa motivazione, infine decresce nelle ultime ore.

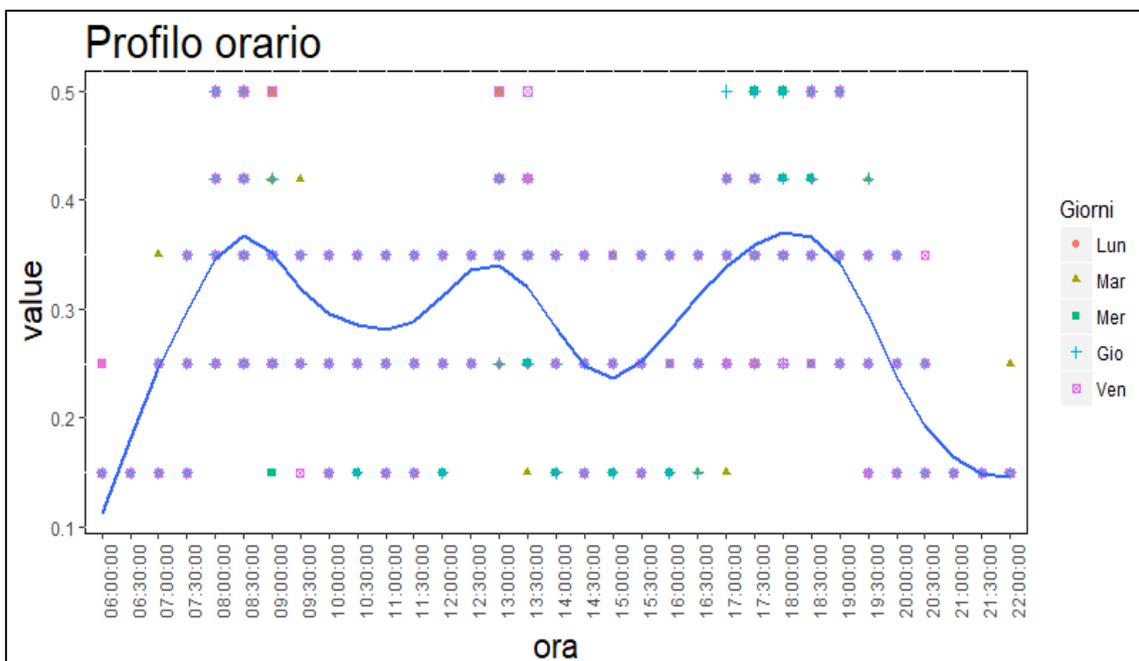


Figura 15: Elaborazione profilo orario medio di traffico

3.2 ANALISI DEI DATI

Con l'obiettivo di ricavare le emissioni derivanti dal traffico veicolare tramite i fattori di emissione forniti dal Department for Transport attraverso il M.O.T. siamo andati avanti nello studio relazionando in modo diretto il parco veicolare delle Marche con quello transitante nella zona posta sotto controllo. In questo passaggio l'obiettivo è stato calcolare tramite il volume di traffico estrapolato da Google Traffic l'effettivo numero di veicoli transitante sulle strade considerate con cadenza di 30 minuti, a questo valore avremo applicato poi i fattori emissivi per ricavare le relative quantità di inquinanti emessi. La metodologia adottata è stata la seguente: si è assegnata al numero adimensionale una determinata velocità a seconda delle condizioni che quel colore stava a rappresentare in modo arbitrario ma fondato su ipotesi concrete. Se il verde corrisponde a una situazione in cui non vi è nessun ritardo dovuto al traffico si è presupposto che la strada sia completamente libera e percorribile senza dover rallentare. Questo significa che rispettando i limiti imposti dal codice della strada (stando noi considerando strade urbane) il limite massimo di velocità è 50km/h. Inoltre, a questa ipotesi abbiamo aggiunto la condizione di mantenimento della distanza di sicurezza, definita dal codice della strada come la velocità espressa in km/h divisa 10 e poi elevata al quadrato (per esempio alla velocità di 50km/h si deve tenere la distanza di sicurezza di 25m). L'obiettivo diventa ora quello di calcolare il numero di auto transitante in un minuto in 100 m ed estendere il dato a 30 minuti. È importante precisare che il numero di veicoli nel minuto è inteso come il numero di veicoli che riesce a saturare il tratto di strada considerato lungo 100m in un minuto, rispettando contemporaneamente il limite di velocità e la distanza di sicurezza. Esempio di calcolo:

- Velocità: 45 *km/h*
- Lunghezza veicolo medio: 4,5 *m*
- Distanza di sicurezza da codice della strada: 20 *m*
- Lunghezza tratto di strada considerato: 100 *m*

- Lunghezza veicolo e distanza di sicurezza: 24,5 m
- Numero massimo di veicoli in 100 m: $\frac{100m}{24,5m} = 4$ veicoli

In quanto tempo il tratto di strada è saturo?

$$\frac{0.1 \text{ km}}{45 \text{ km/h}} = 2,2 \times 10^{-3} \text{ h} = 0.13 \text{ min} = 1^\circ \text{ veicolo}$$

Iterando questo tipo di calcolo per i 4 veicoli (veicolo più distanza di sicurezza) si ottiene un tempo pari a 0,461 min

$$1 \text{ min} : x \text{ veicoli} = 0.461 : 4 \text{ veicoli} , x \leq 8 \text{ veicoli}$$

Seguendo questo ragionamento siamo riusciti a trasformare con criterio e in modo lineare i dati di colore provenienti da Google Traffic in dati numerici di veicoli transitanti e abbiamo dunque ottenuto i seguenti dati:

COLORE	VELOCITA'	DISTANZA DI SICUREZZA	NUMERO VEICOLI IN 1 MINUTO
VERDE	40-50 km/h	16-25 m	8
VERDE-ARANCIONE	30-40 km/h	9-16 m	10
ARANCIONE	20-30 km/h	4-9 m	12
ARANCIONE-ROSSO	10-20 km/h	1-4 m	15
ROSSO	0-10 km/h	0,5-1 m	19

Tabella 8: ripartizione colori-velocita-numero veicoli

Mediante questi nuovi dati poi siamo andati a trasformare ed elaborare tutte le tabelle raccolte fin ora, così facendo abbiamo dunque completamente sostituito il dato qualitativo “colore-valore adimensionale” con quello quantitativo “numero di veicoli in 30 minuti”.

ora	Valore colori	Numero veicoli in 30 min.
06:00:00	0,15	240
06:30:00	0,15	240
07:00:00	0,15	240
07:30:00	0,15	240
08:00:00	0,35	360
08:30:00	0,35	360
09:00:00	0,25	300
09:30:00	0,35	360
10:00:00	0,35	360
10:30:00	0,35	360
11:00:00	0,35	360
11:30:00	0,35	360
12:00:00	0,35	360
12:30:00	0,35	360
13:00:00	0,35	360
13:30:00	0,35	360
14:00:00	0,15	240
14:30:00	0,15	240
15:00:00	0,15	240
15:30:00	0,15	240
16:00:00	0,35	360
16:30:00	0,35	360
17:00:00	0,35	360
17:30:00	0,35	360

18:00:00	0,35	360
18:30:00	0,35	360
19:00:00	0,25	300
19:30:00	0,25	300
20:00:00	0,25	300
20:30:00	0,15	240
21:00:00	0,15	240
21:30:00	0,15	240
22:00:00	0,15	240

Tabella 9: Esempio tabella elaborata in base alle ipotesi

3.2.1 FATTORI EMISSIVI M.O.T.

Per il calcolo effettivo delle quantità di inquinanti emessi, in questo studio, si è fatto utilizzo di fattori di emissione medi calcolati su un circoscritto numero di autovetture Diesel Euro5 ed Euro6 suddivise per cilindrata e sottoposte ad accertamenti da parte del Department for Transport Inglese in quanto sospettate di emettere più di quanto dichiarato dalla casa madre che le ha prodotte. Nello specifico infatti è stato riscontrato uno scostamento tra il DECLARED EMISSION RATE e l'EMISSION RATE derivante dal ROAD TEST rilevato mediante l'applicazione del Test M.O.T.. Come si evince dalla tabella si è elaborato il risultato della ricerca del Department for Transport con un layout comparabile alle tabelle ISPRA (in base a cilindrata e classe Euro) per poter poi effettuare una sostituzione rispetto ai valori forniti dall'ISPRA stesso per quei determinati veicoli così da poter utilizzarla all'interno dello studio ottenendo quindi un valore attendibile e applicabile al parco veicolare interessato dalla nostra ricerca. Ai fini del nostro studio prenderemo in considerazione i fattori di emissione riguardanti l'NOx.

MARCA	MODELLO	CILINDRATA	CLASSE	ROAD TEST Nox mg/km		Nox g/km
			5			
Vauxhall	Corsa	1248	5	1109,68	1,10968	
Peugeot	208	1398	5	589,47	0,58947	
MARCA	MODELLO	CILINDRATA	CLASSE	ROAD TEST Nox mg/km		Nox g/km
Hyundai	iX35	1685	5	861,3	0,8613	
Citroen	C4	1560	5	518,4	0,5184	
FORD	MONDEO	2000	5	579	0,579	
Hyundai	i30 auto	1582	5	980,5	0,9805	
KIA	SPORTAGE	2000	5	1018	1,018	
Nissan	Qashqai	1461	5	1439	1,439	
Nissan	Qashqai	1598	5	1461	1,461	
SKODA	Octavia	1600	5	853,8	0,8538	
Vauxhall	Astra	1686	5	1227	1,227	
Vauxhall	INSIGNIA CDTI	1956	5	1881	1,881	
Volvo	V40 Cross Coun	1560	5	1549	1,549	
MARCA	MODELLO	CILINDRATA	CLASSE	ROAD TEST Nox mg/km		Nox g/km
			5			
Honda	CR-V SE I-DTEC	2199	5	812,9	0,8129	
Hyundai	Santa Fe	2199	5	1311	1,311	
Land Rove	Freelander	2179	5	1174	1,174	
Mercedes	E250	2143	5	1213	1,213	
Range Rov	Sport	2993	5	1269	1,269	
Range Rov	Sport HSE	2993	5	1720	1,72	
MARCA	MODELLO	CILINDRATA	CLASSE	ROAD TEST Nox mg/km		Nox g/km
Audi	A3	1598	6	215	0,215	
BMW	320 X	1995	6	455,1	0,4551	
FORD	FOCUS	1499	6	657,9	0,6579	
FORD	MONDEO 2.0	2000	6	670	0,67	
Honda	CR-V EX I-DTEC	1597	6	451,2	0,4512	
HYUNDAI	i30	1582	6	355,5	0,3555	
Jaguar	XE	1999	6	666,1	0,6661	
Kia	Sportage	1685	6	576	0,576	
Mercedes	A Class	1461	6	1034,77	1,03477	
Mini	Countryman	1598	6	131	0,131	
Peugeot	3008	1560	6	1104	1,104	
Renault	Megane	1461	6	918	0,918	
Skoda	Octavia	1598	6	203,7	0,2037	
Toyota	Avensis	1998	6	292,1	0,2921	
Vauxhall	Insignia	1956	6	744,74	0,74474	
Vauxhall	Mokka	1598	6	393,4	0,3934	
VW	Golf	2000	6	158,2	0,1582	c
MARCA	MODELLO	CILINDRATA	CLASSE	ROAD TEST Nox mg/km		Nox g/km
			6			
BMW	X5	2993	6	157,3	0,1573	
Mazda	6	2191	6	312,9	0,3129	
				media road test NOx E5+E6		
				Nox mg/km	Nox g/km	
				817,4726	0,817473	

Tabella 10: fattori emissivi M.O.T. NOx

3.2.2 PARCO VEICOLARE REGIONE MARCHE

Per proseguire nel nostro studio abbiamo utilizzato i dati relativi al parco veicolare italiano attingendo dai dati raccolti dall'ACI per l'anno 2016 supponendo che il parco veicolare italiano fosse comparabile a quello della regione Marche e nello specifico a quello della città di Ancona. Questi dati sono importanti in quanto ci consentono di discretizzare in base all'alimentazione il numero di auto ottenuto nelle fasi precedenti dello studio rendendoci così capaci di applicare a ogni tipo di alimentazione il proprio fattore emissivo specifico. Per applicare questo ragionamento però i suddetti dati andranno prima trasformati in termini percentuali.

TIPO	FASCIA	EURO 0	EURO I	EURO II	Euro III	EURO IV	EURO V	EURO VI	NON CONTEM PLATO	NON DEFINITO	TOTALE
Benzina	<i>Fino a 1400</i>	53.840	14.828	63.396	53.714	89.859	38.371	18.210	0	203	332421
	<i>1401 - 2000</i>	12.511	5.820	14.042	7.532	13.621	4.498	1.354	0	49	59427
	<i>Oltre 2000</i>	3.820	1.162	2.054	1.625	2.350	673	201	0	22	11907
Totale		70.171	21.810	79.492	62.871	105.830	43.542	19.765	0	274	403755
GPL	<i>Fino a 1400</i>	3.177	592	2.251	1.570	17.982	9.509	5.324	0	2	40407
	<i>1401 - 2000</i>	3.307	1.269	2.244	1.220	4.167	2.041	212	0	3	14463
	<i>Oltre 2000</i>	568	145	224	201	651	203	36	0	0	565
Totale		7052	2006	4719	2991	22800	11753	5572	0	5	55435
Metano	<i>Fino a 1400</i>	3.858	1.486	7.686	5.270	28.642	34.143	17.007	0	3	98095
	<i>1401 - 2000</i>	2.352	1.357	4.928	4.273	11.679	2.008	715	0	0	27312
	<i>Oltre 2000</i>	361	157	335	397	2.951	2.416	988	0	1	7606
Totale		6571	3000	12949	9940	43272	38567	18710	0	4	133013
Gasolio	<i>Fino a 1400</i>	1.093	77	117	13.674	58.345	23.607	4.704	0	1	101618
	<i>1401 - 2000</i>	5.371	2.450	22.511	62.400	81.235	68.775	27.827	0	2	270571
	<i>Oltre 2000</i>	18.071	10.494	24.941	39.917	35.603	18.585	5.578	0	14	153203
Totale		24.535	13.021	47.569	115.991	175.183	110.967	38.109	0	17	525392
Ibrido-elettrico	<i>Fino a 1400</i>	0	0	0	0	10	124	18	0	0	152
	<i>1401 - 2000</i>	1	0	0	0	50	678	603	0	0	1332
	<i>Oltre 2000</i>	0	0	0	0	47	30	152	85	0	314
	<i>Non contemplato</i>	0	0	0	0	0	0	0	96	0	96
Totale		1	0	0	0	107	832	773	181	0	1894
										TOT MARCHE	1119489

Tabella 11: Parco veicolare Regione Marche, autovetture distinte per alimentazione fascia di cilindrata e classe euro 2016 FONTE: ACI

L'ACI, come si evince osservando la tabella 11, suddivide ed esplicita il numero di veicoli in base al tipo di alimentazione (benzina, GPL, gasolio, metano e ibrido), cilindrata

(suddivisione dei veicoli in 3 fasce: fino a 1400 cc, 1401- 2000cc, oltre 2000cc) e Classe Euro (dalla Euro 0 alla Euro VI). Tutti questi dati ci sono utili per approfondire e sviluppare nel modo più accurato possibile il nostro studio. Inoltre, bisogna specificare che l'ACI considera cumulativamente i veicoli ad uso personale (Passenger Car) e i piccoli veicoli per il trasporto merci (Light Duty Vehicles) questo ci aiuta in quanto, come riportato in tabella 13, applicheremo le percentuali direttamente alle stime del numero di veicoli provenienti dall'elaborazione dei dati di Google Traffic. Rapportando ogni valore totale della singola alimentazione al numero totale dei veicoli in circolazione e moltiplicando il risultato per 100 otterremo le corrispondenti percentuali:

Tipo	Benzina	Gpl	Metano	Gasolio	Ibrido	Tot
PERCENUALI	36,1	4,9	11,9	46,9	0,2	100

Tabella 12: Percentuali alimentazione parco Veicolare regione Marche

Queste percentuali applicate al numero di vetture ottenute dall'interpretazione dei dati di Google Traffic ci portano dunque a questa discretizzazione:

COLORE	VALORE ADIMENSIONALE	NUMERO DI VEICOLI	Gasolio	Benzina	Metano	GPL
VERDE	0,15	240	112,56	86,64	28,56	11,76
VERDE-ARANCIONE	0,25	300	140,7	108,3	35,7	14,7
ARANCIONE	0,35	360	168,84	129,96	42,84	17,64
ARANCIONE-ROSSO	0,42	450	211,05	162,45	53,55	22,05
ROSSO	0,5	570	267,33	205,77	67,83	27,93

Tabella 13: percentuali alimentazione parco veicolare Ancona applicate al numero vetture estrapolato dall'interpretazione di Google Traffic

3.2.3 CALCOLO DELLE EMISSIONI

A questo punto, al fine di poter applicare i nostri coefficienti emissivi ed elaborare le quantità reali di inquinanti ricercate in questo studio, si è reso necessario cumulare la mole di dati settimanale estrapolata precedentemente per ogni via. Partendo quindi dai dati raccolti (numero di veicoli ogni mezz'ora, dalle 6 alle 22, dal lunedì al venerdì, in entrambi i sensi di marcia per ogni strada), si è andati ad eseguire il cumulativo settimanale mantenendo la formattazione giornaliera divisa in mezz'ore dalle 6 alle 22. Abbiamo così ottenuto per ogni via considerata un'unica tabella dove il numero finale di vetture per ogni mezz'ora è la somma di tutti i veicoli transitanti dal lunedì al venerdì in quella mezz'ora specifica in entrambi i sensi di marcia (questo dalle 6 alle 22).

In questo modo si è passati ad avere la seguente tipologia di tabelle:

ORA	ANDATA	RITORNO	AR SOMMA
6:00	1680	1680	3360
6:30	1680	1680	3360
7:00	1680	1680	3360
7:30	1920	2100	4020
8:00	2280	2790	5070
8:30	2280	2640	4920
9:00	2280	1980	4260
9:30	2280	1980	4260
10:00	2220	1980	4200
10:30	2100	1860	3960
11:00	2100	1800	3900
11:30	2040	1860	3900
12:00	1920	2040	3960
12:30	2100	2040	4140
13:00	2280	2580	4860
13:30	2100	2430	4530
14:00	1740	1920	3660
14:30	1680	1980	3660
15:00	1920	1800	3720
15:30	1860	1800	3660
16:00	1920	1920	3840

16:30	2220	1980	4200
17:00	2460	2160	4620
17:30	2610	2370	4980
18:00	2520	2310	4830
18:30	2520	2100	4620
19:00	2400	1980	4380
19:30	2220	1920	4140
20:00	1980	1800	3780
20:30	1680	1680	3360
21:00	1680	1680	3360
21:30	1680	1680	3360
22:00	1680	1680	3360
	TOTALE ANDATA	TOTALE RITORNO	DATO FINALE AR TOTALE SETTIMANALE
	67710	65880	133590

Tabella 14: tabella tipo valori cumulativi settimanali

Per esempio, considerando la colonna A+R alle ore 18:30 i veicoli sono 4620: essi corrispondono ai veicoli transitanti nell'intera settimana in quella specifica mezz'ora, su quella strada, considerando entrambi i sensi di percorrenza. Poiché questo ragionamento è stato applicato per ogni via monitorata ciò che abbiamo ottenuto sono 4 tabelle finali di questo tipo:

- VIA A. BOCCONI

ORA	Cumulativo	Gasolio	Benzina	Metano	GPL
6:00	3360	1575,84	1212,96	399,84	164,64
6:30	3360	1575,84	1212,96	399,84	164,64
7:00	3660	1716,54	1321,26	435,54	179,34
7:30	4380	2054,22	1581,18	521,22	214,62
8:00	5430	2546,67	1960,23	646,17	266,07
8:30	5130	2405,97	1851,93	610,47	251,37
9:00	5040	2363,76	1819,44	599,76	246,96
9:30	4260	1997,94	1537,86	506,94	208,74
10:00	4200	1969,8	1516,2	499,8	205,8
10:30	4140	1941,66	1494,54	492,66	202,86
11:00	4200	1969,8	1516,2	499,8	205,8
11:30	4320	2026,08	1559,52	514,08	211,68
12:00	4800	2251,2	1732,8	571,2	235,2
12:30	4860	2279,34	1754,46	578,34	238,14
13:00	5700	2673,3	2057,7	678,3	279,3
13:30	4740	2223,06	1711,14	564,06	232,26
14:00	3900	1829,1	1407,9	464,1	191,1
14:30	3840	1800,96	1386,24	456,96	188,16
15:00	3780	1772,82	1364,58	449,82	185,22
15:30	3900	1829,1	1407,9	464,1	191,1
16:00	4200	1969,8	1516,2	499,8	205,8
16:30	4320	2026,08	1559,52	514,08	211,68
17:00	4740	2223,06	1711,14	564,06	232,26
17:30	4800	2251,2	1732,8	571,2	235,2
18:00	4890	2293,41	1765,29	581,91	239,61
18:30	5790	2715,51	2090,19	689,01	283,71
19:00	5670	2659,23	2046,87	674,73	277,83
19:30	4440	2082,36	1602,84	528,36	217,56
20:00	4140	1941,66	1494,54	492,66	202,86
20:30	3720	1744,68	1342,92	442,68	182,28
21:00	3360	1575,84	1212,96	399,84	164,64
21:30	3360	1575,84	1212,96	399,84	164,64
22:00	3360	1575,84	1212,96	399,84	164,64
	DATO	Gasolio	Benzina	Metano	GPL
	143790	67437,51	51908,19	17111,01	7045,71

Tabella 15: cumulativo settimanale AR Via A. Bocconi

- VIA MARTIRI DELLA RESISTENZA

ORA	Cumulativo	Gasolio	Benzina	Metano	GPL
6:00	3360	1575,84	1212,96	399,84	164,64
6:30	3360	1575,84	1212,96	399,84	176,4
7:00	3420	1603,98	1234,62	406,98	179,34
7:30	4020	1885,38	1451,22	478,38	208,74
8:00	5550	2602,95	2003,55	660,45	283,71
8:30	5130	2405,97	1851,93	610,47	263,13
9:00	4530	2124,57	1635,33	539,07	233,73
9:30	4440	2082,36	1602,84	528,36	229,32
10:00	4440	2082,36	1602,84	528,36	229,32
10:30	4320	2026,08	1559,52	514,08	223,44
11:00	4440	2082,36	1602,84	528,36	229,32
11:30	4740	2223,06	1711,14	564,06	246,96
12:00	4740	2223,06	1711,14	564,06	246,96
12:30	4740	2223,06	1711,14	564,06	246,96
13:00	5610	2631,09	2025,21	667,59	289,59
13:30	5190	2434,11	1873,59	617,61	271,95
14:00	4200	1969,8	1516,2	499,8	223,44
14:30	4020	1885,38	1451,22	478,38	208,74
15:00	4020	1885,38	1451,22	478,38	208,74
15:30	4200	1969,8	1516,2	499,8	217,56
16:00	4500	2110,5	1624,5	535,5	232,26
16:30	4560	2138,64	1646,16	542,64	235,2
17:00	5070	2377,83	1830,27	603,33	260,19
17:30	5400	2532,6	1949,4	642,6	276,36
18:00	5250	2462,25	1895,25	624,75	269,01
18:30	5340	2504,46	1927,74	635,46	273,42
19:00	4770	2237,13	1721,97	567,63	245,49
19:30	4590	2152,71	1656,99	546,21	236,67
20:00	3720	1744,68	1342,92	442,68	194,04
20:30	3480	1632,12	1256,28	414,12	182,28
21:00	3360	1575,84	1212,96	399,84	176,4
21:30	3360	1575,84	1212,96	399,84	176,4
22:00	3360	1575,84	1212,96	399,84	176,4
	DATO	Gasolio	Benzina	Metano	GPL
	145230	68112,87	52428,03	17282,37	7516,11

Tabella 16: cumulativo settimanale AR Via Martiri della Resistenza

- **VIA XXV APRILE**

ORA	Cumulativo	Gasolio	Benzina	Metano	GPL
06:00:00	3480	1632,12	1256,28	414,12	170,52
06:30:00	3360	1575,84	1212,96	399,84	164,64
07:00:00	3660	1716,54	1321,26	435,54	179,34
07:30:00	4740	2223,06	1711,14	564,06	232,26
08:00:00	5790	2715,51	2090,19	689,01	283,71
08:30:00	5100	2391,9	1841,1	606,9	249,9
09:00:00	4800	2251,2	1732,8	571,2	235,2
09:30:00	4650	2180,85	1678,65	553,35	227,85
10:00:00	4500	2110,5	1624,5	535,5	220,5
10:30:00	4380	2054,22	1581,18	521,22	214,62
11:00:00	4500	2110,5	1624,5	535,5	220,5
11:30:00	4320	2026,08	1559,52	514,08	211,68
12:00:00	4560	2138,64	1646,16	542,64	223,44
12:30:00	4680	2194,92	1689,48	556,92	229,32
13:00:00	4980	2335,62	1797,78	592,62	244,02
13:30:00	4500	2110,5	1624,5	535,5	220,5
14:00:00	4260	1997,94	1537,86	506,94	208,74
14:30:00	4200	1969,8	1516,2	499,8	205,8
15:00:00	4020	1885,38	1451,22	478,38	196,98
15:30:00	4200	1969,8	1516,2	499,8	205,8
16:00:00	4440	2082,36	1602,84	528,36	217,56
16:30:00	4620	2166,78	1667,82	549,78	226,38
17:00:00	4860	2279,34	1754,46	578,34	238,14
17:30:00	4980	2335,62	1797,78	592,62	244,02
18:00:00	4980	2335,62	1797,78	592,62	244,02
18:30:00	4980	2335,62	1797,78	592,62	244,02
19:00:00	4740	2223,06	1711,14	564,06	232,26
19:30:00	4620	2166,78	1667,82	549,78	226,38
20:00:00	4320	2026,08	1559,52	514,08	211,68
20:30:00	3480	1632,12	1256,28	414,12	170,52
21:00:00	3360	1575,84	1212,96	399,84	164,64
21:30:00	3360	1575,84	1212,96	399,84	164,64
22:00:00	3420	1603,98	1234,62	406,98	167,58
	DATO FINALE AR	Gasolio	Benzina	Metano	GPL
	144840	67929,96	52287,24	17235,96	7097,16

Tabella 17: cumulativo settimanale AR Via XXV Aprile

- **GALLERIA DEL RISORGIMENTO**

ORA	Cumulativo	Gasolio	Benzina	Metano	GPL
06:00:00	3360	1575,84	1212,96	399,84	164,64
06:30:00	3360	1575,84	1212,96	399,84	164,64
07:00:00	3360	1575,84	1212,96	399,84	164,64
07:30:00	4020	1885,38	1451,22	478,38	196,98
08:00:00	5070	2377,83	1830,27	603,33	248,43
08:30:00	4920	2307,48	1776,12	585,48	241,08
09:00:00	4260	1997,94	1537,86	506,94	208,74
09:30:00	4260	1997,94	1537,86	506,94	208,74
10:00:00	4200	1969,8	1516,2	499,8	205,8
10:30:00	3960	1857,24	1429,56	471,24	194,04
11:00:00	3900	1829,1	1407,9	464,1	191,1
11:30:00	3900	1829,1	1407,9	464,1	191,1
12:00:00	3960	1857,24	1429,56	471,24	194,04
12:30:00	4140	1941,66	1494,54	492,66	202,86
13:00:00	4860	2279,34	1754,46	578,34	238,14
13:30:00	4530	2124,57	1635,33	539,07	221,97
14:00:00	3660	1716,54	1321,26	435,54	179,34
14:30:00	3660	1716,54	1321,26	435,54	179,34
15:00:00	3720	1744,68	1342,92	442,68	182,28
15:30:00	3660	1716,54	1321,26	435,54	179,34
16:00:00	3840	1800,96	1386,24	456,96	188,16
16:30:00	4200	1969,8	1516,2	499,8	205,8
17:00:00	4620	2166,78	1667,82	549,78	226,38
17:30:00	4980	2335,62	1797,78	592,62	244,02
18:00:00	4830	2265,27	1743,63	574,77	236,67
18:30:00	4620	2166,78	1667,82	549,78	226,38
19:00:00	4380	2054,22	1581,18	521,22	214,62
19:30:00	4140	1941,66	1494,54	492,66	202,86
20:00:00	3780	1772,82	1364,58	449,82	185,22
20:30:00	3360	1575,84	1212,96	399,84	164,64
21:00:00	3360	1575,84	1212,96	399,84	164,64
21:30:00	3360	1575,84	1212,96	399,84	164,64
22:00:00	3360	1575,84	1212,96	399,84	164,64
	DATO FINALE	Gasolio	Benzina	Metano	GPL
	133590	62653,71	48225,99	15897,21	6545,91

Tabella 18: cumulativo settimanale veicoli AR Galleria Risorgimento

Dai dati contenuti in queste tabelle è possibile dare una prima valutazione generale della situazione di traffico presente tipicamente nella zona di Piazzale della Libertà. Si nota infatti che la via più trafficata sia Via Martiri della Resistenza seguita da Via XXV Aprile, Via A. Bocconi, e Galleria Risorgimento in quanto costituisce il collegamento principalmente sfruttato dalla periferia al centro città e viceversa, verso la stazione e verso gli altri servizi. Ad ogni modo si nota anche che lo studio di questa zona risulta calzante allo scopo di rappresentare lo stato di inquinamento cittadino in quanto anche attraverso queste tabelle si riscontrano le situazioni di picco relative ai vari orari principali in cui ci si aspetta situazioni di traffico e anche i volumi veicolari risultano congruenti con quanto ipotizzato. In ogni caso noti i cumulativi settimanali del numero di veicoli per ogni via dell'area considerata, conoscendo inoltre i dati relativi al parco veicolare ACI 2016 (tab.11) e conoscendo i vari fattori di emissione ricavati dall'elaborazione dei dati provenienti dal M.O.T. Test effettuato dal Department for Transport (tab.10) possiamo procedere al calcolo delle emissioni come segue:

Per prima cosa andiamo a sostituire nella tabella dei coefficienti emissivi ISPRA (tab.20) i nostri dati provenienti dal M.O.T. e otteniamo dunque la tabella che utilizzeremo poi nei nostri calcoli (tab.21).

ISPRA								
Nox	NOx g/km U							
veicoli	FASCIA	FE EURO 0	FE EURO I	FE EURO II	FE Euro III	FE EURO IV	FE EURO V	FE EURO VI
Benzina	Fino a 1400	1,638	0,572	0,402	0,178	0,125	0,090	0,095
	1401 - 2000	1,897	0,803	0,594	0,267	0,185	0,130	0,129
	Oltre 2000	2,351	0,732	0,537	0,268	0,187	0,135	0,133
GPL	Fino a 1400	1,939	0,754	0,400	0,180	0,126	0,108	0,108
	1401 - 2000	1,939	0,754	0,400	0,180	0,126	0,108	0,108
	Oltre 2000	1,939	0,754	0,400	0,180	0,126	0,108	0,108
Metano	Fino a 1400					0,168	0,108	0,108
	1401 - 2000					0,196	0,108	0,108
	Oltre 2000					0,215	0,108	0,108
Gasolio	Fino a 1400	0,696	0,839	0,924	0,915	0,769	0,801	0,660
	1401 - 2000	0,696	0,839	0,924	0,915	0,769	0,801	0,660
	Oltre 2000	1,064	0,839	0,924	0,915	0,769	0,801	0,660

Tabella 20: Fattori Emissione NOx divisi in base a cilindrata, alimentazione e classe euro ISPRA

MOT								
Nox	NOx g/km U							
veicoli	FASCIA	FE EURO 0	FE EURO I	FE EURO II	FE Euro III	FE EURO IV	FE EURO V	FE EURO VI
Benzina	Fino a 1400	1,638	0,572	0,402	0,178	0,125	0,090	0,095
	1401 - 2000	1,897	0,803	0,594	0,267	0,185	0,130	0,129
	Oltre 2000	2,351	0,732	0,537	0,268	0,187	0,135	0,133
GPL	Fino a 1400	1,939	0,754	0,400	0,180	0,126	0,108	0,108
	1401 - 2000	1,939	0,754	0,400	0,180	0,126	0,108	0,108
	Oltre 2000	1,939	0,754	0,400	0,180	0,126	0,108	0,108
Metano	Fino a 1400					0,168	0,108	0,108
	1401 - 2000					0,196	0,108	0,108
	Oltre 2000					0,215	0,108	0,108
Gasolio	Fino a 1400	0,696	0,839	0,924	0,915	0,769	0,850	0,850
	1401 - 2000	0,696	0,839	0,924	0,915	0,769	1,124	0,531
	Oltre 2000	1,064	0,839	0,924	0,915	0,769	1,250	0,235

Tabella 19: Fattori Emissione NOx divisi in base a cilindrata, alimentazione e classe euro modificati con dati Euro5 ed Euro 6 Diesel derivanti dal test M.O.T.

I valori contenuti in quest'ultima tabella utilizzate insieme alle relative percentuali calcolate sulla base della tabella ACI 2016 (tab.19) applicati al numero di veicoli

cumulativo settimanale di ogni via ci fornirà a questo punto la tabella relativa alla quantità di Nox prodotto specificato per alimentazione, cilindrata, classe Euro (tab.22).

AV + LDV	Autovetture distinte per alimentazione e fascia di cilindrata (2016) %								
VEICOLO	TIPO	FASCIA	EURO 0	EURO I	EURO II	Euro III	EURO IV	EURO V	EURO VI
Passenger Car	Benzina	Fino a 140	4,81	1,32	5,66	4,80	8,03	3,43	1,63
		1401 - 200	1,12	0,52	1,25	0,67	1,22	0,40	0,12
		Oltre 2000	0,34	0,10	0,18	0,15	0,21	0,06	0,02
	GPL	Fino a 140	0,28	0,05	0,20	0,14	1,61	0,85	0,48
		1401 - 200	0,30	0,11	0,20	0,11	0,37	0,18	0,02
		Oltre 2000	0,05	0,01	0,02	0,02	0,06	0,02	0,00
	Metano	Fino a 140	0,34	0,13	0,69	0,47	2,56	3,05	1,52
		1401 - 200	0,21	0,12	0,44	0,38	1,04	0,18	0,06
		Oltre 2000	0,03	0,01	0,03	0,04	0,26	0,22	0,09
	Gasolio	Fino a 140	0,10	0,01	0,01	1,22	5,21	2,11	0,42
		1401 - 200	0,48	0,22	2,01	5,57	7,26	6,14	2,49
		Oltre 2000	1,61	0,94	2,23	3,57	3,18	1,66	0,50

Tabella 20: Parco veicolare Aci 2016 espresso in percentuale

Per esempio, considerando il valore di vetture 3480 la tabella ottenuta sarà la seguente:

veicoli	FASCIA	EURO 0	EURO I	EURO II	Euro III	EURO IV	EURO V	EURO VI	
	3480	Benzina	Fino a 1400	21,590	1,265	2,151	1,548	2,636	0,986
		1401 - 2000	5,957	1,036	0,817	0,187	0,529	0,160	0,227
		Oltre 2000	2,567	0,223	0,179	0,088	0,109	0,026	0,028
GPL		Fino a 1400	1,497	0,051	0,051	0,037	0,601	0,303	0,900
		1401 - 2000	1,631	0,219	0,085	0,026	0,089	0,060	0,068
		Oltre 2000	0,311	0,028	0,013	0,008	0,020	0,006	0,001
Metano		Fino a 1400	0,000	0,000	0,000	0,000	1,456	1,118	1,455
		1401 - 2000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,581	0,065	0,428
		Oltre 2000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,192	0,079	0,032
Gasolio		Fino a 1400	0,124	-0,069	-0,749	2,492	12,778	5,410	5,563
		1401 - 2000	0,566	0,125	1,787	9,575	14,262	14,819	30,732
		Oltre 2000	5,590	2,536	5,835	9,129	7,114	4,041	3,111

Tabella 21: Esempio tabella emissione distribuita per alimentazione, cilindrata e classe Euro per il valore di veicoli 3480

La somma di tutte queste specifiche emissioni ci porterà in fine al quantitativo totale di inquinante emesso dal numero di veicoli transitati in quella mezz'ora nella strada considerata. Sempre riferendoci al valore preso in esempio, il suo corrispondente valore di NOx espresso in g/100m per la mezz'ora cumulativa settimanale sarà il seguente:

AR		
Cumulativo settimana		NOX
3480		217,126396

Tabella 22: totale NOx emesso da 3480 veicoli nella mezz'ora presa in considerazione cumulativa di tutta la settimana

Iterando questo processo per tutti i cumulativi settimanali per ogni mezz'ora, per ogni strada otterremo le seguenti tabelle finali in cui l'Nox è espresso in NOX g/100m:

- VIA A. BOCCONI

ORA	Cumulativo Settimanale per 30 min AR	Nox g/100m
06:00:00	3360	209,6393
06:30:00	3360	209,6393
07:00:00	3360	209,6393
07:30:00	3660	228,3571
08:00:00	4380	273,2798
08:30:00	5430	338,792
09:00:00	5130	320,0743
09:30:00	5040	314,4589
10:00:00	4260	265,7927
10:30:00	4200	262,0491
11:00:00	4140	258,3055
11:30:00	4200	262,0491
12:00:00	4320	269,5362
12:30:00	4800	299,4847
13:00:00	4860	303,2282
13:30:00	5700	355,6381
14:00:00	4740	295,7411
14:30:00	3900	243,3313
15:00:00	3840	239,5877
15:30:00	3780	235,8442
16:00:00	3900	243,3313
16:30:00	4200	262,0491
17:00:00	4320	269,5362
17:30:00	4740	295,7411
18:00:00	4800	299,4847
18:30:00	4890	305,1
19:00:00	5790	361,2534
19:30:00	5670	353,7663
20:00:00	4440	277,0233
20:30:00	4140	258,3055
21:00:00	3720	232,1006
21:30:00	3360	209,6393
22:00:00	3360	209,6393
	TOTALE GIORNALIERO PER TUTTA LA SETTIMANA	
	143790	8971,438 g/100m

Tabella 23: Dati cumulativi settimanali emissioni Nox, M.O.T. dati veicolari 2016

- VIA MARTIRI DELLA RESISTENZA

ORA	Cumulativo Settimanale per 30 min AR	Nox g/100m
06:00:00	3360	209,6393
06:30:00	3360	209,6393
07:00:00	3420	213,3828
07:30:00	4020	250,8184
08:00:00	5550	346,2792
08:30:00	5130	320,0743
09:00:00	4530	282,6387
09:30:00	4440	277,0233
10:00:00	4440	277,0233
10:30:00	4320	269,5362
11:00:00	4440	277,0233
11:30:00	4740	295,7411
12:00:00	4740	295,7411
12:30:00	4740	295,7411
13:00:00	5610	350,0227
13:30:00	5190	323,8178
14:00:00	4200	262,0491
14:30:00	4020	250,8184
15:00:00	4020	250,8184
15:30:00	4200	262,0491
16:00:00	4500	280,7669
16:30:00	4560	284,5105
17:00:00	5070	316,3307
17:30:00	5400	336,9203
18:00:00	5250	327,5614
18:30:00	5340	333,1767
19:00:00	4770	297,6129
19:30:00	4590	286,3822
20:00:00	3720	232,1006
20:30:00	3480	217,1264
21:00:00	3360	209,6393
21:30:00	3360	209,6393
22:00:00	3360	209,6393
	TOTALE GIORNALIERO PER TUTTA LA SETTIMANA	
	145230	9061,283 g/100m

Tabella 24: Valori cumulativi settimanali emissioni Nox, M.O.T. dati veicolari 2016

- VIA XXV APRILE

ORE	Cumulativo Settimanale per 30 min AR	Nox g/100m
06:00:00	3480	217,1264
06:30:00	3360	209,6393
07:00:00	3660	228,3571
07:30:00	4740	295,7411
08:00:00	5790	361,2534
08:30:00	5100	318,2025
09:00:00	4800	299,4847
09:30:00	4650	290,1258
10:00:00	4500	280,7669
10:30:00	4380	273,2798
11:00:00	4500	280,7669
11:30:00	4320	269,5362
12:00:00	4560	284,5105
12:30:00	4680	291,9976
13:00:00	4980	310,7154
13:30:00	4500	280,7669
14:00:00	4260	265,7927
14:30:00	4200	262,0491
15:00:00	4020	250,8184
15:30:00	4200	262,0491
16:00:00	4440	277,0233
16:30:00	4620	288,254
17:00:00	4860	303,2282
17:30:00	4980	310,7154
18:00:00	4980	310,7154
18:30:00	4980	310,7154
19:00:00	4740	295,7411
19:30:00	4620	288,254
20:00:00	4320	269,5362
20:30:00	3480	217,1264
21:00:00	3360	209,6393
21:30:00	3360	209,6393
22:00:00	3420	213,3828
	TOTALE GIORNALIERO PER TUTTA LA SETTIMANA	
	144840	9036,95 g/100m

Tabella 25: Valori cumulativi settimanali emissioni Nox, M.O.T. dati veicolari 2016

- **GALLERIA RISORGIMENTO**

ORE	Cumulativo Settimanale per 30 min AR	Nox g/100m
06:00:00	3360	209,6393
06:30:00	3360	209,6393
07:00:00	3360	209,6393
07:30:00	3360	209,6393
08:00:00	4020	250,8184
08:30:00	5070	316,3307
09:00:00	4920	268,2099
09:30:00	4260	265,7927
10:00:00	4260	265,7927
10:30:00	4200	262,0491
11:00:00	3960	247,0749
11:30:00	3900	243,3313
12:00:00	3900	243,3313
12:30:00	3960	247,0749
13:00:00	4140	258,3055
13:30:00	4860	303,2282
14:00:00	4530	282,6387
14:30:00	3660	228,3571
15:00:00	3660	228,3571
15:30:00	3720	232,1006
16:00:00	3660	228,3571
16:30:00	3840	239,5877
17:00:00	4200	262,0491
17:30:00	4620	288,254
18:00:00	4980	310,7154
18:30:00	4830	301,3565
19:00:00	4620	288,254
19:30:00	4380	273,2798
20:00:00	4140	258,3055
20:30:00	3780	235,8442
21:00:00	3360	209,6393
21:30:00	3360	209,6393
22:00:00	3360	209,6393
	TOTALE GIORNALIERO PER TUTTA LA SETTIMANA	
	133590	8296,271 g/100m

Tabella 26: Valori cumulativi settimanali emissioni Nox, M.O.T. dati veicolari 2016

3.2.4 PREVISIONE TREND PARCO VEICOLARE FINO AL 2022

Una volta calcolato l'inquinamento derivante dal traffico veicolare attuale ci siamo posti il problema di verificare quale sarà il trend emissivo degli anni avvenire e quale potrebbe essere l'inquinamento da NOx nella stessa zona nei prossimi anni per effettuare dei confronti e verifiche, nello specifico fino all'anno 2022. Per monitorare questo scenario ci siamo dovuti riferire a un ipotetico parco veicolare della Regione Marche per l'anno 2022 facendo uso dei dati forniti dall'ACI circa le radiazioni e le nuove immatricolazioni. In questo modo è stato possibile avere una visione in divenire sia sull'andamento del parco veicolare sia sull'evoluzione delle emissioni da traffico veicolare. Siamo ripartiti dunque dai dati ACI sul Parco Veicolare del 2016 avvalendoci poi delle tabelle ACI riguardanti nuove immatricolazioni e le "radiazioni" per gli anni 2016 e 2017. Da queste ultime tabelle si è effettuata poi una media radiazioni-immatricolazioni tra 2016 e 2017 che ci ha reso possibile ricavare virtualmente lo stesso parco veicolare ACI per gli anni dal 2017 al 2022 attraverso l'istaurazione dello stesso trend di crescita rilevato con la media sotto l'ipotesi che esso rimanga invariato negli anni presi in considerazione.

REGIONE MARCHE		2016									
AV + LDV		Autovetture distinte per alimentazione e fascia di cilindrata (2016)									
VEICOLO	TIPO	FASCIA	Convenzio	91/441 EU	94/12 EUR	98/69 Eur	EURO IV	EURO V	EURO VI	NON CONTEMPLATO	TOTALE
Passenger C	Benzina	Fino a 140	53840	14828	63396	53714	89859	38371	18210	0	332218
Passenger Car		1401 - 200	12511	5820	14042	7532	13621	4498	1354	0	59378
Passenger Car		Oltre 2000	3820	1162	2054	1625	2350	673	201	0	11885
	Totale		70171	21810	79492	62871	105830	43542	19765	0	403481
Passenger C	GPL	Fino a 140	3177	592	2251	1570	17982	9509	5324	0	40405
Passenger Car		1401 - 200	3307	1269	2244	1220	4167	2041	212	0	14460
Passenger Car		Oltre 2000	568	145	224	201	651	203	36	0	565
	Totale		7052	2006	4719	2991	22800	11753	5572	0	55430
Passenger C	Metano	Fino a 140	3858	1486	7686	5270	28642	34143	17007	0	98092
Passenger Car		1401 - 200	2352	1357	4928	4273	11679	2008	715	0	27312
Passenger Car		Oltre 2000	361	157	335	397	2951	2416	988	0	7605
	Totale		6571	3000	12949	9940	43272	38567	18710	0	133009
Passenger C	Gasolio	Fino a 140	1093	77	117	13674	58345	23607	4704	0	101617
Passenger Car		1401 - 200	5371	2450	22511	62400	81235	68775	27827	0	270569
Passenger Car		Oltre 2000	18071	10494	24941	39917	35603	18585	5578	0	153189
	Totale		24535	13021	47569	115991	175183	110967	38109	0	525375
Passenger C	Ibrido-elet	Fino a 140	0	0	0	0	10	124	18	0	152
Passenger Car		1401 - 200	1	0	0	0	50	678	603	0	1332
Passenger Car		Oltre 2000	0	0	0	0	47	30	152	0	314
Passenger Car		Non conte	0	0	0	0	0	0	0	0	96
	Totale		1	0	0	0	107	832	773	0	1894
										TOT AV + LDV MARCHE	1119189

Tabella 27: Parco veicolare Regione Marche ACI 2016

VEICOLO	TIPO	FASCIA	Convenzionali (EURO 0)	91/441 EURO I	94/12 EURO II	98/69 Euro III	EURO IV	EURO V	EURO VI	NON CONTEMPLATO	TOTALE
Passenger Car	Benzina	Fino a 1400	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	20,27		
Passenger Car		1401 - 2000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,56		
Passenger Car		Oltre 2000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15		
	<i>Totale</i>		<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>21,98</i>		<i>21,98</i>
Passenger Car	GPL	Fino a 1400	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,69		
Passenger Car		1401 - 2000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,37		
Passenger Car		Oltre 2000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
	<i>Totale</i>		<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>7,07</i>		<i>7,07</i>
Passenger Car	Metano	Fino a 1400	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,40		
Passenger Car		1401 - 2000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,42		
Passenger Car		Oltre 2000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
	<i>Totale</i>		<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>1,82</i>		<i>15,88930</i>
Passenger Car	Gasolio	Fino a 1400	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,38		
Passenger Car		1401 - 2000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	41,97		
Passenger Car		Oltre 2000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,58		
	<i>Totale</i>		<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>53,94</i>		<i>53,936</i>
Passenger Car	Ido-elettri	Fino a 1400	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Passenger Car		1401 - 2000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Passenger Car		Oltre 2000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Passenger Car	<i>Totale</i>		<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>1,12</i>		<i>1,123</i>
											100,0000

Tabella 28: Nuove immatricolazioni Regione Marche ACI 2016 dato percentuale

VEICOLO	TIPO	FASCIA	Convenzionali (EURO 0)	91/441 EURO I	94/12 EURO II	98/69 Euro III	EURO IV	EURO V	EURO VI	NON CONTEMPLATO	TOTALE
Passenger Car	Benzina	Fino a 1400	1,46	3,39	19,78	9,27	7,54	0,73	0,75	3,56	
Passenger Car		1401 - 2000	0,30	0,70	4,06	1,90	1,55	0,15	0,15	0,73	
Passenger Car		Oltre 2000	0,03	0,06	0,37	0,17	0,14	0,01	0,01	0,07	
	<i>Totale</i>		<i>1,78</i>	<i>4,15</i>	<i>24,21</i>	<i>11,34</i>	<i>9,23</i>	<i>0,89</i>	<i>0,92</i>	<i>4,35</i>	<i>56,88</i>
Passenger Car	GPL	Fino a 1400	0,07	0,14	0,70	0,31	0,67	0,07	0,01	0,17	
Passenger Car		1401 - 2000	0,06	0,13	0,63	0,28	0,60	0,06	0,01	0,15	
Passenger Car		Oltre 2000	0,00	0,01	0,05	0,02	0,05	0,00	0,00	0,01	
	<i>Totale</i>		<i>0,14</i>	<i>0,28</i>	<i>1,38</i>	<i>0,62</i>	<i>1,31</i>	<i>0,14</i>	<i>0,02</i>	<i>0,33</i>	<i>4,21</i>
Passenger Car	Metano	Fino a 1400	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	
Passenger Car		1401 - 2000	0,00	0,00	0,01	0,01	0,04	0,01	0,00	0,00	
Passenger Car		Oltre 2000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	<i>Totale</i>		<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,01</i>	<i>0,02</i>	<i>0,05</i>	<i>0,01</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>1,39</i>
Passenger Car	Gasolio	Fino a 1400	0,01	0,07	0,73	1,55	0,99	0,42	0,10	0,03	
Passenger Car		1401 - 2000	0,08	0,47	5,07	10,84	6,89	2,94	0,67	0,23	
Passenger Car		Oltre 2000	0,02	0,11	1,19	2,55	1,62	0,69	0,16	0,05	
	<i>Totale</i>		<i>0,10</i>	<i>0,65</i>	<i>6,99</i>	<i>14,95</i>	<i>9,50</i>	<i>4,05</i>	<i>0,93</i>	<i>0,32</i>	<i>37,49</i>
Passenger Car	Ido-elettri	Fino a 1400	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Passenger Car		1401 - 2000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Passenger Car		Oltre 2000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Passenger Car	<i>Totale</i>		<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,03</i>	<i>0,03</i>
											100,00

Tabella 29: Radiazioni Regione Marche ACI 2016 dato percentuale

Salta all'occhio subito in queste tabelle che contributo delle nuove immatricolazioni sia dato esclusivamente dai veicoli di classe EURO VI benzina e gasolio mentre per le radiazioni è evidente come il maggior contributo sia dato dai veicoli appartenenti a classi EURO IV e minori, di cui la maggior parte a benzina.

VEICOLO	TIPO	FASCIA	Convenzionali (EURO 0)	91/441 EURO I	94/12 EURO II	98/69 Euro III	EURO IV	EURO V	EURO VI	NON CONTEMPLA	TOTALE
Passenger Car	Benzina	Fino a 1400	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,22		
Passenger Car		1401 - 2000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,78		
Passenger Car		Oltre 2000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,22		
	<i>Totale</i>		<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>21,21</i>		<i>21,21</i>
Passenger Car	GPL	Fino a 1400	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,36		
Passenger Car		1401 - 2000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,91		
Passenger Car		Oltre 2000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
	<i>Totale</i>		<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>9,27</i>		<i>9,27</i>
Passenger Car	Metano	Fino a 1400	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,65		
Passenger Car		1401 - 2000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18		
Passenger Car		Oltre 2000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
	<i>Totale</i>		<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>1,84</i>		<i>10,99</i>
Passenger Car	Gasolio	Fino a 1400	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,55		
Passenger Car		1401 - 2000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	44,86		
Passenger Car		Oltre 2000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,60		
	<i>Totale</i>		<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>56,01</i>		<i>56,009</i>
Passenger Car	Ibrido-elettrico	Fino a 1400	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09		
Passenger Car		1401 - 2000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,90		
Passenger Car		Oltre 2000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,69		
Passenger Car											
	<i>Totale</i>		<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>2,52</i>		<i>2,52</i>
											100,0000

Tabella 30: Nuove immatricolazioni Regione Marche ACI 2017 dato percentuale

VEICOLO	TIPO	FASCIA	Convenzionali (EURO 0)	91/441 EURO I	94/12 EURO II	98/69 Euro III	EURO IV	EURO V	EURO VI	NON CONTEMPLATO	TOTALE
Passenger Car	Benzina	Fino a 1400	0,94	2,24	14,48	9,52	7,55	0,76	0,99	1,76	
Passenger Car		1401 - 2000	0,20	0,47	3,06	2,01	1,59	0,16	0,21	0,37	
Passenger Car		Oltre 2000	0,02	0,05	0,35	0,23	0,18	0,02	0,02	0,04	
	<i>Totale</i>		<i>1,16</i>	<i>2,77</i>	<i>17,89</i>	<i>11,75</i>	<i>9,33</i>	<i>0,94</i>	<i>1,23</i>	<i>2,18</i>	<i>47,24</i>
Passenger Car	GPL	Fino a 1400	0,07	0,13	0,67	0,35	0,98	0,11	0,02	0,16	
Passenger Car		1401 - 2000	0,05	0,11	0,53	0,27	0,77	0,09	0,02	0,13	
Passenger Car		Oltre 2000	0,00	0,01	0,04	0,02	0,05	0,01	0,00	0,01	
	<i>Totale</i>		<i>0,12</i>	<i>0,25</i>	<i>1,23</i>	<i>0,64</i>	<i>1,80</i>	<i>0,20</i>	<i>0,04</i>	<i>0,30</i>	<i>4,58</i>
Passenger Car	Metano	Fino a 1400	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	
Passenger Car		1401 - 2000	0,00	0,00	0,01	0,02	0,06	0,01	0,00	0,00	
Passenger Car		Oltre 2000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	<i>Totale</i>		<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,01</i>	<i>0,02</i>	<i>0,07</i>	<i>0,02</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>1,45</i>
Passenger Car	Gasolio	Fino a 1400	0,06	0,19	1,37	1,96	1,57	0,54	0,23	0,27	
Passenger Car		1401 - 2000	0,31	1,00	7,02	10,03	8,05	2,78	1,16	1,40	
Passenger Car		Oltre 2000	0,08	0,26	1,87	2,67	2,14	0,74	0,31	0,37	
	<i>Totale</i>		<i>0,45</i>	<i>1,45</i>	<i>10,25</i>	<i>14,65</i>	<i>11,76</i>	<i>4,06</i>	<i>1,69</i>	<i>2,04</i>	<i>46,364</i>
Passenger Car	Ibrido-elettrico	Fino a 1400	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Passenger Car		1401 - 2000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,05	0,07	0,01	
Passenger Car		Oltre 2000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,04	0,00	
Passenger Car											
	<i>Totale</i>		<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,05</i>	<i>0,12</i>	<i>0,17</i>	<i>0,02</i>	<i>0,36</i>
											100,0000

Tabella 31: Radiazioni Regione Marche ACI 2017 dato percentuale

Similmente per l'anno 2017, le nuove immatricolazioni sono chiaramente solo quelle derivanti dai veicoli di classe EURO VI, di cui il 56% a gasolio, il 10% di veicoli a metano e solo in minima parte (pari al 2%) di ibride-elettriche. Le radiazioni allo stesso modo ripresentano uno scenario paragonabile a quello dell'anno 2016; la maggior parte delle radiazioni infatti (pari al 47% con alimentazione a benzina) sono relative ai veicoli di classe EURO III e minori. Inoltre, risulta chiaro come vengano radiate in minor numero i veicoli a metano (solo l'1%) e quelli GPL. Il meccanismo utilizzato per elaborare i futuri scenari veicolari è stato il seguente: mediante i dati di radiazione 2016 e 2017 si è effettuata una media dei veicoli che secondo i rapporti ACI è uscita dalla circolazione. Questi dati sono stati poi separati in termini di cilindrata, alimentazione e Classe Euro e riportati dall'espressione percentuale a quella numerica effettiva di veicoli interessati. Allo stesso modo ci si è comportati per quanto riguarda le nuove immatricolazioni 2016/2017 riportando anche qui il risultato dalla forma percentuale alla forma numerica effettiva. A questo punto si è andati semplicemente a sommare le nuove immatricolazioni e sottrarre le radiazioni per ogni cella cilindrata-alimentazione-classe

Euro al valore relativo della tabella del parco veicolare della Regione Marche ACI 2016 espresso anche lui in forma numerica (numero di veicoli). Iterando questo procedimento sotto l'ipotesi che il trend immatricolazioni/radiazioni rimanga costante negli anni siamo arrivati a quella che è la tabella ipotetica del parco veicolare della Regione Marche per l'anno 2022 esposto qui di seguito:

REGIONE MARCHE			2022								
AV + LDV	Autovetture distinte per alimentazione e fascia di cilindrata										
VEICOLO	TIPO	FASCIA	Convenzio	91/441 EU	94/12 EUR	98/69 Euro	EURO IV	EURO V	EURO VI	NON CON	TOTALE
Passenger	Benzina	Fino a 140	43551,9	7311,7	17702,6	28664,8	69739,1	36382,8	74347,5	0,0	
Passenger Car		1401 - 200	10378,3	4259,7	4549,9	2315,8	9432,1	4083,9	5803,8	0,0	
Passenger Car		Oltre 2000	3608,7	1005,8	1098,8	1090,7	1921,5	630,6	705,0	0,0	
	Totale		57538,9	12577,2	23351,2	32071,4	81092,7	41097,3	80856,3	0,0	328585,1
Passenger	GPL	Fino a 140	2550,8	225,7	424,1	684,8	15791,0	9266,7	27571,2	0,0	
Passenger Car		1401 - 200	2779,0	960,1	703,5	477,6	2346,6	1840,2	2078,6	0,0	
Passenger Car		Oltre 2000	529,3	122,4	111,2	146,9	519,4	188,5	40,8	0,0	
	Totale		5859,1	1308,2	1238,7	1309,3	18656,9	11295,5	29690,7	0,0	69358,33
Passenger	Metano	Fino a 140	3856,4	1485,0	7681,1	5261,9	28614,1	34137,3	44447,2	0,0	
Passenger Car		1401 - 200	2344,5	1352,1	4905,1	2512,8	9807,0	1979,2	13063,9	0,0	
Passenger Car		Oltre 2000	361,0	157,0	335,0	397,0	2951,0	2416,0	988,0	0,0	
	Totale		6561,9	2994,1	12921,2	8171,6	41372,1	38532,5	58499,0	0,0	169052,4
Passenger	Gasolio	Fino a 140	590,2	-272,0	-2676,4	8996,7	54937,2	22322,6	27864,9	0,0	
Passenger Car		1401 - 200	2684,4	492,8	6387,9	34568,0	61317,2	61145,8	153941,8	0,0	
Passenger Car		Oltre 2000	17369,0	9992,7	20859,2	32955,4	30585,6	16675,4	15586,1	0,0	
	Totale		20643,7	10213,5	24570,7	76520,1	146840,0	100143,7	197392,7	0,0	576324,4
Passenger	Ibrido-elet	Fino a 140	0,0	0,0	0,0	0,0	8,7	120,3	144,9	0,0	
Passenger Car		1401 - 200	1,0	0,0	0,0	0,0	25,4	610,4	1841,5	0,0	
Passenger Car		Oltre 2000	0,0	0,0	0,0	0,0	32,5	-9,8	1119,0	0,0	
Passenger Car		Non conte	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
	Totale		1,0	0,0	0,0	0,0	46,3	665,4	5933,5	0,0	6646,201
										TOT AV + I	1149966

Tabella 32: elaborazione parco veicolare 2022 secondo il tasso di crescita ipotizzato

Il parco veicolare finale dell'anno 2022 denota un aumento generale del numero di veicoli nel suo complesso. Questo aumento è decretato da diversi contributi il più significativo dei quali risulta essere quello derivante dalla nuova immatricolazione di veicoli appartenenti alle classi EURO V ed EURO VI, tra cui i più numerosi sono a GPL seguiti dai veicoli a gasolio e metano.

Con la nuova disposizione veicolare del 2022 a questo punto sono state calcolate le nuove emissioni relative all'NOx per tutte e quattro le strade considerate nello studio:

- **VIA A. BOCCONI**

ORA	Cumulativo Settimanale per 30 min	Nox
06:00:00	3360	186,1635
06:30:00	3360	186,1635
07:00:00	3660	202,7853
07:30:00	4380	242,6774
08:00:00	5430	300,8535
08:30:00	5130	284,2318
09:00:00	5040	279,2453
09:30:00	4260	236,0287
10:00:00	4200	232,7044
10:30:00	4140	229,38
11:00:00	4200	232,7044
11:30:00	4320	239,3531
12:00:00	4800	265,9479
12:30:00	4860	269,2722
13:00:00	5700	315,8131
13:30:00	4740	262,6235
14:00:00	3900	216,0826
14:30:00	3840	212,7583
15:00:00	3780	209,4339
15:30:00	3900	216,0826
16:00:00	4200	232,7044
16:30:00	4320	239,3531
17:00:00	4740	262,6235
17:30:00	4800	265,9479
18:00:00	4890	270,9344
18:30:00	5790	320,7996
19:00:00	5670	314,1509
19:30:00	4440	246,0018
20:00:00	4140	229,38
20:30:00	3720	206,1096
21:00:00	3360	186,1635
21:30:00	3360	186,1635
22:00:00	3360	186,1635
	CUMULATIVO	NOx
	143790	8024,977 g/100m

Tabella 33: Valori NOx cumulativi settimanali 2022 Via A. Bocconi

- **VIA MARTIRI DELLA RESISTENZA**

ORA	Cumulativo Settimanale per 30 min AR	Nox
06:00:00	3360	186,1635
06:30:00	3360	186,1635
07:00:00	3420	189,4879
07:30:00	4020	222,7313
08:00:00	5550	307,5022
08:30:00	5130	284,2318
09:00:00	4530	250,9883
09:30:00	4440	246,0018
10:00:00	4440	246,0018
10:30:00	4320	239,3531
11:00:00	4440	246,0018
11:30:00	4740	262,6235
12:00:00	4740	262,6235
12:30:00	4740	262,6235
13:00:00	5610	310,8266
13:30:00	5190	287,5561
14:00:00	4200	232,7044
14:30:00	4020	222,7313
15:00:00	4020	222,7313
15:30:00	4200	232,7044
16:00:00	4500	249,3261
16:30:00	4560	252,6505
17:00:00	5070	280,9074
17:30:00	5400	299,1914
18:00:00	5250	290,8805
18:30:00	5340	295,867
19:00:00	4770	264,2857
19:30:00	4590	254,3127
20:00:00	3720	206,1096
20:30:00	3480	192,8122
21:00:00	3360	186,1635
21:30:00	3360	186,1635
22:00:00	3360	186,1635
	CUMULATIVO	NOx
	145230	8046,585 g/100m

Tabella 34: Valori NOx cumulativi settimanali 2022 Via Martiri della Resistenza

- **VIA XXV APRILE**

ORA	Cumulativo settimanale per 30 min	NOX
06:00:00	3480	192,812207
06:30:00	3360	186,163511
07:00:00	3660	202,785253
07:30:00	4740	262,623524
08:00:00	5790	320,799621
08:30:00	5100	282,569614
09:00:00	4800	265,947872
09:30:00	4650	257,637001
10:00:00	4500	249,32613
10:30:00	4380	242,677433
11:00:00	4500	249,32613
11:30:00	4320	239,353085
12:00:00	4560	252,650479
12:30:00	4680	259,299176
13:00:00	4980	275,920918
13:30:00	4500	249,32613
14:00:00	4260	236,028737
14:30:00	4200	232,704388
15:00:00	4020	222,731343
15:30:00	4200	232,704388
16:00:00	4440	246,001782
16:30:00	4620	255,974827
17:00:00	4860	269,272221
17:30:00	4980	275,920918
18:00:00	4980	275,920918
18:30:00	4980	275,920918
19:00:00	4740	262,623524
19:30:00	4620	255,974827
20:00:00	4320	239,353085
20:30:00	3480	192,812207
21:00:00	3360	186,163511
21:30:00	3360	186,163511
22:00:00	3420	189,487859
	CUMULATIVO	NOx
	144840	8024,977 g/100m

Tabella 35: Valori NOx cumulativi settimanali 2022 Via XXV Aprile

- **GALLERIA RISORGIMENTO**

ORA	Cumulativo Settimanale per 30 min AR	Nox
06:00:00	3360	186,1635
06:30:00	3360	186,1635
07:00:00	3360	186,1635
07:30:00	4020	222,7313
08:00:00	5070	280,9074
08:30:00	4920	242,0725
09:00:00	4260	236,0287
09:30:00	4260	236,0287
10:00:00	4200	232,7044
10:30:00	3960	219,407
11:00:00	3900	216,0826
11:30:00	3900	216,0826
12:00:00	3960	219,407
12:30:00	4140	229,38
13:00:00	4860	269,2722
13:30:00	4530	250,9883
14:00:00	3660	202,7853
14:30:00	3660	202,7853
15:00:00	3720	206,1096
15:30:00	3660	202,7853
16:00:00	3840	212,7583
16:30:00	4200	232,7044
17:00:00	4620	255,9748
17:30:00	4980	275,9209
18:00:00	4830	267,61
18:30:00	4620	255,9748
19:00:00	4380	242,6774
19:30:00	4140	229,38
20:00:00	3780	209,4339
20:30:00	3360	186,1635
21:00:00	3360	186,1635
21:30:00	3360	186,1635
22:00:00	3360	186,1635
	CUMULATIVO	NOx
	133590	7371,137 g/100m

Tabella 36: Valori NOx cumulativi settimanali 2022 Galleria Risorgimento

Analizzando i dati finali ottenuti per il 2022 in relazione ai dati finali per il 2016 risulta chiara la diminuzione dell'inquinante totale emesso da parte dei veicoli in una settimana tipo. Entrando più nello specifico otteniamo i seguenti confronti tra 2016 e 2022:

CONFRONTO MOT 2016 2022		totale da lunedì a venerdì andata e ritorno 2022			
		MOT 2016	MOT 2022	DIFF NOX MOT [2016-2022]	DIFF % NOX MOT 2016-2022
		NOX [g/100m]	NOX [g/100m]	NOX [g/100m]	NOX %
	Via XXV Aprile	9036,950	8024,977	-1011,973	-11,198
	Via Martiri della Resistenza	9061,283	8046,585	-1014,698	-11,198
	Via Bocconi	8971,438	7966,801	-1004,637	-11,198
	Galleria Risorgimento	8296,271	7371,138	-925,134	-11,151

Tabella 37: Confronto emissioni NOx 2016-2022 Piazzale della Libertà in una settimana tipo

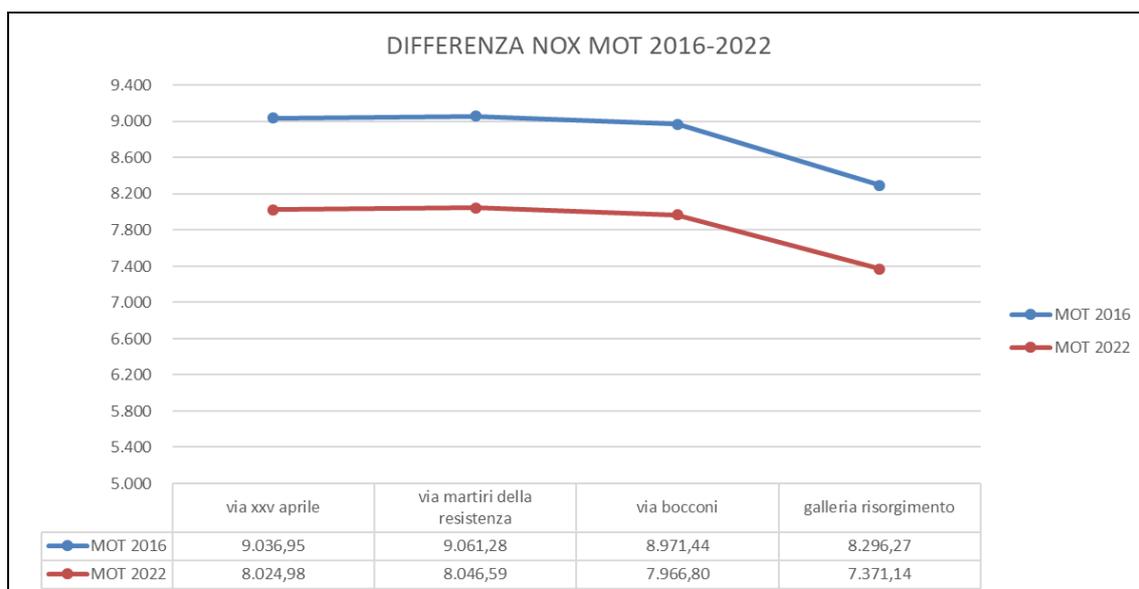


Tabella 38: Confronto grafico emissioni NOx 2016-2022 Piazzale delle Libertà in una settimana tipo

Da questi grafici, come dalle precedenti tabelle, è chiaramente riscontrabile la flessione dell'emissione di NOx dal 2016 al 2022 di un valore intorno all'11% e di una quantità intorno ai 1000 g/100m circa per ogni strada considerata, nell' arco di tempo di una settimana tipo. Questo è sicuramente imputabile alle radiazioni di veicoli appartenenti alle classi EURO 0, EURO I esponenzialmente più inquinanti dei veicoli di ultima generazione e allo stesso tempo all'immissione di nuove vetture esclusivamente di

classe EURO V ed EURO VI che, nonostante l'aumento del numero totale dei veicoli, avendo emissioni concretamente minori delle altre classi Euro non riescono a colmare le emissioni evitate con le radiazioni di veicoli obsoleti, tutto questo a beneficio dell'ambiente.

3.3 MODELLAZIONE RISULTATI ATTRAVERSO IL MODELLO AERMOD

Mediante il modello AERMOD è stato possibile eseguire delle simulazioni che rappresentassero in maniera fedele come si sviluppasse e diffondesse l'inquinamento da traffico veicolare nella zona presa in considerazione nel nostro studio per l'anno 2016 e come evolvesse lo stesso scenario all'anno 2022. Per una valutazione più completa ed accurata della dispersione dell'inquinante NOx sono state scelte due settimane ipotetiche dell'anno in periodi differenti che però fanno riferimento a due condizioni di PBL molto rappresentative, queste settimane sono state prese una in periodo primaverile e una in periodo autunnale, nei mesi marzo e ottobre.

3.3.1 INPUT MODELLO AERMOD

Le suddette simulazioni sono state avviate inserendo i seguenti dati input richiesti dal modello stesso:

- Dati meteo: I dati meteo sono stati inseriti automaticamente dal modello, tramite la funzione AERMET e sono della stazione metereologica di Camerano relativi all'anno 2015.
- Dati geomorfologici: Il dominio di calcolo può essere fornito tramite diversi algoritmi, ma è importante ricordare che tutti i file esclusi quelli dell'USGS, devono essere trasformati in formati riconoscibili dal modello, ovvero in formati

DEM (Digital Elevation Model), utilizzando AERMAP. Il dominio utilizzato fa riferimento ai dati SRTM1/SRTM3 con risoluzione a 30m.

- Dati relativi alle sorgenti: Le sorgenti possono essere di diversi tipi puntuali, areali, lineari, volumetriche e combinazioni di queste. Per le strade prese in considerazione è stata scelta una sorgente emissiva di tipo “linea area”, ovvero la sorgente si estende su tutta l’area superficiale della strada. Per quanto riguarda la galleria invece è stata adottata una scelta di sorgente areale; poiché l’aria inquinata viene rilasciata in corrispondenza degli imbocchi e dei condotti, dove il flusso d’aria longitudinale o trasversale viene scaricato dall’effetto pistone del traffico e/o dai sistemi di ventilazione. È importante specificare infatti che in prossimità di un imbocco o di un condotto di una galleria, i livelli di concentrazione degli inquinanti possono superare i livelli massimi ed avere quindi una massima dispersione in quel punto poiché tutto l’inquinamento proveniente dal traffico presente nella galleria viene emesso “puntualmente” all’imbocco e condotto stessi; a tal proposito è stata scelta per la galleria questo tipo di sorgente emissiva.

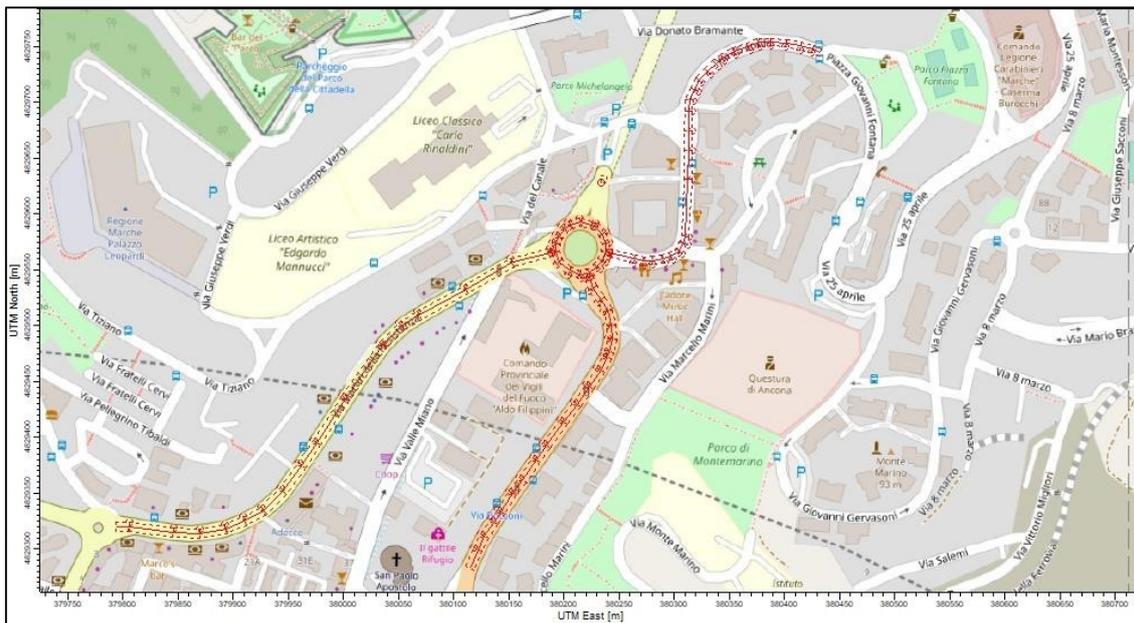


Figura 16: input sorgenti emissive modello AERMOD

Nell'area dedicata alla sorgente è stata inoltre utilizzata la funzione "building downwash". Questa funzione permette di inserire nel modello le dimensioni degli edifici limitrofi e interni all'area da analizzare, in termini di estensione in altezza e volume. Ciò permette di simulare in maniera più verosimile possibile il rilascio degli inquinanti e la loro diffusione in quanto essa risulta nella realtà ostacolata dagli edifici stessi e dai flussi di aria che si creano tra di essi, con conseguente modifica delle concentrazioni nell'area considerata e in prossimità delle strutture stesse presenti.



Figura 17: esempio di utilizzo della funzione Downwash e ricostruzione 3D degli edifici per l'area sottoposta a indagine

A questo punto si è passati all'inserimento dei dati relativi all'inquinante. per ogni tratto di strada considerato è stato inserito il quantitativo di emissione prodotta ottenuta tramite i procedimenti illustrati fin ora. Per svolgere un lavoro il più preciso possibile inoltre si è pensato di inserire un'ulteriore sorgente (di tipo linea-area) sull'area effettiva della rotatoria, dove si è poi applicato il fattore di emissione dato dalla media delle emissioni prodotte dalle quattro strade in quanto esse vi confluiscono totalmente. Per quanto riguarda le emissioni sulla sorgente areale della galleria è stato giudicato opportuno inserire come valore esattamente la metà dell'emissione prodotta dalla strada al suo interno supponendo un'uguale ripartizione tra imbocco e condotto.

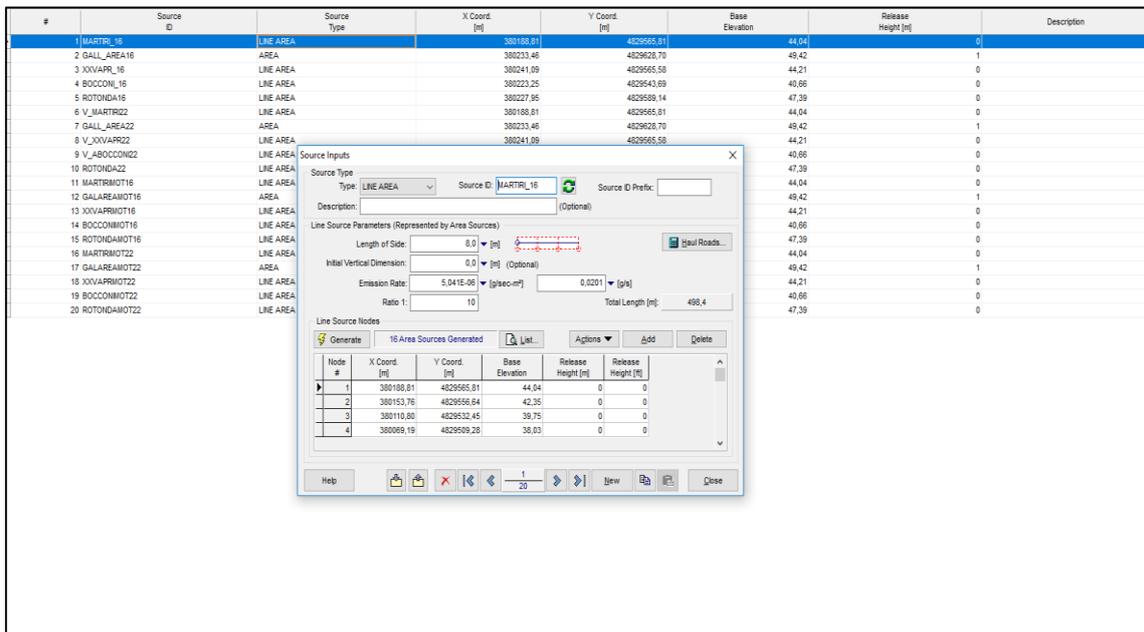


Figura 18: Source Inputs in AERMOD Line-Area

L'emission-rate richiesto nel modello è espresso in g/s , per cui dal valore di emissione calcolato precedentemente sull'estensione della strada (considerata di 100m), si è dovuti passare alla dipendenza da una variabile temporale. L'emission-rate ottenuto è quello relativo infatti ai secondi dei cinque giorni della settimana presi in considerazione (dal lunedì al venerdì). Sarà poi il modello che riporterà il valore di emissione in funzione dell'area della sorgente considerata e in funzione della sua lunghezza (estensione). Per quanto riguarda invece il valore di emissione per la sorgente areale l'emission-rate è stata inserita sia in funzione della variabile temporale, sia in funzione dell'area di riferimento calcolata ipoteticamente sulle dimensioni della Galleria Risorgimento e della strada sottostante e quindi inserita manualmente (dimensioni pari a circa 25 m²).

#	Source ID	Source Type	X Coord [m]	Y Coord [m]	Base Elevation	Release Height [m]	Description
1	MARTR16	LINE AREA	380188.81	4829565.81	44.04	0	
2	GALL_AREA16	AREA	380233.46	4829628.70	49.42	1	
3	XOVAR16	LINE AREA	380241.09	4829565.58	44.21	0	
4	BOCCON16	LINE AREA	380223.25	4829543.89	40.86	0	
5	ROTONDA16	LINE AREA	380227.95	4829589.14	47.39	0	
6	V_MARTR16	LINE AREA	380188.81	4829565.81	44.04	0	
7	GALL_AREA22	AREA	380233.46	4829628.70	49.42	1	
8	V_XOVAR22	LINE AREA	380241.09	4829565.58	44.21	0	
9	V_BOCCON22	LINE AREA			40.86	0	
10	ROTONDA22	LINE AREA			47.39	0	
11	MARTR16	LINE AREA			44.04	0	
12	GALAREAMOT16	AREA			49.42	1	
13	XOVAR16	LINE AREA			44.21	0	
14	BOCCONMOT16	LINE AREA			40.86	0	
15	ROTONDAMOT16	LINE AREA			47.39	0	
16	MARTR16	LINE AREA			44.04	0	
17	GALAREAMOT22	AREA			49.42	1	
18	XOVAR16	LINE AREA			44.21	0	
19	BOCCONMOT22	LINE AREA			40.86	0	
20	ROTONDAMOT22	LINE AREA			47.39	0	

Source Inputs

Source Type: AREA Source ID: GALL_AREA16

Description: (Optional)

Source Location

X Coordinate: 380233.46 [m]

Y Coordinate: 4829628.70 [m]

Base Elevation: 49.42 [m]

Release Height: 1 [m]

Source Release Parameters

Emission Rate: 9.23E-06 [g/sec-m]

Length of the X Side: 5.28 [m]

Length of the Y Side: 5.94 [m]

Orientation Angle from North: 0.0 [deg]

Initial Vertical Dimension: [m] (Optional)

Area [m²]: 31.4 [m²] 337.6 [m²]

Help [Icons] [Close]

Figura 19: Source Input in AERMOD Area

Come ultimo passaggio si è proceduti a dare in input le variabili sulle emissioni, infatti è stato ritenuto necessario associare un peso effettivo alle emissioni durante ogni specifica ora della giornata rendendo ancora più accurata l'interpretazione da parte di Aermod del profilo di traffico ottenuto inizialmente dall'analisi giornaliera (di seguito riportato):

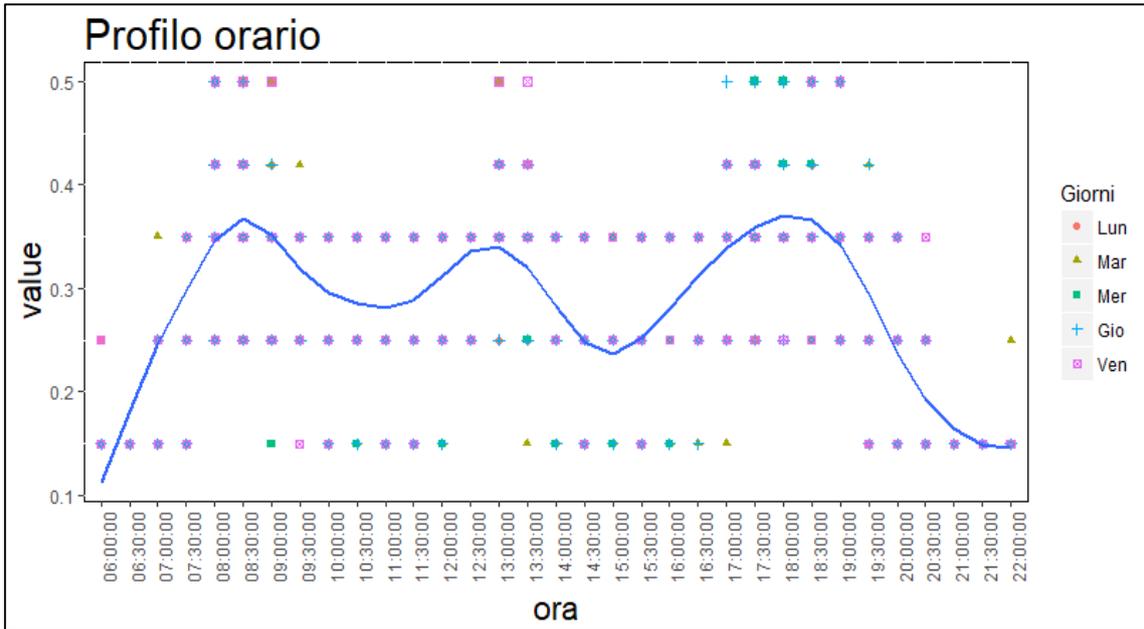


Figura 20: Profilo traffico orario

Variable Emission Factors - by Hour / Day (Scenario 2 (20))
The Emission Factor is a multiplier of the emission rate you specified for the source

Hour (Ending of Hour Period)	Day of the Week		
	Mon-Fri	Sat	Sun
01:00	0,1		0,1
02:00	0,1		0,1
03:00	0,1		0,1
04:00	0,1		0,1
05:00	0,1		0,1
06:00	0,59		0,1
07:00	1,23		0,1
08:00	1,74		0,1
09:00	1,77		0,1
10:00	1,48		0,1
11:00	1,38		0,1
12:00	1,53		0,1
13:00	1,67		0,1
14:00	1,38		0,1
15:00	1,18		0,1
16:00	1,38		0,1
17:00	1,67		0,1
18:00	1,67		0,1
19:00	1,67		0,1
20:00	1,18		0,1
21:00	0,84		0,1
22:00	0,74		0,1
23:00	0,1		0,1
24:00	0,1		0,1

Figura 21: Variable emission factor hour-day

In funzione ai calcoli effettuati e degli input da inserire in questa ultima fase abbiamo assegnato come peso per le emissioni dalle 22:30 alle 5:30 il valore 0,1 corrisponde a “mancanza di misurazione”, questo in quanto la funzione Google Traffic non riporta valori di traffico relativi agli orari 22-6. Per quanto riguarda gli altri fattori invece essi sono stati ricavati ricalcando proporzionalmente il profilo di traffico orario in relazione ai dati iniziali e al loro andamento. Ciò ci ha permesso di ottenere dal modello un output più realistico delle emissioni durante la giornata, in funzione del volume di traffico presente e non considerando i valori medi di traffico.

3.3.2 SCELTA INPUT TEMPORALE

L’obiettivo principale di questo studio è elaborare ed analizzare le emissioni di NOx sulla base di dati relativi all’interpretazione dei documenti M.O.T. per gli anni 2016 e 2022 in una settimana tipo. Per rendere ancora più veritiera e realistica l’analisi si è ulteriormente deciso di analizzare e valutare i risultati studiando due settimane appartenenti a periodi dell’anno differenti, sempre dal lunedì al venerdì e in ogni caso lontano dalle festività. Le settimane prese in considerazione sono state quelle relative al 2 - 6 Marzo e 5 - 9 Ottobre. Il perché di questa scelta risiede nel fatto di voler il più possibile dipingere quello che è il traffico tipico senza incorrere nell’errore di considerare situazioni di traffico anomale e offrire inoltre output differenti relazionati a condizioni metereologiche diverse in quanto le settimane considerate sono relazionate a due periodi stagionali opposti.

Capitolo 4

4 RISULTATI MODELLAZIONE AERMOD

In questo ultimo capitolo si procederà all'analisi ed al confronto tra i risultati ottenuti dalla modellazione di Aermid. Considereremo le due settimane oggetto dello studio (marzo e ottobre) sia per il 2016 sia per il 2022 e per ogni settimana forniremo i dati relativi alla modellazione in due Output: 24H e PERIOD.

Per quanto riguarda il PERIOD l'Output riguarda le emissioni mediate nell'intera settimana intesa come periodo di osservazione.

Per quanto riguarda il 24H, ossia la modellazione della diffusione dell'inquinante nelle 24 ore è necessario specificare che questa sia valutata come valore medio nelle 24 ore nel periodo osservato con l'applicazione di un percentile del 95% e come media nell'intero periodo dei cinque giorni monitorati.

4.1 OUTPUT 2016

In riferimento alle emissioni calcolate con i dati elaborati mediante i documenti M.O.T. relativi al 2016, il modello espone i seguenti output:

- **OUTPUT 24H**

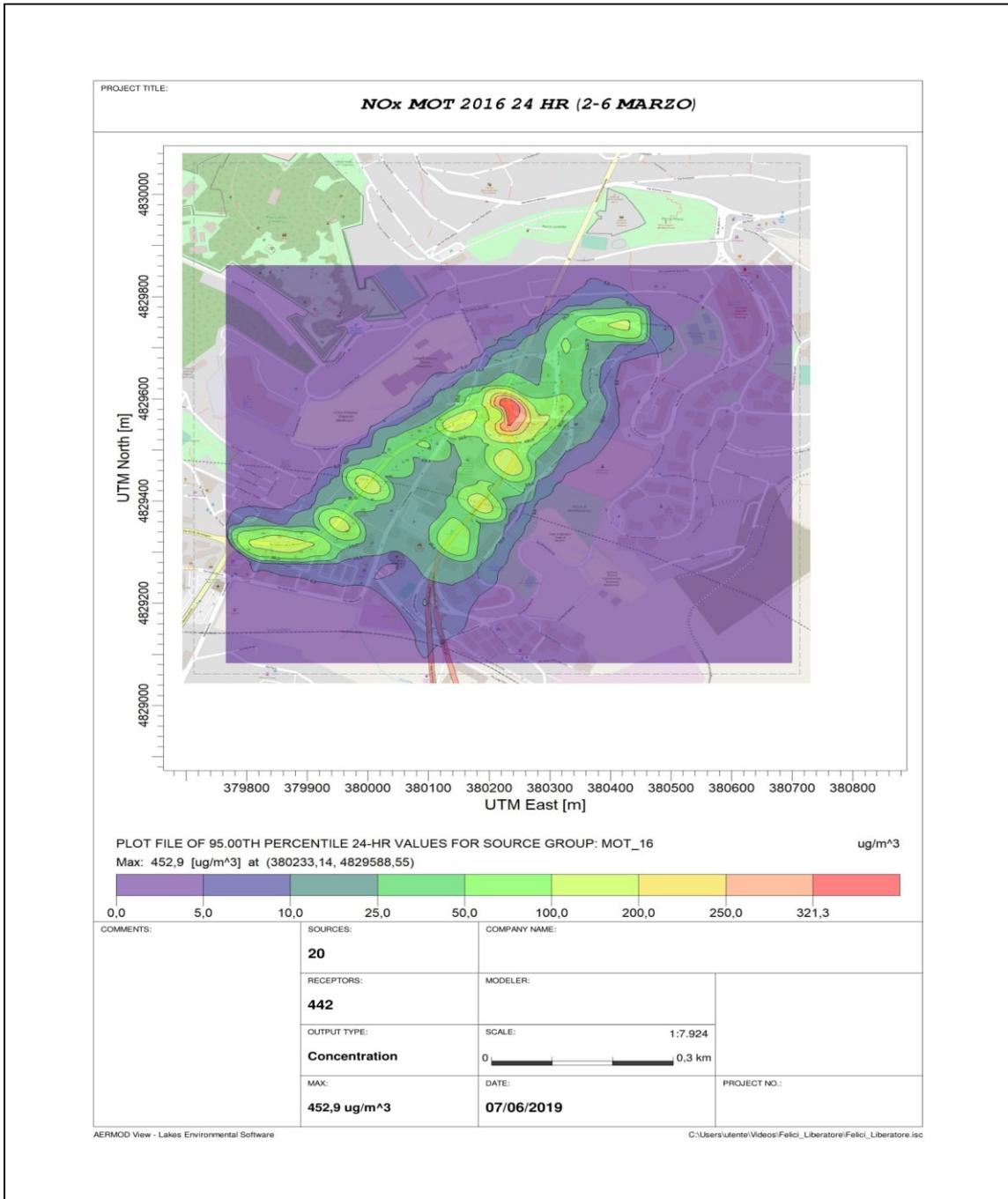


Figura 22: Output Aermot NOx M.O.T. 24H 2-6 MARZO 2016

Dall'Output nel valore medio alle 24 ore la dispersione di inquinante presenta un picco di concentrazione nei pressi della rotatoria adiacente alla Galleria Risorgimento con il valore di 452,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Questo è sicuramente dovuto all'insistenza in questa area di un importante traffico e alla sovrapposizione di spot emissivi quali quelli della rotatoria e l'uscita di Galleria Risorgimento, nonché della presenza elevata di edifici nelle zone limitrofe che sicuramente portano ad un ristagno di inquinante diffuso impedendone o comunque riducendone il trasporto derivante dalla presenza di vento. Nelle restanti aree invece vediamo che la dispersione dell'inquinante si assesta quasi totalmente su una media tra i 10 e i 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ con varie zone di maggior dispersione, tra i 200 e i 250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ in spot isolati, comunque sempre localizzati sopra la carreggiata stradale e dovuti forse proprio alla morfologia del terreno. Rileviamo come criticità solamente il valore di picco in quanto esso supera con un percentile al 95% i valori massimi prescritti da normativa. Il fatto che questa zona sia interessata da questo tipo di inquinamento anche se non troppo oltre i limiti rende necessari ulteriori studi per decretare se sia una conseguenza legata alla metodologia utilizzata nella ricerca, se sia dato da particolari condizioni meteorologiche o se invece sia totalmente attribuibile al trasporto veicolare e alle relative emissioni.

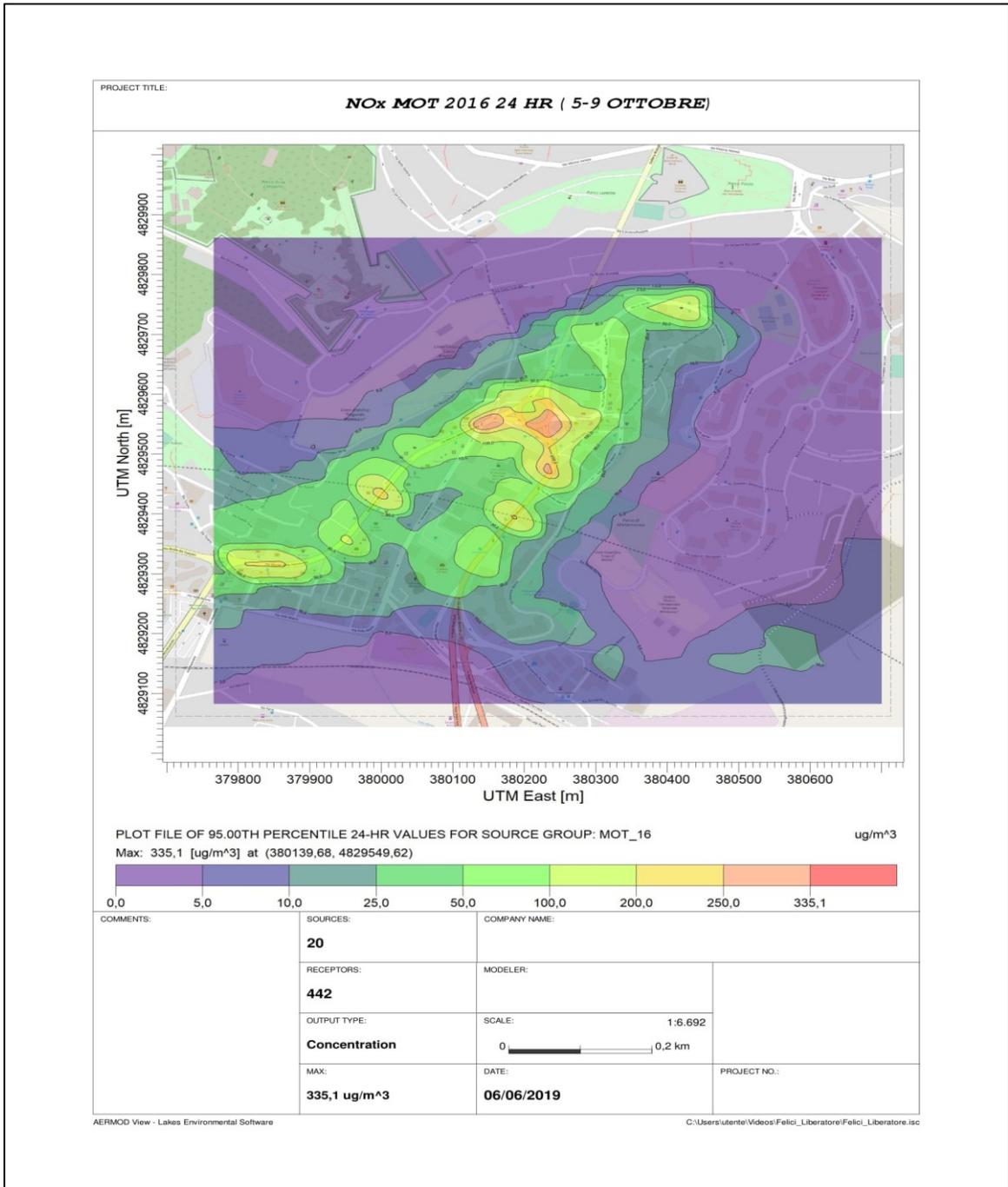


Figura 23: Output Aermot NOx M.O.T. 24H 5-9 OTTOBRE 2016

Nella settimana di Ottobre il valore massimo di concentrazione è molto minore che nei giorni 2-6 Marzo ed è pari a 335,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ è da evidenziare però al contempo che la dispersione sia leggermente diversa in quanto presenta punti di apprezzabile diffusione

anche in zone non lontane dalla rotatoria con valori intorno ai 200/250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ più precisamente nelle zone di immissione/uscita di Via Alessandro Bocconi e Via Martiri della Resistenza e valori di 10/100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ nelle restanti aree interessate dalla modellazione. Tale situazione è attribuibile alla presenza di diversi fenomeni di trasporto e diffusione stagionali non che alla morfologia del terreno e al profilo altimetrico della zona. A differenza della settimana di Marzo il valore di picco risulta rispettare ampiamente la normativa come anche il resto dell'area presa in considerazione anche se l'area interessata da apprezzabile concentrazione risulta essere in ogni caso maggiore. Mediante la funzione Google Earth (GOOGLE LLC) di Aermid, è possibile notare con più dettaglio quale sia l'andamento della dispersione in funzione della morfologia e degli edifici presenti per metterla più facilmente in relazione con i dati precedentemente acquisiti.



Figura 24: Applicazione Google Earth all'Output Aermid NOx M.O.T. 24H 2-6 MARZO 2016



Figura 25: Applicazione Google Earth all'Output Aermod NOx M.O.T. 24H 5-9 OTTOBRE 2016

- **RISULTATI PERIOD**

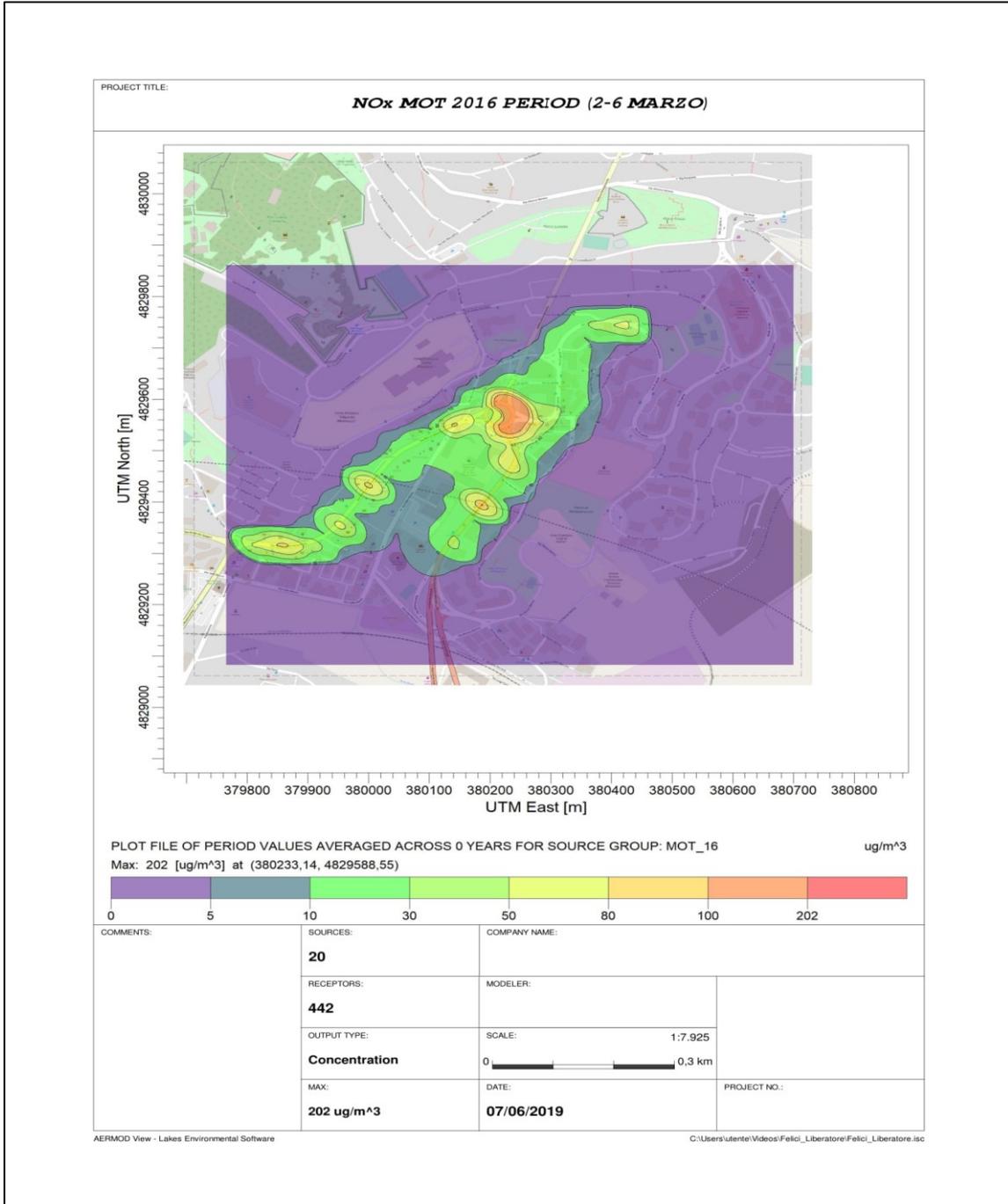


Figura 26: Output Aermod NOx M.O.T. PERIOD 2-6 MARZO 2016

Per gli Output PERIOD di Aermid le emissioni come detto all'inizio sono mediate nell'intera settimana, intesa come periodo di osservazione, per questo motivo i valori riscontrati risultano decisamente più bassi. Nel periodo considerato dei 5 giorni monitorati infatti la diffusione di NOx ha come valore massimo 202 µg/m³ e questa si trova principalmente nell'area della rotatoria adiacente la Galleria Risorgimento; la restante parte dei valori si assesta su un range tra 10 e 80 µg/m³ ad eccezione di qualche piccola zona lontano dal centro dell'area di indagine che presenta valori più alti. Questo accade in presenza di ostacoli come grandi edifici o in presenza di una modifica morfologica della zona che può causare una diversa dispersione dell'inquinante. In generale però la situazione risulta nella norma con valori ampiamente accettabili.

Per quanto riguarda il PERIOD di Ottobre 2016 il risultato della modellazione risulta il seguente:

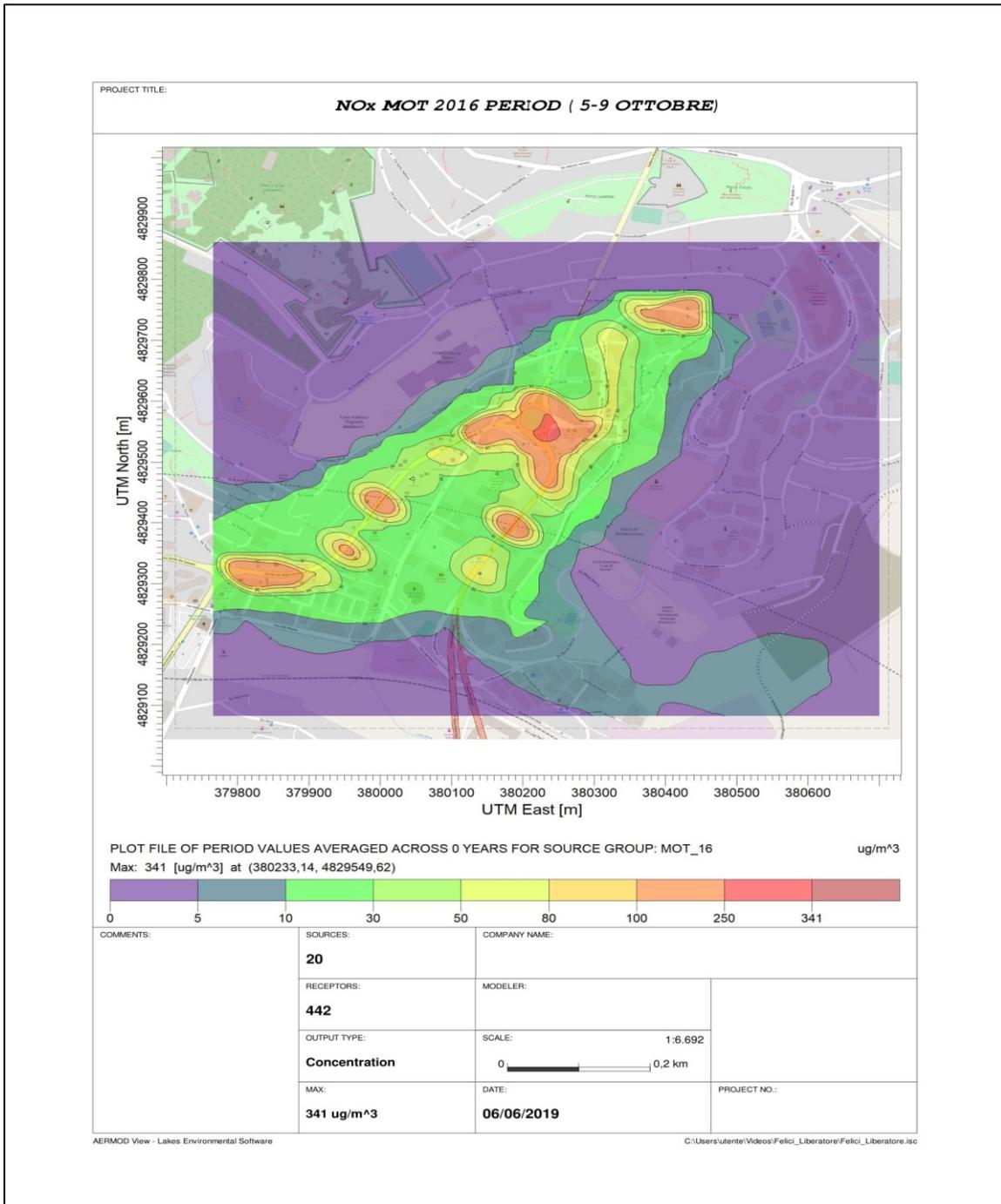


Figura 27: Output Aermom NOx M.O.T. PERIOD 5-9 OTTOBRE 2016

Il valore massimo stavolta è pari a 341 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ed è presente nei pressi del Piazzale della Libertà, valori comunque alti ma non di picco (100-250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) si assestano sporadicamente in altre parti del grafico al di fuori delle quali la dispersione media si trova per la maggior parte tra 30 e i 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Risulta particolarmente interessata da un range apprezzabilmente elevato tutta quanta la zona di Piazzale della Libertà con stralci di concentrazione che si diramano in direzione delle strutture veicolari che qui confluiscono. Si sottolinea la presenza di ulteriori 4 zone a concentrazione interessante distribuite in modo disomogeneo all'interno della nostra area, nella fattispecie sulle strutture veicolari che convogliano nella rotatoria, in special modo in Via Martiti Della Resistenza. Ciò che salta all'occhio è la maggiore area interessata da concentrazioni maggiori, questo infatti è il motivo per cui questa modellazione si differenzia notevolmente dalla settimana di Marzo. Uno dei principali responsabili di questa differenza è la diversità del periodo stagionale preso in esame. Esso infatti può decretare in Ottobre un maggior trasporto e una maggior diffusione dell'inquinante lontano dalla zona di picco centrale a favore delle zone limitrofe. Questi fenomeni meteo-climatici vengono considerati nel modello Aermod attraverso i dati meteo registrati con AERMET relativi a cambiamenti di vento e pressione nei diversi periodi dell'anno. Oltre ciò risulta probabilmente coinvolto nell'incongruenza il diverso rapporto che intercorre tra cittadini e mezzo di trasporto in periodo autunnale (sono necessari più spostamenti in auto per raggiungere il luogo desiderato) e periodo primaverile (generalmente più mite e stabile). Gli stessi Output sono stati estrapolati in Google Earth, questo ci consente di apprezzare maggiormente quanto constatato fin ora:

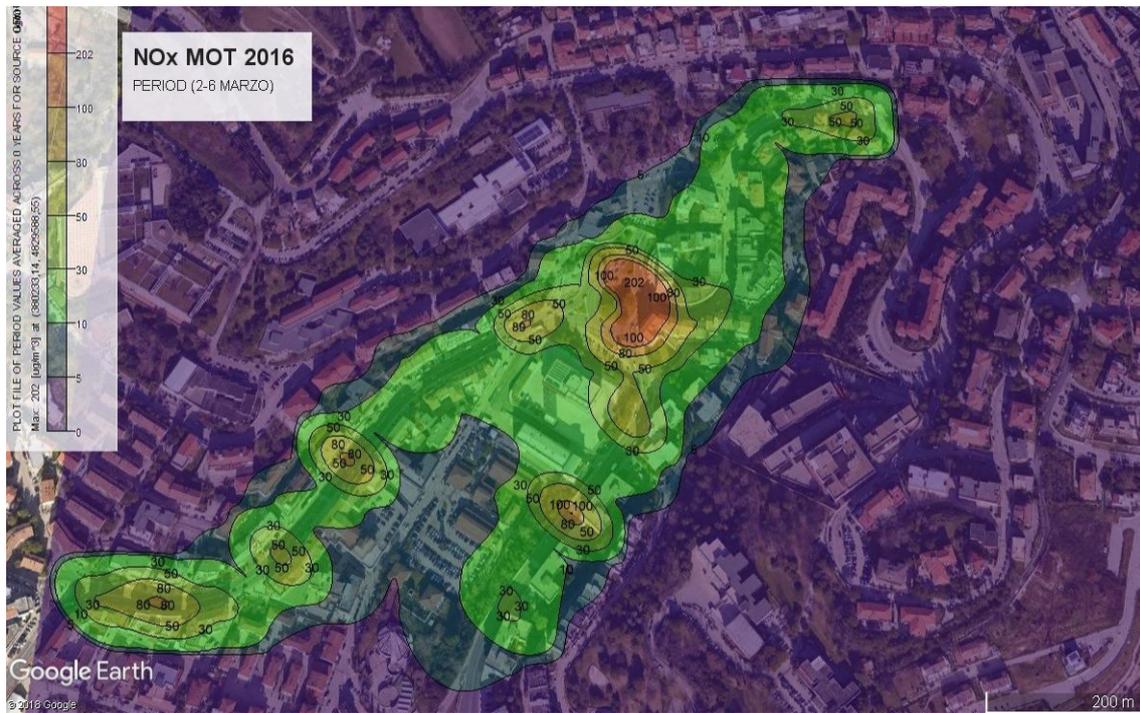


Figura 28: Applicazione Google Earth all'Output Aermod NOx M.O.T. PERIOD 2-6 MARZO 2016

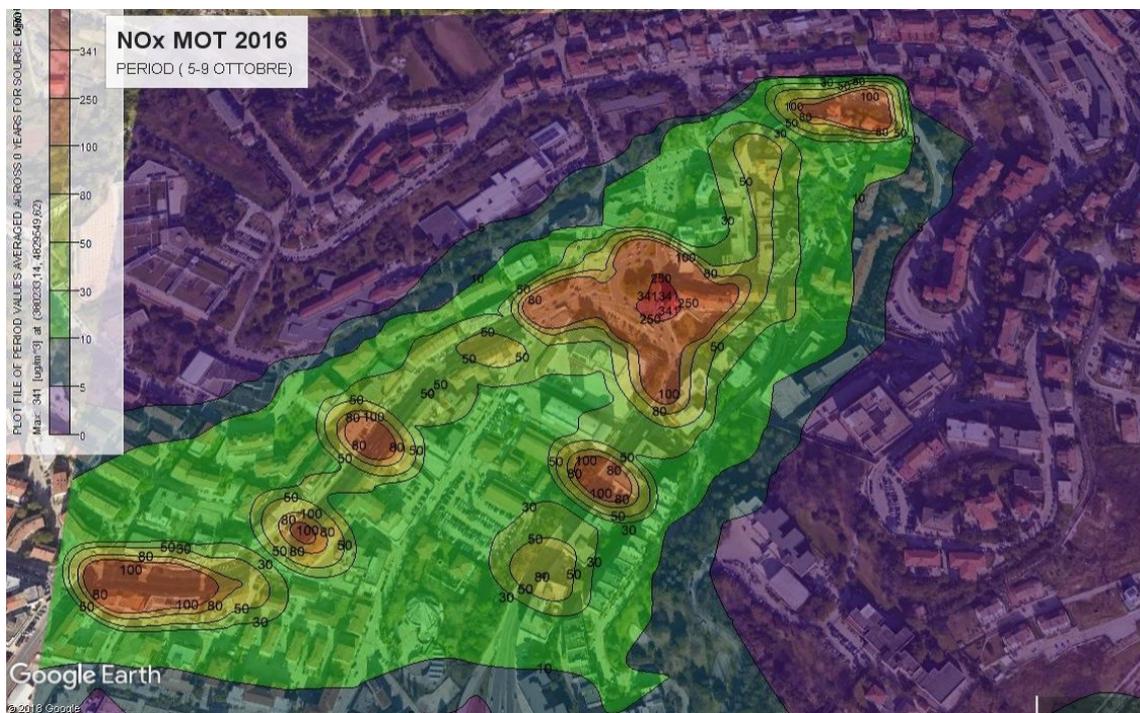


Figura 29: Applicazione Google Earth all'Output Aermod NOx M.O.T. PERIOD 5-9 OTTOBRE 2016

In generale si può dire che ad eccezione del valore mediato nel periodo 5-9 Ottobre ($341 \mu\text{m}/\text{m}^3$) rispetto ai 24H, le concentrazioni mediate nell'intera fase di osservazione (PERIOD) risultano più basse di quelle mediate alle 24 ore (24H), con valori massimi che rientrano nei limiti legislativi e giustificabili in relazione alla posizione in cui si registrano, ovvero all'uscita della galleria e nei pressi della rotatoria dove con il modello è stata inserita un'ulteriore fonte emissiva. Oltremodo i limiti imposti sulle emissioni da traffico veicolare fanno riferimento alla sola componente NO_2 ($\text{NO}_x = \text{NO} + \text{NO}_2$) di tutto l'inquinante NO_x , per cui valori alti come quello ottenuto in questo output risultano largamente accettabili. Da approfondire invece è il valore riscontrato nella settimana di Marzo di $451,9 \mu\text{m}/\text{m}^3$ in quanto questo rientra nella soglia di allarme della normativa. Bisogna quindi approfondire se esso sia da attribuire ad un errore di calcolo o di metodologia nel nostro studio o se sia davvero riscontrabile realmente in loco. Risulta interessante notare come nel 24H l'area risulti maggiormente inquinata nella settimana di Marzo mentre nel Period la situazione si inverte a discapito di Ottobre.

INQUINATE	PERIODO MEDIAZIONE	SOGLIA ALLARME	LIMITE	SUPERAMENTI IN UN ANNO
NO_2 (salute umana)	Media oraria	$400 \mu\text{m}/\text{m}^3$ per 3h	$200 \mu\text{m}/\text{m}^3$	18
	Media annuale		$40 \mu\text{m}/\text{m}^3$	

Tabella 39: Limiti dei livelli di concentrazione stabiliti dal D.lgs. 155/2010, NO_2

4.2 OUTPUT 2022

Dopo aver elaborato il parco veicolare della Regione Marche per il 2022 e dopo aver calcolato il relativo inquinamento prodotto nella zona di Piazzale della Libertà, gli Output restituiti da Aermot per l'anno considerato risultano i seguenti:

- **RISULTATI 24 HR**

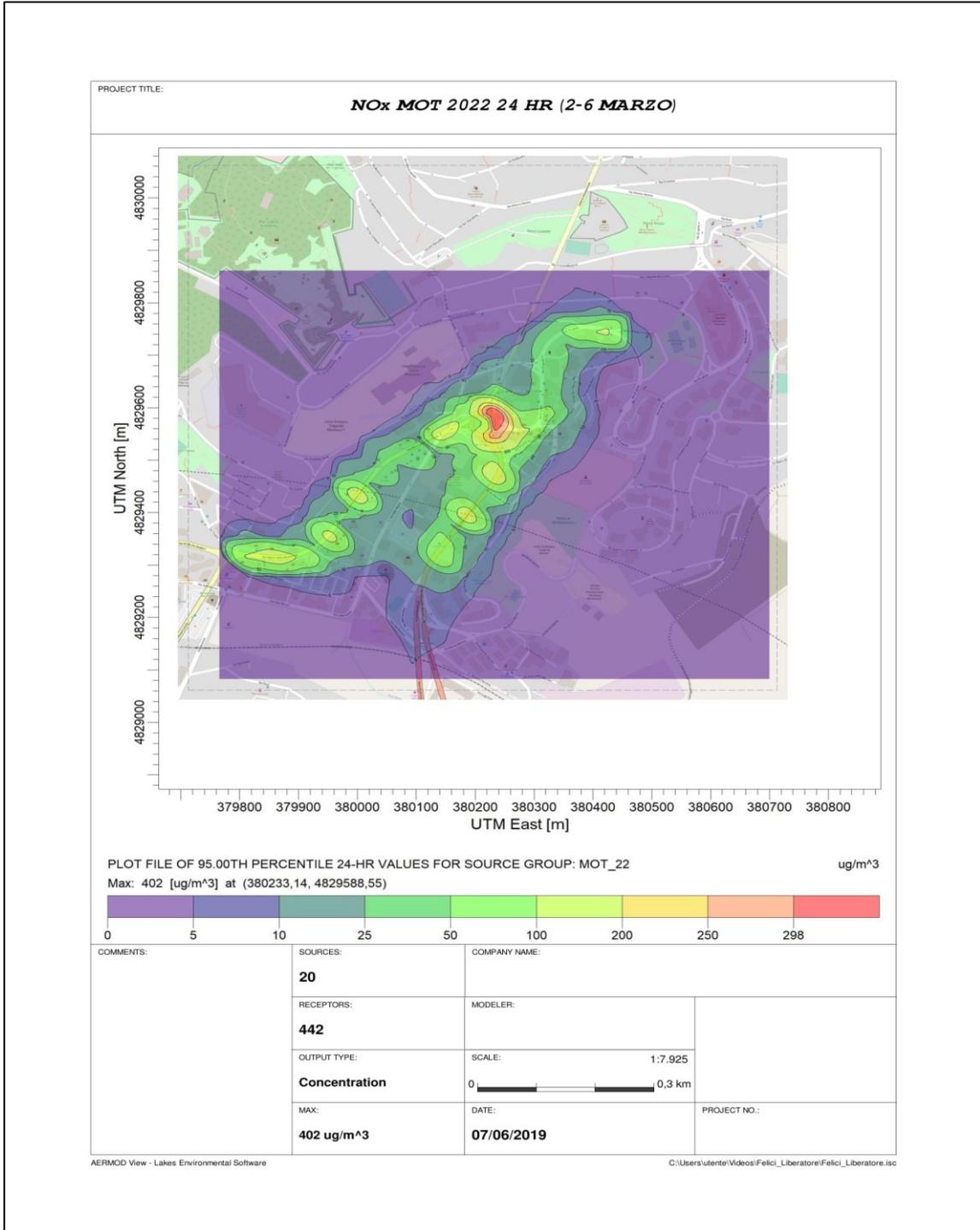


Figura 30: Output Aermod NOx M.O.T. 24H 2-6 MARZO 2022

Nella settimana dal 2 al 6 marzo dell'anno 2022 l'andamento della dispersione di NOx presenta un valore massimo pari a 402 µg/m³ che come anche per l'anno 2016 è situata esattamente sopra area di Piazzale della Libertà, ossia fuori dalla galleria e sopra la rotatoria, spot particolarmente interessato dal traffico veicolare entrante ed uscente dalla città. La restante parte della dispersione interessa aree decisamente maggiori ma queste, presentano contemporaneamente valori che vanno da 10 a 100 µg/m³ (quindi ampiamente nella norma) con qualche piccola zona a valori intorno ai 200 µg/m³ forse dovuti alla presenza di qualche particolare morfologia del terreno e degli edifici che potrebbe aver causato un ristagno maggiore della quantità di inquinante che in altre zone sembrerebbe discretamente più aerotrasportato.

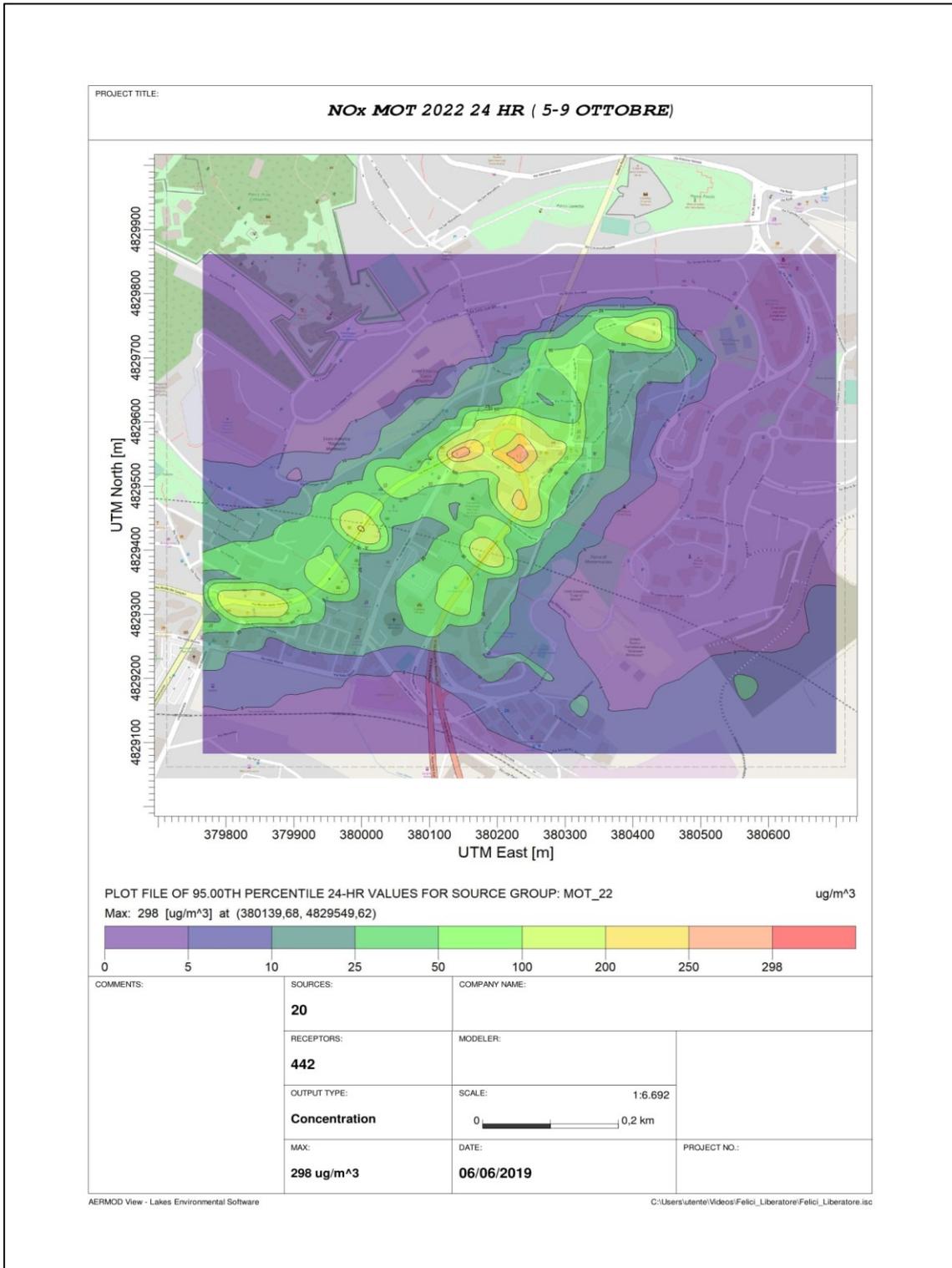


Figura 31: Output Aermot NOx M.O.T. 24H 2-6 OTTOBRE 2022

Per la settimana 2-6 Ottobre dell'anno 2022 la modellazione mostra un picco massimo di 298 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sempre nell'area circoscritta a Piazzale della Libertà e appunto sopra la rotatoria mentre non lontano l'area interessata dal picco la diffusione presenta spot massimi di 200/250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ questa volta localizzati in particolare sopra la zona di immissione/uscita dalla rotatoria insistenti su Via Alessandro Bocconi e Via Martiri della Resistenza. Per quanto riguarda il resto, la diffusione si mantiene costante tra i 25 e i 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. È importante notare che il picco di questa modellazione, relativa ad Ottobre sopra la rotatoria risulta molto minore di quello rilevato nella settimana di Marzo 2022 (come anche nella modellazione 2016). Questo potrebbe essere imputabile tra le altre cose anche alla variabilità metereologica e climatica conseguente nello specifico alla transizione stagionale dall'estate verso l'inverno che potrebbe aver creato instabilità e quindi fenomeni metereologici uniti a grandi spostamenti di masse d'aria. Pur essendo il picco minore di quello di Marzo infatti, l'area interessata dalle concentrazioni non di picco, risulta comunque maggiore rispetto ad Ottobre, ciò potrebbe in qualche modo testimoniare un maggior ristagno generale dell'inquinante dovuta a una sua maggior presenza ma al contempo anche una maggiore distribuzione dello stesso in funzione dell'instabilità del meteo.

- **RISULTATI PERIOD**

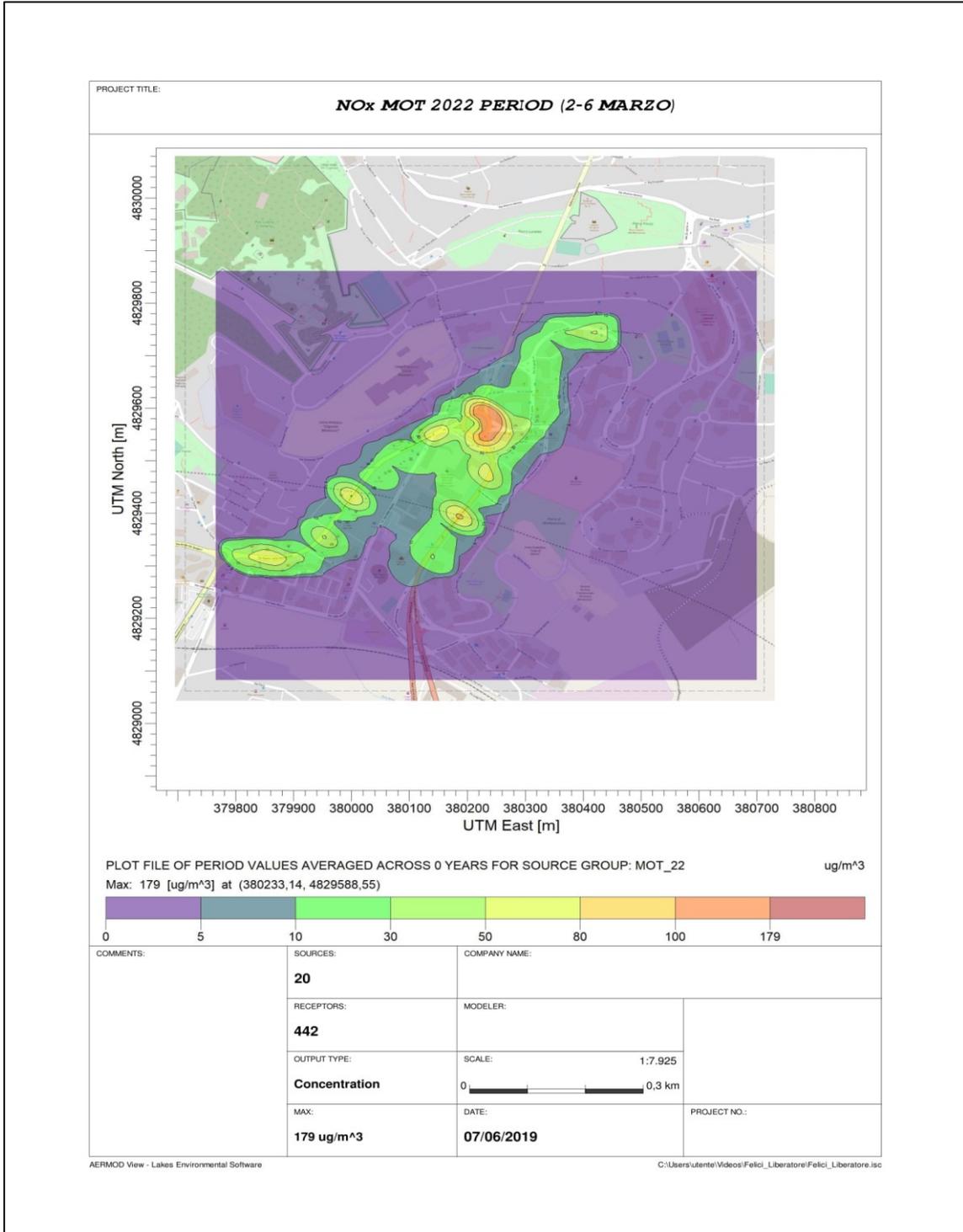


Figura 32: Output Aermid NO_x M.O.T. PERIOD 2-6 MARZO 2022

Nella mediazione delle emissioni relative al periodo dei cinque giorni dal 2 al 6 Marzo 2022 il picco massimo registrato è pari a 179 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ nell'area localizzata come al solito nei pressi della rotatoria ed uscita della Galleria Risorgimento con qualche altro piccolo spot simile in Via Martiri della Resistenza e Via Alessandro Bocconi seppur queste siano di piccolissima area. Valori tra i 50 e gli 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sono riscontrabili intorno a questi piccoli spot puntuali mentre nel resto dell'area considerata ci si mantiene costanti tra i 10 e i 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ abbondantemente entro i limiti imposti dalla normativa. È importante sottolineare che l'area interessata dagli inquinanti in maniera rilevante risulti decisamente ristretta. Questo potrebbe essere relazionato ad un'atmosfera più stabile o ad un minor utilizzo veicolare da parte della popolazione proprio in relazione a questa situazione meteo climatica. Da notare è inoltre che gli spot a più elevata concentrazione dopo quello di Piazzale della Libertà giacciono in corrispondenza di semafori (Via Alessandro Bocconi e Via Martiri della Resistenza) o in prossimità di altre rotatorie (Via Martiri della Resistenza).

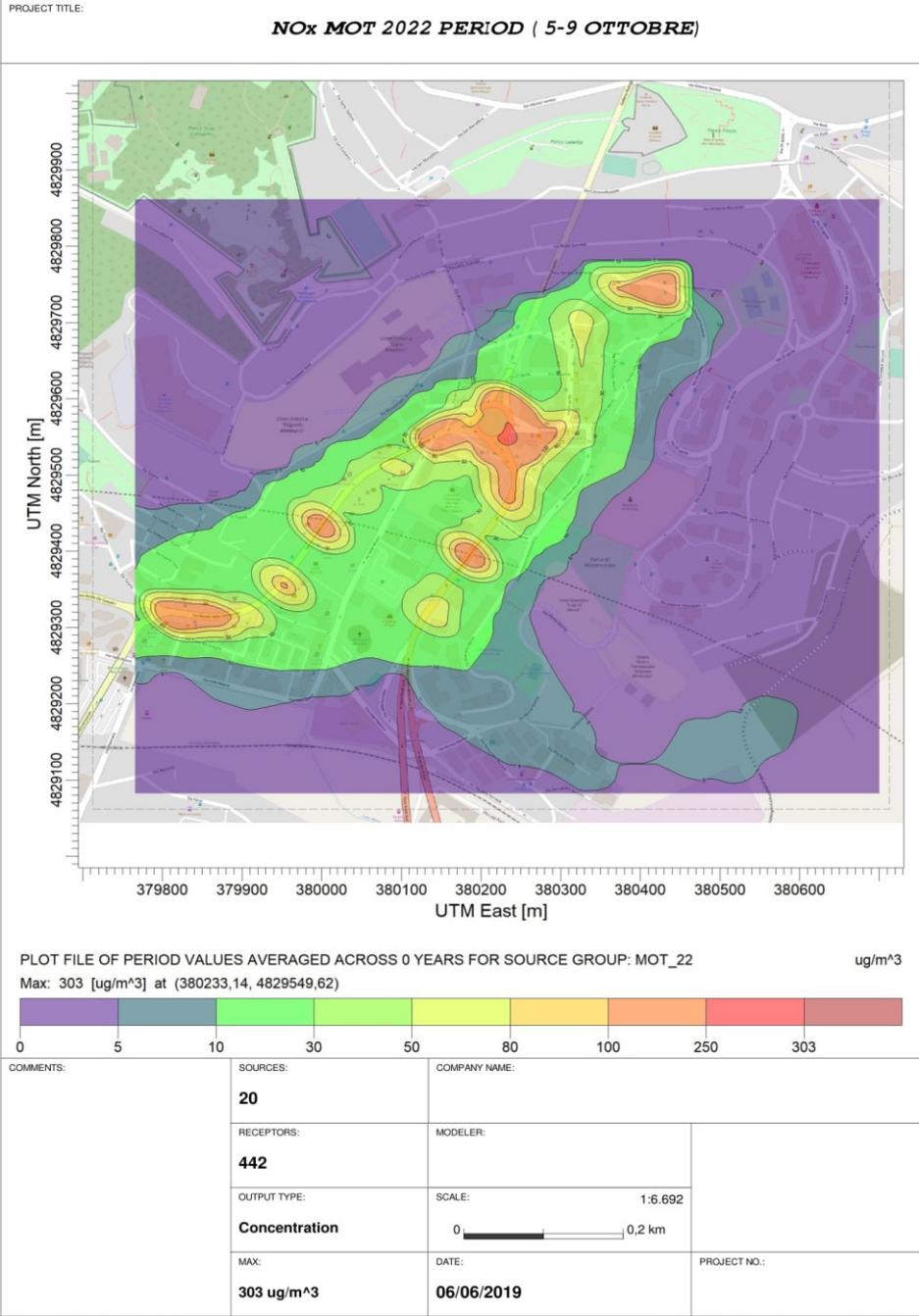


Figura 33: Output Aermid NOx M.O.T. PERIOD 2-6 OTTOBRE 2022

La settimana dal 5 al 9 Ottobre 2022 presenta invece una dispersione che si differenzia notevolmente dal PERIOD di Marzo. La dispersione di NOx infatti si muove in maniera più importante verso le strade che confluiscono nella rotatoria, dove si registra il picco massimo di 303 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Si riscontrano però valori alti intorno ai 100/200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ non solo nell'intorno dell'area di picco ossia all'imbocco della galleria e sopra Piazzale della Libertà ma anche in zone abbastanza differenti lungo le strade prese in esame. È importante sottolineare che queste maggiori concentrazioni potrebbero essere favorite da aree di maggior sosta o fermata degli autoveicoli magari legate alla presenza di semafori o rotatorie secondarie oltre che dalla morfologia del terreno e dal posizionamento e grandezza degli edifici circostanti. Al di fuori di queste zone la maggior parte della dispersione si assesta tra i 10 e gli 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ con un'elevata area totale interessata rispetto alla settimana di Marzo. Questo testimonia quanto ricercato con la presa in considerazione di due settimane in periodi dell'anno differenti ossia la differenza meteorologica e il suo influsso sulla dispersione degli inquinanti.

Il dato di Output estrapolato in Google Earth mostra in maniera più realistica la dispersione dell'inquinante in esame sul territorio e mostra in maniera più chiara quanto detto sopra, ossia come la differenza di estensione dell'area interessata da un determinato tipo di concentrazione vada ricercata in particolari cambiamenti di vento e pressione atmosferica registrati in quel periodo (oltre che dal tipo di morfologia del territorio), come risulta d'altronde dall'Output della stessa settimana dell'anno 2016. In riferimento alla normativa vigente la registrazione di questi dati risulta ad ogni modo accettabile e in ogni caso il valore massimo risulta comunque ristretto all'area interessata adiacente alla galleria e alle immissioni veicolari delle strade nella rotatoria stessa, dove si genera per l'appunto maggior concentrazione di inquinanti.



Figura 34: Applicazione Google Earth all'Output Aermod NOx M.O.T. PERIOD 2-6 MARZO 2022

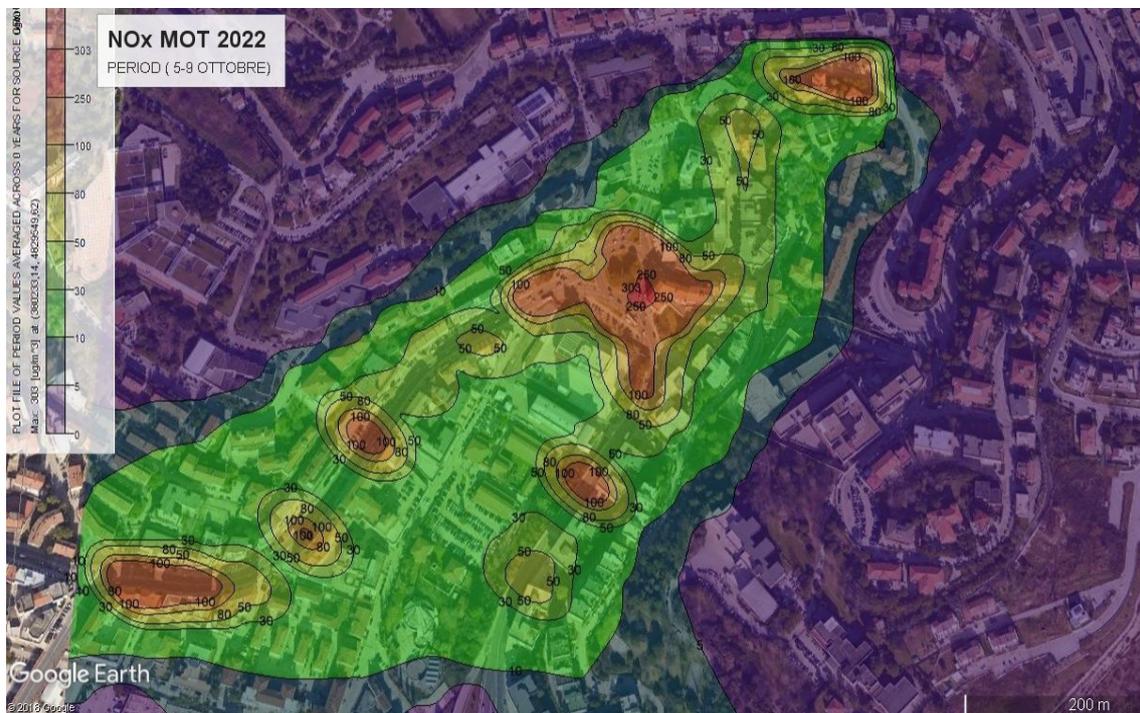


Figura 35: Applicazione Google Earth all'Output Aermod NOx M.O.T. PERIOD 5-9 OTTOBRE 2022

4.3 CONFRONTO 2016-2022

In linea generale l'andamento della dispersione di NOx nei due anni presi in esame è pressoché simile e mostra valori accettabili dal punto di vista normativo eccetto per valori massimi nei 24H di Marzo di entrambi gli anni. Analizzando i risultati della modellazione Aermid delle settimane in esame e confrontandoli tra l'anno 2016 e 2022 si paragoneranno ora gli Output 24H e PERIOD.

La settimana di Marzo, nelle 24 ore (24H), mostra una dispersione minore dell'inquinante nell'anno 2022 rispetto al 2016 a livello di estensione e concentrazione. Il valore massimo di concentrazione di NOx pari a 452 µg/m³ nel 2016 cambia nel 2022 e scende, seppur esiguamente a 402 µg/m³. Lo stesso tipo di situazione si ritrova anche nel periodo considerato in Ottobre dove il picco massimo è 335 µg/m³ nel 2016 e 298 µg/m³ nel 2022. La nuvola di inquinamento intorno questi picchi rimane pressoché simile in quanto ad estensione e contemporaneamente si discosta di poco in termini di concentrazioni. La motivazione di questi cambiamenti e del fatto che essi siano in ogni caso in decrescita, area di incidenza e concentrazione, è direttamente attribuibile alla variazione del parco veicolare. Infatti, nonostante esso sia in generale cresciuto, ha registrato esclusivamente nuove immatricolazioni di veicoli almeno EURO VI e allo stesso tempo sono stati radiati maggiormente veicoli obsoleti che presentavano in ogni caso fattori di emissione decisamente più alti dei veicoli immessi. In entrambi i casi non si riscontra un cambiamento radicale di scenario ma si verifica comunque un miglioramento generale dello stato di "salute" dell'area interessata e una diminuzione quantitativa apprezzabile della presenza nelle 24H dell'inquinante NOx.

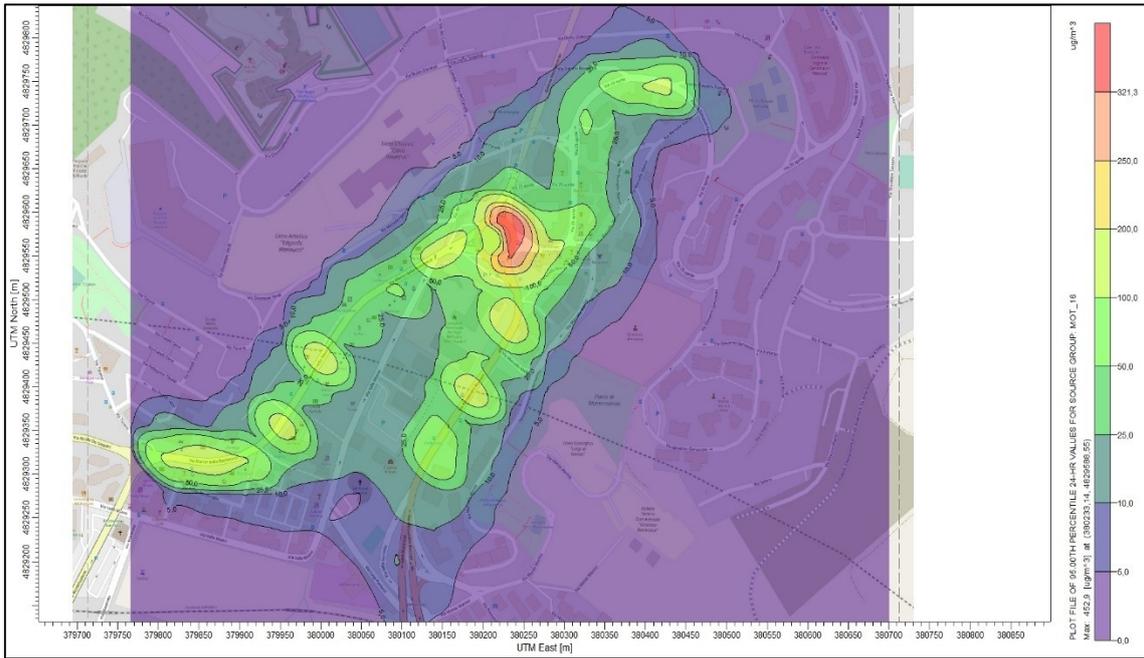


Figura 36: Output 24H MARZO 2016

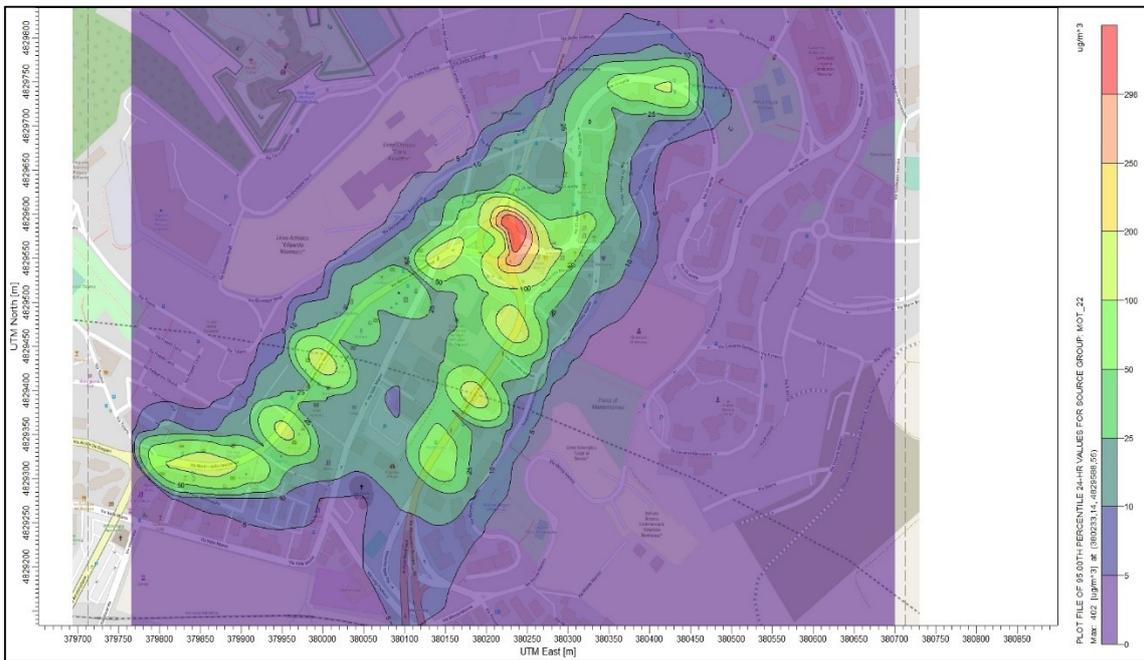


Figura 37: Output 24H MARZO 2022

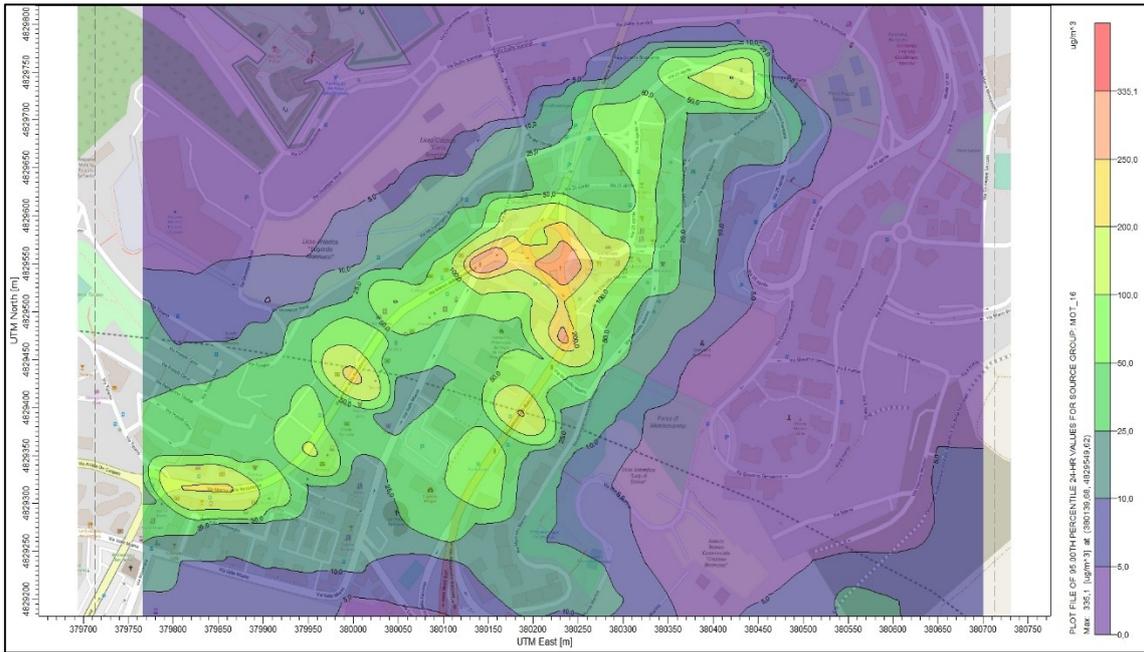


Figura 38: Output 24H OTTOBRE 2016

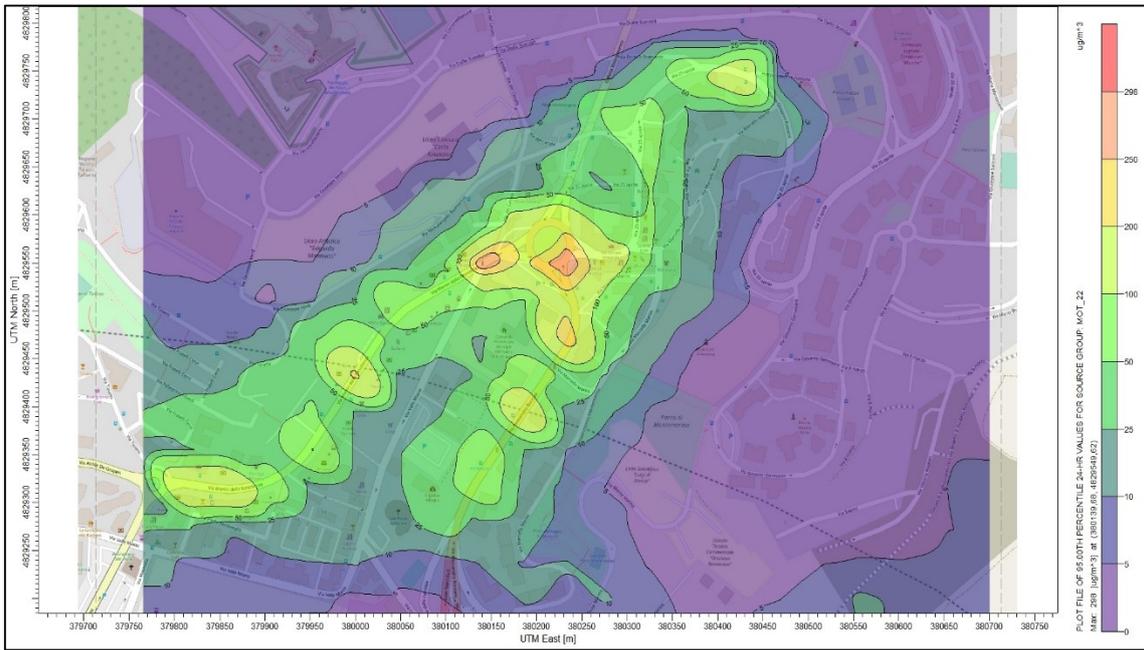


Figura 39: Output 24H OTTOBRE 2022

Le simulazioni relative alla mediazione sull'intero periodo dei cinque giorni (PERIOD) mostrano leggere variazioni come quelle rilevate nelle 24 ore (24H) e anche qui l'anno 2016 presenta valori più alti rispetto al 2022.

Riguardo al periodo 2-6 Marzo si ha un picco massimo di 202 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ nel 2016 e scende a solo 179 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ nel 2022 con area interessata del tutto simile nei due anni. Di particolare interesse invece è il confronto tra gli Output di Ottobre. Rispetto ai valori osservati nei giorni di Marzo presenta valori soglia vicini a quelli osservati nell'Output 24H. Il valore massimo osservato nell'anno 2016 nel PERIOD simulato nei cinque giorni di Ottobre è infatti pari a 341 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ mentre quello nello stesso periodo del 2022 è di 303 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (quello per il 24H si assesta intorno ai 300). Per quanto riguarda gli spot a più alta concentrazione localizzati sulle varie vie, oltre che sopra Pizzale della Libertà e all'uscita della Galleria, è interessante come comunque essi si dislochino sempre in corrispondenza degli stessi punti denotando quindi la presenza di situazioni particolari sia in quanto a morfologia della zona e presenza di edifici ma anche di situazioni di maggior stazionarietà o rallentamento del traffico stesso. In relazione alla concentrazione maggiormente diffusa non si denotano radicali cambiamenti ma si rileva la particolare somiglianza tra gli Output. Anche qui è interessante ribadire quanto detto in precedenza per gli Output 24H, sull'ampiezza dell'area interessata e sul valore delle concentrazioni; infatti, pur non essendoci una radicale differenza vi è in ogni caso una diminuzione in termini di concentrazioni e una altrettanto simile diminuzione in termini di area. La ragione è sempre la stessa ed è legata alla diminuzione di vetture inquinanti a favore di veicoli di nuova generazione EURO VI o superiori, a discapito in ogni caso dell'aumento del numero totale di veicoli in circolazione.

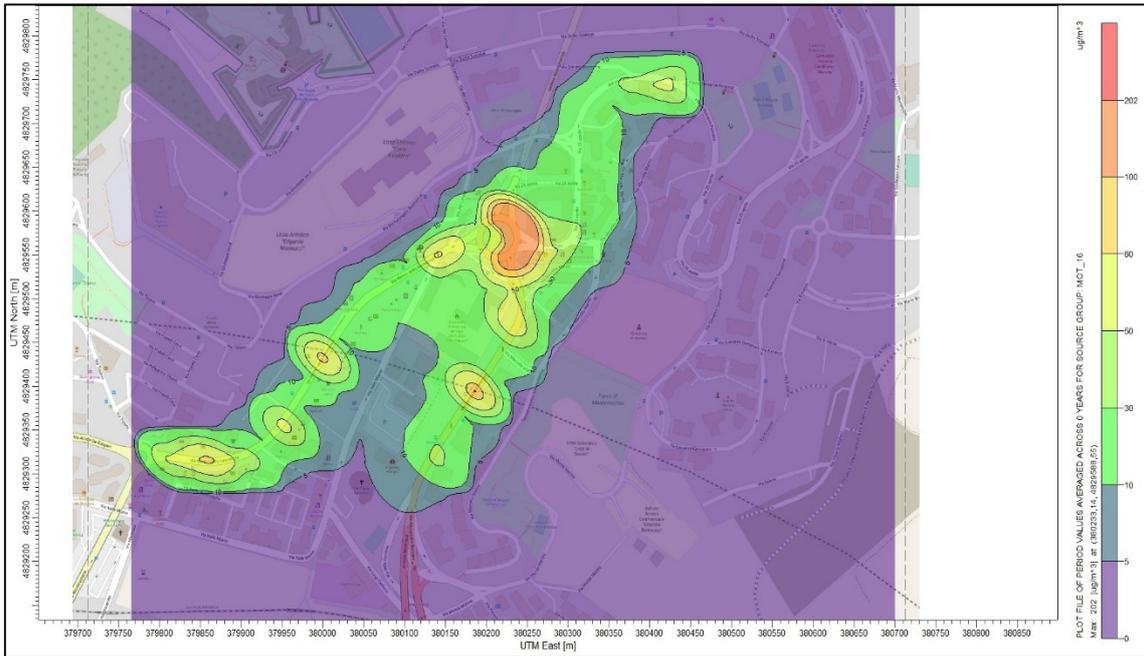


Figura 40: Output PERIOD MARZO 2016



Figura 41: Output PERIOD MARZO 2022

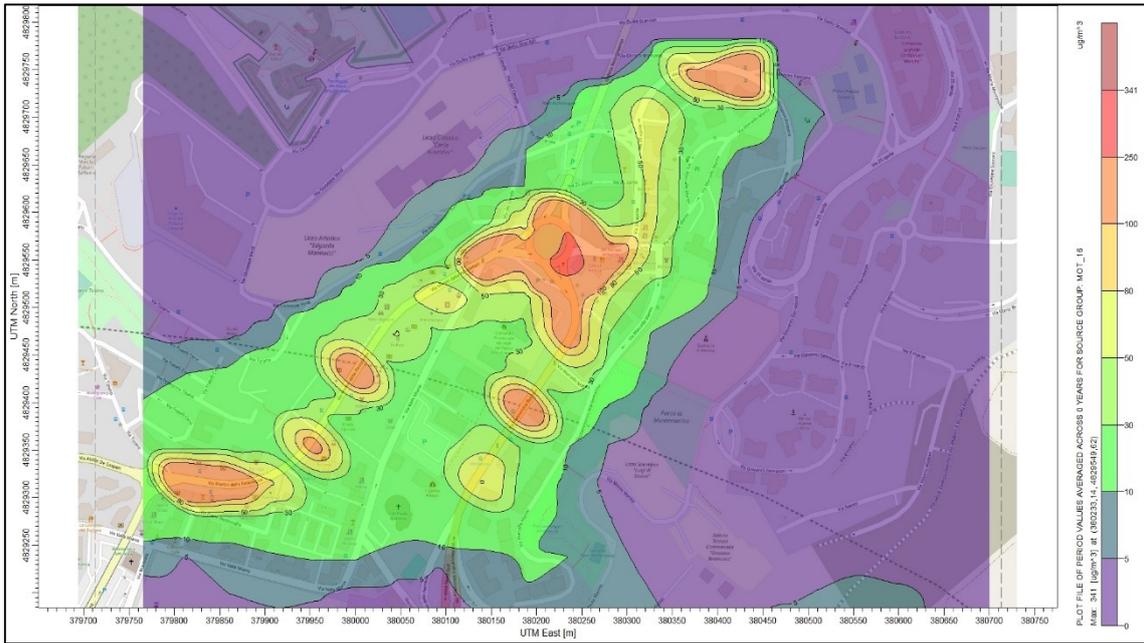


Figura 42: Output PERIOD OTTOBRE 2016

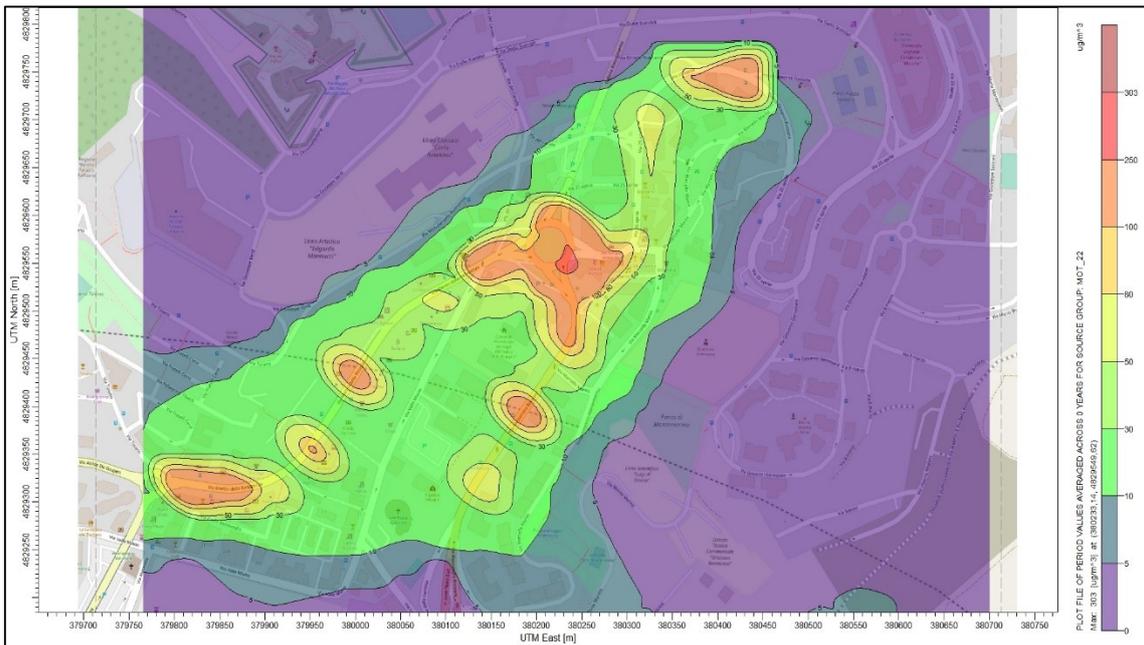
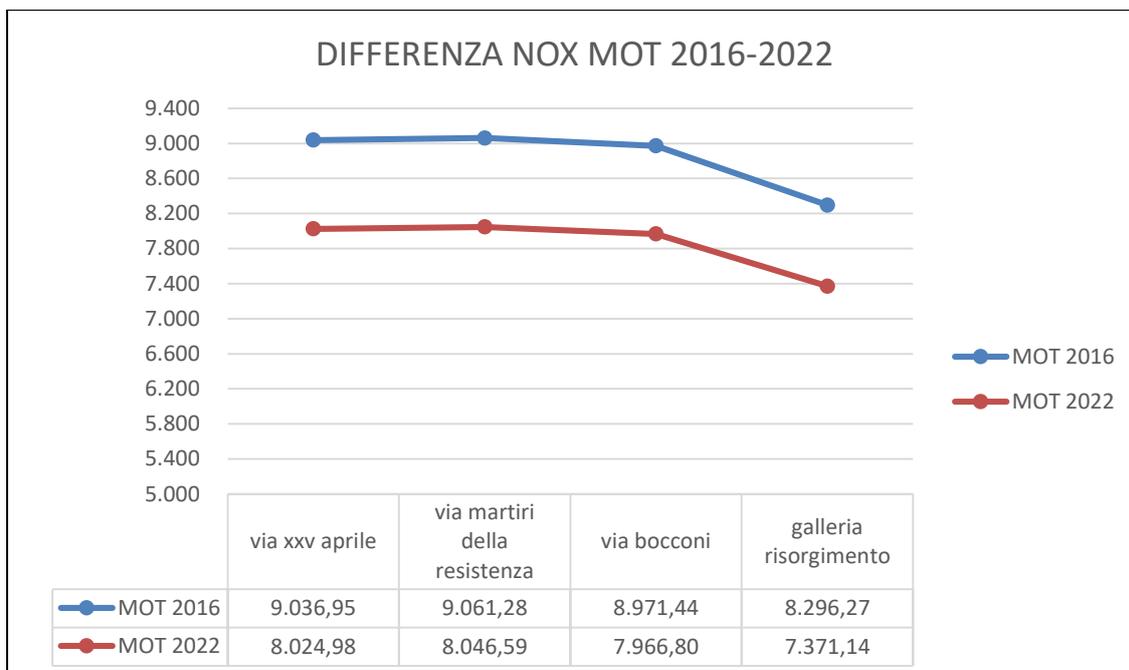


Figura 43: Output PERIOD OTTOBRE 2022

In ultima battuta si riporta il grafico esplicativo e la tabella numerica del confronto ricercato in questo studio circa l'andamento delle emissioni di NOx per l'anno 2016 in relazione all'anno 2022, entrambi espressi in [g/100m]:



CONFRONTO MOT 2016 2022	MOT 2016	MOT 2022	DIFFERENZA	DIFFERENZA %
	NOX [g/100m]	NOX [g/100m]	NOX	NOX
via xxv aprile	9.036,95	8.024,98	- 1.012,0	-11,1982
via martiri della resistenza	9.061,28	8.046,59	- 1.014,7	-11,1982
via bocconi	8.971,44	7.966,80	- 1.004,6	-11,1982
galleria risorgimento	8.296,27	7.371,14	- 925,1	-11,1512

CONCLUSIONE

Attraverso questo studio si è indagato l'inquinamento da parte del traffico veicolare e si è cercato di analizzarne il trend per il futuro. Dopo aver concluso questo studio è stato possibile elaborare un'analisi su quelle che sono le tendenze del traffico veicolare e il relativo inquinamento derivante da esso. Specificato in questo caso per l'inquinante NOx. Attraverso i semplici strumenti utilizzati in questo studio ci si è resi conto di quanto il problema sia tangibile e reale, sia a livelli di traffico, sia a livelli di inquinamento perché si è arrivati a capire ed analizzare oggettivamente l'impatto del nostro inquinante attraverso calcoli matematici diretti e precisi. Poi mediante il nostro programma di modellazione della dispersione degli inquinanti chiamato Aermod ci è stato concesso di elaborare scenari verosimili di inquinamento atmosferico relazionati ai dati raccolti, in base a dati meteorologici e a dati relativi alla morfologia del terreno. Per quanto riguarda gli Output essi ci dirigono verso determinate conclusioni. Infatti, analizzando gli scenari dipinti dal modello e studiando i dati raccolti nella prima fase dello studio si evince una situazione di trend veicolare in continua crescita seppur indirizzato verso tipologie di emissioni molto ridotte rispetto al passato. A questo aumento però non corrisponde un relativo aumento delle emissioni e delle concentrazioni di inquinanti nella zona considerata, anzi si registra una leggera flessione per le concentrazioni e una generale minore incidenza dell'area di inquinamento media. Questo risvolto è dovuto probabilmente al fatto che i veicoli interessati all'immissione nel parco veicolare sono tutti di Classe almeno Euro VI mentre quelli radiati dallo stesso parco veicolare, seppur in numero minore, appartengono a Classi Euro molto più basse e quindi di gran lunga più inquinanti cosicché il trend di inquinamento rimane in decrescita seppur il numero dei veicoli in circolazione sia in aumento. Tutto questo non deve rassicurare sul tema dell'inquinamento dell'aria perché seppur in diminuzione in alcune situazioni si è registrata una situazione al limite della normativa e quindi ai limiti della salubrità, ciò non toglie comunque la pacata seppur presente positività dei risultati di questo studio.

È da specificare inoltre che lo studio è stato svolto con le conoscenze, i dati e i trend attualmente in essere, nulla toglie che negli anni a venire la situazione possa ancora andare migliorando in relazione allo sviluppo dell'ibrido dell'elettrico o grazie all'attuazione di nuove politiche anti-inquinamento migliori e più stringenti di quelle attuali che comunque ad oggi si sono rivelate abbastanza efficaci come appunto confermato dai risultati di questo studio.

Bibliografia

ACI. *Autoritratto 2018*.

Cattani G, D. M. (2006). L'evoluzione del traffico. *La qualità dell'aria in Italia:dati,problemi e prospettive*. ISPRA.

Cattani G, D. M. (2006). *La qualità dell'aria in Italia:dati, problemi, prospettive*. ISPRA.

Cattani, G. (2017). Qualità dell'aria. *Qualità dell'ambiente urbano*.

Cerfedà, M. <https://www.newsauto.it/guide/normative-antiquinamento-guida-euro-1-2-3-4-5-6-2019-176063/>. *NewsAuto*.

Consiglio dei Ministri. *Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana*. Tratto da <https://www.gazzettaufficiale.it>:
<https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/1999/10/13/099G0424/sg>

Davide Scannapieco, V. N. Modelli previsionali di dispersione delle emissioni da traffico in ambito urbano. *Trimestrale del Laboratorio Territorio Mobilità e Ambiente - TeMAEditoriale UNINA*.

Department for Transport. Tratto il giorno 2019 da Department for Trasport Official Website, <https://www.gov.uk/government/organisations/department-for-transport/about>

Environmental Analysis and Measurements. (2013/2014).

Giorgio Cattani, M. L. L'evoluzione del traffico. *La qualità dell'aria in Italia: dati problemi e prospettive, ISPRA*.

Google. *Guida di Google Maps*.

GOOGLE LLC. *Google Earth*. Tratto da Google.it: <https://www.google.it/intl/it/earth/>

Google LLC. *Google Maps*. Tratto da <https://google.com/maps>:
<https://www.google.com/maps>

Google LLC. *Google Maps Traffic*. Tratto da <https://www.google.com>:
<https://www.google.com/maps/place/Ancona,+Province+of+Ancona/@43.6129359,13.516219,15.39z/data=!4m5!3m4!1s0x132d802a2447a9c3:0xfad5680543fc5ac!8m2!3d43.6158299!4d13.518915!5m1!1e1?hl=en>

Government Digital Service. *GOV.UK*. Tratto da www.gov.uk:
<https://www.gov.uk/government/organisations/department-for-transport>

Government Digital Service. *GOV.UK*. Tratto da www.gov.uk:
<https://www.gov.uk/getting-an-mot/the-mot-test>

Ing. Sinesi, M. *I MODELLI DI RIFERIMENTO PER LA DIFFUSIONE IN ATMOSFERA DEGLI INQUINANTI: CENNI TEORICI ED APPLICAZIONI TEORICHE*. ISPRA AMBIENTE.

ISPRA. (2018). *ANNUARIO ISPRAMBIENTE-TRASPORTI*.

World Health Organization. <http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/air-quality/data-and-statistics>.

Palmerini, C. (2018). Smog da traffico, i danni alla salute sono inequivocabili. *Panorama*,
<https://www.panorama.it/news/scienza/smog-da-traffico-danni-alla-salute-sono-inequivocabili/>.

Polidori, D. P. (2006). *I quaderni della formazione ambientale*. Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici, APAT.

Schewe, G. J. (2012, June 26). *slideshare.net*. Tratto da Generating and Using Meteorological Data in AERMOD:
<https://www.slideshare.net/BREEZESoftware/generating-and-using-meteorological-data-in-aermod>

Serafini. (s.d.). Caratterizzazione degli inquinanti emessi dalla sorgente traffico. *INQUINAMENTO ATMOSFERICO GENERATO DA TRAFFICO VEICOLARE, ISPRA*.

Serafini, I. C. (2012). *INQUINAMENTO ATMOSFERICO GENERATO DA TRAFFICO VEICOLARE: METODI PER LA STIMA DELLE CONCENTRAZIONI DI INQUINANTI*.

Smith, C. (2013). Google+ Is The Fourth Most-Used Smartphone App. *Business Insider*.

Territorio, M. d. FONTE APAT.