inserita nell'ambito di strumenti di pianificazione, si ritiene che la loro realizzazione sia già pianificata. È importante che dei relativi progetti sia fatta una adeguata valutazione di impatto ambientale. Questa dovrà, sulla base delle risultanze, includere adeguate misure di attenuazione delle emissioni, mitigazione degli impatti, nonché di compensazioni ambientali.
D'altra parte si deduce dai documenti relativi alla progettazione di queste grandi opere la presenza di una (implicita) gerarchia dei documenti di Piano attualmente vigenti e di questa struttura si deve tener conto in fase decisionale per evitare incongruenze.

3.2.4 Definizione di un indice sintetico di qualità dell'aria

Uno scenario di qualità dell'aria esprime alcune proiezioni future di concentrazioni sulla base di cambiamenti attesi nelle emissioni. Tali proiezioni possono essere ottenute solo sulla base di simulazioni modellistiche, le quali necessitano di un catasto aggiornato delle emissioni nel quale vengano inserite le variazioni attese delle emissioni.
Si è ritenuto opportuno introdurre un indice sintetico in grado di dare una valutazione sulla qualità dell'aria in corrispondenza di una determinata stazione.
Per fare questo si sono considerati i tre inquinanti principali che maggiormente rappresentano una criticità per quanto riguarda la qualità dell'aria del territorio in esame: PM_{10}, biossido di azoto e ozono.
L'analisi è stata condotta sulla stazione di Verona Cason, in cui vengono monitorati tutti e tre gli inquinanti selezionati. Questa stazione è stata scelta in quanto, rappresentativa di un fondo urbano e pertanto, di un'area non direttamente influenzata da sorgenti specifiche di origine antropica. Per tali motivi la si è ritenuta anche rappresentativa della maggior parte delle aree dell'ambito territoriale considerato.
In letteratura esistono diverse definizioni di indice di qualità dell'aria; in questo caso si è fatto riferimento a quanto introdotto ad esempio dalla Regione Emilia Romagna, che definisce degli indici giornalieri che riassumono lo stato dell'inquinamento atmosferico.
Si sono calcolati dapprima tre indici di qualità, uno per ciascun inquinante, definiti sulla base della concentrazione massima ammessa dalla normativa vigente. Il valore della concentrazione giornaliera di riferimento viene diviso per il valore limite previsto dalle norme e moltiplicato per 100.

Tabella 3-44: Valori limite per gli indici giornalieri degli inquinanti selezionati.

Inquinante	Indicatore utilizzato	Valore limite [µg/m^3]
PM_{10}	Media giornaliera	50
NO_2	Massimo giornaliero dei valori orari	200
O_3	Massimo giornaliero della media mobile su 8 ore	120

L'indice sintetico finale è stato definito come il valore peggiore dei tre indici relativi ai tre inquinanti, secondo l'approccio maggiormente utilizzato a livello internazionale.

Si sono stabilite delle classi equispaziate per l'indice sintetico di qualità dell'aria, utili per definire in modo rapido e semplice lo stato dell'inquinamento.

Tabella 3-45: Classi equispaziate per la definizione della qualità dell'aria.

Valore dell'indice	Qualità dell'aria
< 50	Buona
50 -99	Accettabile
100-149	Mediocre
150-199	Scadente
>200	Pessima

L'analisi dei tre indici è stata condotta per ciascun anno del quinquennio 2004-2008 esaminato. In Figura 3-7 si riporta a titolo di esempio i risultati relativi all'anno 2008.

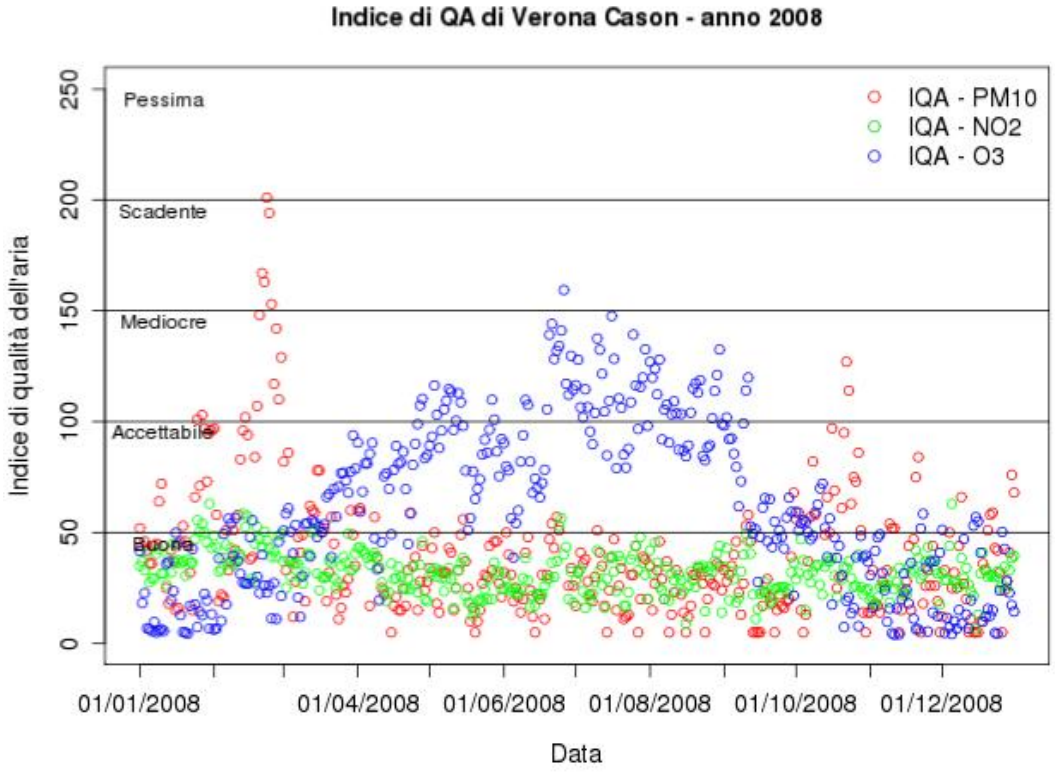


Figura 3-7: Indici di qualità dell'aria relativi al PM_{10}, al biossido di azoto (NO_2) e all'ozono (O_3).

Come si può notare, per l'NO_2 l'indice che si ottiene è sempre molto basso, dal momento che i valori massimi orari non raggiungono praticamente mai la soglia massima di 200 $\mu g/m^3$, nonostante questo inquinante sia problematico per quanto riguarda la media annuale. Per questo si è deciso di utilizzare anche per l'NO_2 un valore medio giornaliero. Il problema che si pone è trovare il valore di riferimento con cui confrontare le concentrazioni medie giornaliere ottenute. Per questo si è effettuata una regressione lineare tra valori medi giornalieri di PM_{10} e di NO_2. Si è utilizzato come valore di soglia il valore corrispondente al

limite di 50 µg/m^3 del PM_{10}. Nella stazione di Cason si ottiene una concentrazione media di 35 µg/m^3.

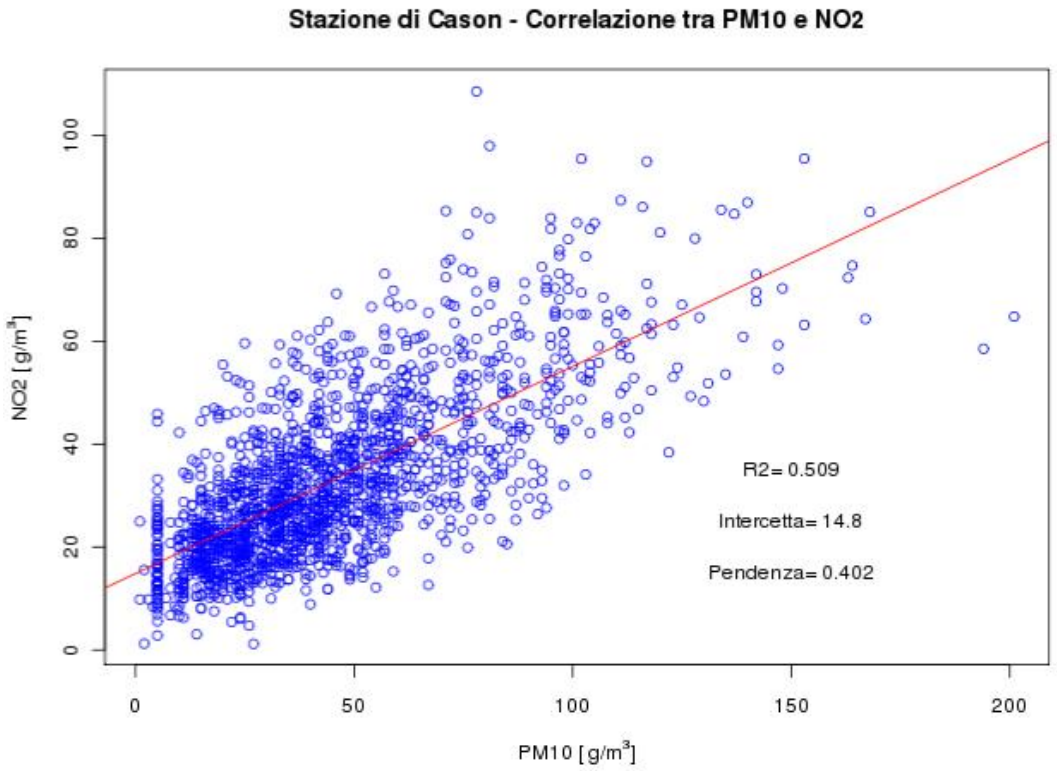


Figura 3-8: Correlazione tra valori medi giornalieri di NO_2 e PM_{10}.

Gli indici di qualità dell'aria che si ottengono sono riportati in Figura 3-9.

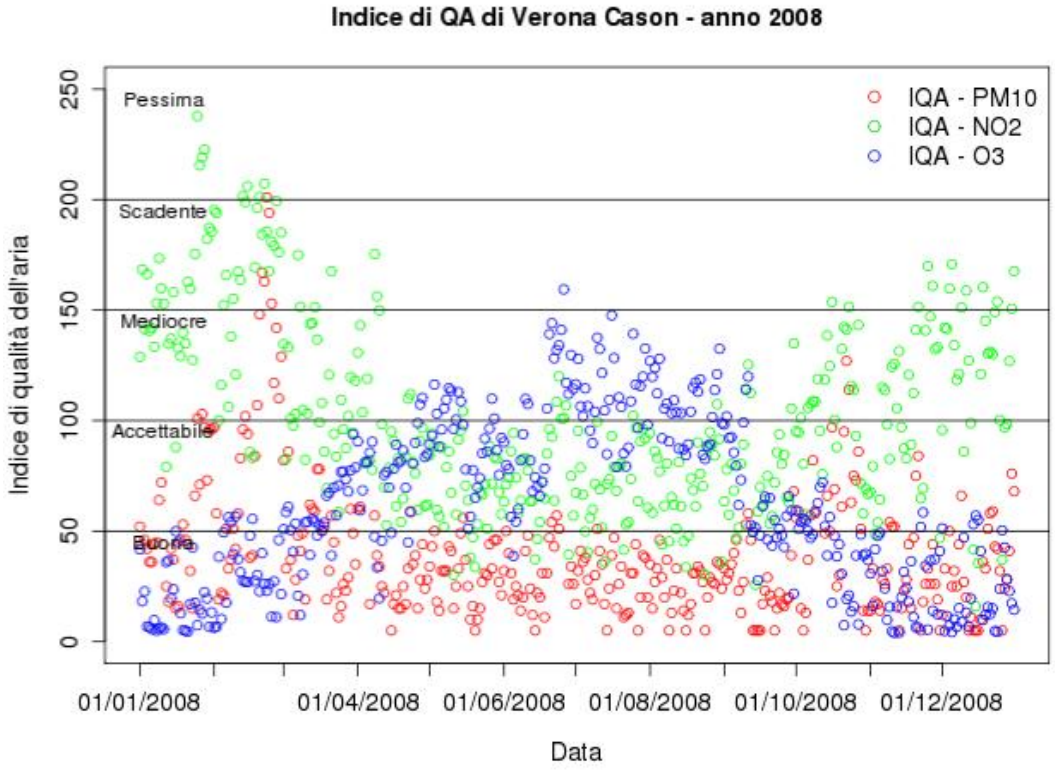


Figura 3-9: Indici di qualità dell'aria relativi al PM_{10}, al biossido di azoto (NO_2) secondo il valore medio giornaliero e all'ozono (O_3).

Come si può osservare, in questo modo la concentrazione di NO_2 risulta problematica nei mesi invernali.

A questo punto si è calcolato l'indice di qualità dell'aria sintetico come il valore più alto dei tre sottoindici. Il risultato relativo all'anno 2008 è mostrato a titolo di esempio in Figura 3-10. Da questa figura si deduce che peggiori indici di qualità dell'aria si registrano, come peraltro confermato dalle analisi dei dati meteorologici e di qualità dell'aria, nel periodo invernale. Un indicatore del genere, oltre a dare una visione di sintesi delle condizioni della qualità dell'aria, eventualmente anche utilizzabile come comunicazione alla cittadinanza, potrebbe anche essere usato in modalità previsionale per indicare qual è la tendenza per i giorni futuri, analogamente a quanto viene fatto per le previsioni meteorologiche. Questo rimarca ancora l'importanza di avere a disposizione e fruibile una buona base dati delle emissioni e dei parametri meteorologici.

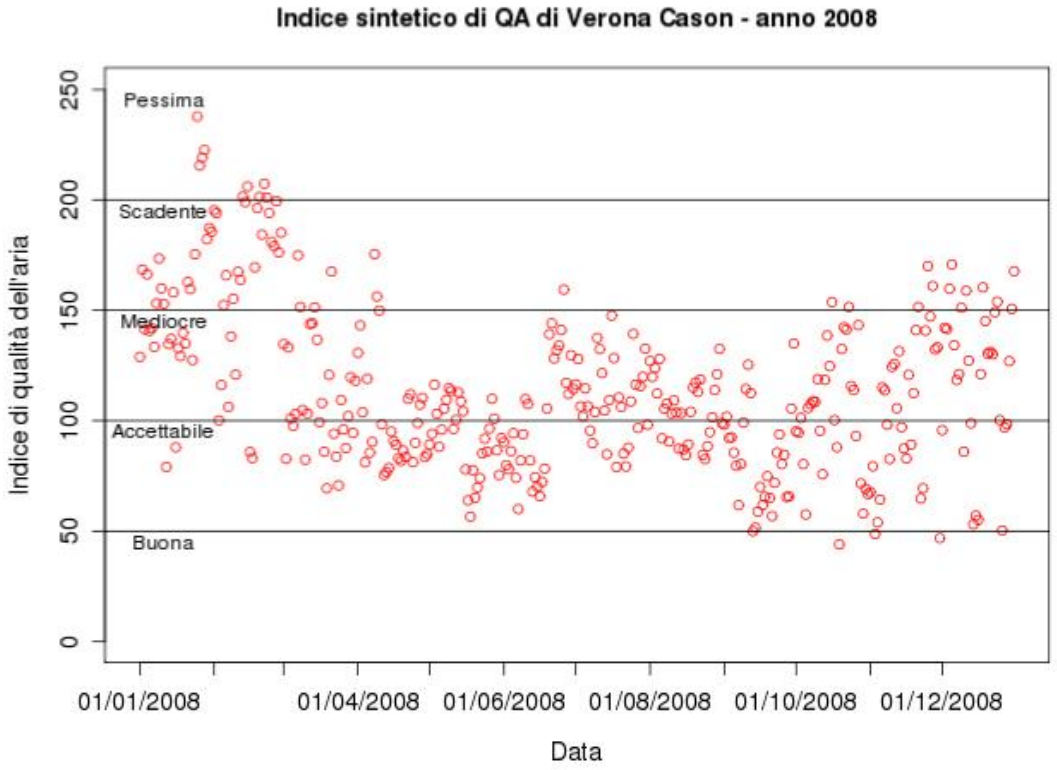


Figura 3-10: Indice sintetico di qualità dell'aria per l'anno 2008.

3.2.5 Analisi critica (paragrafo a cura di ARPA Veneto)

In questo capitolo verranno analizzate le diverse azioni che possono essere adottate al fine di risanare la qualità dell'aria, presentate al capitolo 3 (Tabella 3-39), evidenziando, per ognuna di esse, gli effetti positivi su altre matrici ambientali, i possibili effetti negativi, altri effetti secondari, le problematiche che potrebbero innescare.

Azione1. Trasporto urbano sostenibile: riduzione dell'impatto dei mezzi privati

Obiettivo 1.1. Passaggio da trasporto privato a trasporto pubblico

Effetti positivi su elementi diversi dalla qualità dell'aria

- Utilizzazione più efficace degli spazi su strada.
- Riduzione delle "esclusioni sociali" per i non possessori di auto.
- Aumento della possibilità di scelta tra diverse modalità di viaggio.
- Promozione di maggior interazione sociale.
- Promozione della competizione sul mercato e dell'innovazione.
- Riduzione della congestione del traffico nelle città.
- Può migliorare la gradevolezza visiva del centro città e dell'ambiente urbano.

Possibili effetti negativi

- Alto livello di impegno economico e finanziario per la realizzazione e il mantenimento delle eventuali infrastrutture richieste, come filovia e metropolitana.
- Cambio di destinazione d'uso di ampie zone di territorio (ad es. per le corsie degli autobus, per i depositi, ecc.).
- Sistemi di trasporto come filovia e metropolitana sono poco flessibili, efficaci solo in grandi conurbazioni.
- La necessità di nuove tratte dedicate determina uno spostamento del traffico dalla rete stradale e richiede pertanto una revisione globale e coordinata del sistema delle infrastrutture.
- Può aumentare l'emissione di CO_2 e di altri gas serra.
- La possibile estensione della rete ferroviaria può comportare un aumento del movimento di veicoli che gravitano intorno ad essa.
- Il possibile aumento dei nodi della rete ferroviaria può comportare l'aumento della pressione su una rete che può essere già vicina alla saturazione.
- Percezione di una restrizione della libertà di viaggiare.
- Può portare a un aumento delle emissioni e del rumore per veicolo.
- Aumento del traffico in aree diverse da quella oggetto del provvedimento.
- Necessità di occupare troppo spazio della strada per la realizzazione o estensione di infrastrutture come filovia e metropolitana.
- Potenziale inadeguatezza del progetto per le aree rurali.

Effetti secondari

- La dimostrazione di un aumento della domanda di trasporto pubblico può incoraggiare investimenti strategici sul lungo termine.
- Necessità di una strategia integrata di trasporto.

Applicabilità

- Per essere pienamente efficace deve essere offerta l'alternativa di un trasporto pubblico a basse emissioni che risponda alle esigenze di mobilità della popolazione.
- È necessario sottolineare i benefici complessivi, come la riduzione del rumore e il miglioramento della sicurezza, per incoraggiare una percezione positiva degli interventi attuati.

Obiettivo 1.2. Adeguamento mezzi trasporto pubblico locale

Effetti positivi su elementi diversi dalla qualità dell'aria

- Possibilità di utilizzare una tecnologia che determini un parco macchine meno rumoroso.
- Dimostrazione di attenzione all'ambiente da parte delle autorità e delle aziende.
- Possibilità di migliorare l'efficienza del carburante e conseguente risparmio economico.
- Incoraggiamento dell'innovazione a livello locale.

Possibili effetti negativi

- Possibilità di aumento delle emissioni di CO_2 e di altri gas-serra.
- Richiesta di investimenti nelle stazioni di rifornimento.
- I depositi per GPL possono richiedere più spazio.

Effetti secondari

- Necessità di maggiore manutenzione.
- Può influenzare la scelta nel parco macchine.

Obiettivo 1.3. Fluidificazione e regolazione della circolazione

Effetti positivi su elementi diversi dalla qualità dell'aria:

- Riduzione del livello di rumore.
- Riduzione dei tempi di viaggio.
- Maggiore sicurezza delle strade.

Obiettivo 1.4. Definizione di corsie preferenziali

Effetti positivi su elementi diversi dalla qualità dell'aria

- Utilizzazione più efficace degli spazi su strada.
- Miglioramento dell'efficienza del trasporto pubblico.
- Diminuzione dei tempi di viaggio.
- Riduzione del rumore.
- Aumento della sicurezza.
- Maggior vivibilità del centro urbano.

Possibili effetti negativi

- Cambio di destinazione d'uso di ampie zone di territorio.
- Spostamento del traffico dalla rete stradale e conseguente necessità di una revisione globale e coordinata del sistema delle infrastrutture.
- Aumento della congestione del traffico per minore disponibilità di spazio dedicato ai mezzi privati.
- Percezione di una restrizione della libertà di viaggiare.
- Eccessivamente costoso se la resa è modesta.

Applicabilità

- È necessario sottolineare i benefici complessivi, come la riduzione del rumore e il miglioramento della sicurezza, per incoraggiare una percezione positiva degli interventi attuati.
- Sottolineare il vantaggio del trasporto pubblico rispetto al privato in termini riduzione dei tempi di viaggio.
- È efficace solo se finalizzato, per esempio, a ridurre gli spostamenti di singoli pendolari con mezzo privato a favore dell'utilizzo di un trasporto pubblico veloce ed efficiente.

Obiettivo 1.5. Rinnovo parco auto

Effetti positivi su elementi diversi dalla qualità dell'aria

- Possibilità di utilizzare una tecnologia che determini un parco macchine meno rumoroso.
- Dimostrazione di attenzione all'ambiente da parte delle autorità e delle aziende.
- Possibilità di migliorare l'efficienza del carburante e conseguente risparmio economico.
- Incoraggiamento dell'innovazione a livello locale.

Possibili effetti negativi

- Possibilità di aumento delle emissioni di CO_2 e di altri gas-serra.
- Richiesta di investimenti nelle stazioni di rifornimento.
- I depositi per GPL possono richiedere più spazio.
- Penalizzazione delle fasce più povere.

Effetti secondari

- Necessità di maggiore manutenzione.
- Può influenzare la scelta nel parco macchine.

Azioni richieste

- Necessità di affrontare i problemi di disponibilità del carburante.
- Ricerca di tecnologie più efficienti per il parco macchine.

Obiettivo 1.6. Aumento ZTL

Effetti positivi su elementi diversi dalla qualità dell'aria

- Miglioramento della percezione complessiva di un'area.
- Abbassamento dei livelli di rumore.
- Miglioramento della sicurezza.
- Generale miglioramento dell'ambiente urbano e miglioramento a lungo termine dell'"ambiente costruito".

Possibili effetti negativi

- Limitazioni della possibilità di spostamento.
- Difficoltà di applicazione e costo delle risorse necessarie.

Effetti secondari

- Possibilità che non ci sia una diminuzione delle emissioni globalmente nell'area urbana.
- Possibilità che veicoli ed emissioni vengano solo dislocati in altre zone.

Azioni richieste

- Assicurare un buon servizio pubblico con possibilità di interscambio, a costi ragionevoli.
- Sottolineare i benefici conseguenti all'istituzione della zona, come la migliore qualità della vita per il miglioramento della qualità dell'aria, del livello di rumore e dell'aumento della sicurezza.

Obiettivo 1.7. Aumento aree pedonali

Effetti positivi su elementi diversi dalla qualità dell'aria

- Miglioramento della percezione del centro città.
- Riduzione della possibilità di incidenti.
- Possibilità di aumento del commercio e delle attività economiche locali.
- Complessivo miglioramento dell'ambiente urbano.
- Promozione di "modalità più salubri" di spostamento.
- Protezione a lungo termine degli edifici.
- Incoraggiamento delle interazioni sociali tra chi frequenta il centro città.
- Riduzione generale dei livelli di rumore.
- Incoraggiando gli spostamenti a piedi, incidono positivamente sulla salute e sulla forma fisica.
- Richiesta di investimenti e supporto finanziario minimi.

Possibili effetti negativi

- Accessibilità ridotta per i residenti in centro città.
- Possibile percezione di una diminuzione delle attività commerciali nel breve termine.
- Possibile diminuzione dell'accessibilità al centro per disabili o persone con difficoltà di movimento.
- Possibilità di compromesso con i ciclisti per la sicurezza per i pedoni.
- Riduzione dello spazio disponibile alle macchine e conseguente aumento della congestione del traffico.
- Troppo costoso se la resa è modesta.

Effetti secondari

- Necessità di migliorare il trasporto pubblico, così da poter facilmente accedere all'area pedonale.
- Potenziale aumento del traffico nelle zone esterne al centro della città.
- Possibilità di aumentare le consegne di merce al di fuori del normale orario di mercato.

Obiettivo 1.8. Aumento dei percorsi ciclo-pedonali

Effetti positivi su elementi diversi dalla qualità dell'aria

- Miglioramento della percezione del centro città.
- Riduzione della possibilità di incidenti.
- Complessivo miglioramento dell'ambiente urbano.
- Promozione di "modalità più salubri" di spostamento.
- Riduzione generale dei livelli di rumore.
- Incoraggiamento di modalità di spostamento che incidono positivamente sulla salute e sulla forma fisica.
- Incoraggiamento dell'interazione sociale.

Possibili effetti negativi

- Riduzione dello spazio disponibile per gli automezzi e conseguente aumento della congestione del traffico.

- Troppo costoso se la resa è modesta.

Effetti secondari

- Necessità di migliorare il trasporto pubblico, così da poter facilmente accedere all'area pedonale.
- Potenziale aumento del traffico nelle zone esterne al centro della città.
- Possibilità di aumentare le consegne di merce al di fuori del normale orario di mercato.

Obiettivo 1.9. Incentivazione della ciclabilità

Effetti positivi su elementi diversi dalla qualità dell'aria

- In generale, ricaduta positiva sulla salute e sulla forma fisica.
- In genere, richiesta di bassi investimenti e bassi costi di mantenimento.
- Favorisce le interazioni sociali.
- Riduce i costi per gli spostamenti individuali.
- Modalità di trasporto che prevede richieste energetiche molto contenute.

Possibili effetti negativi

- Potenziale conflitto con altre modalità di trasporto, nel caso vengano utilizzati e condivisi degli spazi sul territorio (ad es. utilizzo di corsie dei bus, di spazi utilizzabili anche da motorini o pedoni, ecc.).
- Richiesta di adeguati standard di sicurezza.

Azioni richieste

- È necessario che venga sempre più proposto l'uso della bicicletta per spostamenti quotidiani (pendolari) e per il tempo libero nel rispetto del territorio e arrivando ad un compromesso con altre forme di trasporto.
- È necessario affiancare l'utilizzo della bicicletta ad altre forme di trasporto creando, ad esempio, parcheggi per le biciclette in prossimità delle stazioni di bus e treni.

Obiettivo 1.10. Organizzazione di trasporti collettivi per i bambini che vanno a scuola

Effetti positivi su elementi diversi dalla qualità dell'aria

- Riduzione della congestione del traffico, specialmente in ore di punta.
- Promozione della salute degli scolari.
- Possibile riduzione dei costi di trasporto per le famiglie.

Possibili effetti negativi

- Percezione una possibile mancanza di sicurezza.
- La posizione di alcune scuole può non essere adeguata ed esse potrebbero essere non coinvolte dal progetto.

Effetti secondari

- Incoraggia le relazioni sociali.
- Supporto per la scuola.
- Educazione alla salute e all'ambiente dei bambini.

Azioni richieste

- Sottolineare i benefici per la salute ai bambini e ai genitori con campagne di informazione.
- Superare le preoccupazioni legate alla sicurezza personale con campagne di informazione.

Azione 2. Riduzione dell'impatto dei mezzi commerciali

Obiettivo 2.1. Governo accessi

Effetti positivi su elementi diversi dalla qualità dell'aria

- Miglioramento della scorrevolezza del traffico.
- Abbassamento dei livelli di rumore.
- Miglioramento della sicurezza.
- Generale miglioramento dell'ambiente urbano e miglioramento a lungo termine dell'"ambiente costruito".

Possibili effetti negativi

- Limitazioni della possibilità di spostamento.
- Difficoltà di applicazione e costo delle risorse necessarie.

Effetti secondari

- Possibilità che non ci sia una diminuzione delle emissioni globalmente nell'area urbana.
- Possibilità che veicoli ed emissioni vengano solo dislocati in altre zone.

Azioni richieste

- Sottolineare i benefici conseguenti all'azione intrapresa, come la migliore qualità della vita per il miglioramento della qualità dell'aria, del livello di rumore e dell'aumento della sicurezza.

Obiettivo 2.2. Trasformazione o sostituzione mezzi commerciali

Effetti positivi su elementi diversi dalla qualità dell'aria

- Possibilità di utilizzare una tecnologia che determini un parco macchine meno rumoroso.
- Dimostrazione di attenzione all'ambiente da parte delle autorità e delle aziende.
- Possibilità di migliorare l'efficienza del carburante e conseguente risparmio economico.
- Incoraggiamento dell'innovazione a livello locale.

Possibili effetti negativi

- Possibilità di aumento delle emissioni di CO_2 e di altri gas-serra.
- Richiesta di investimenti nelle stazioni di rifornimento.
- I depositi per GPL possono richiedere più spazio.

Effetti secondari

- Necessità di maggiore manutenzione.
- Può influenzare la scelta nel parco dei mezzi motorizzati per attività commerciali.

Azioni richieste

- Necessità di affrontare i problemi di disponibilità del carburante.
- Ricercare tecnologie più efficienti per il parco macchine.
- Sensibilizzazione delle aziende.
- Stanziamento di fondi per incentivare il rinnovo dei mezzi.

Obiettivo 2.3. Limitazione del transito di mezzi pesanti in area urbana

Effetti positivi su elementi diversi dalla qualità dell'aria

- Riduzione della congestione del traffico nei centri urbani.
- Miglioramento della qualità dell'ambiente in città.
- Miglioramento della scorrevolezza del traffico.
- Abbassamento dei livelli di rumore.
- Miglioramento della sicurezza.

Possibili effetti negativi

- Possibilità di diminuzione della prosperità commerciale del centro.
- Limitazioni della possibilità di spostamento.
- Difficoltà di applicazione e costo delle risorse necessarie.

Effetti secondari

- Nel lungo termine può avere un impatto sul centro urbano inducendo uno spostamento degli investimenti dal centro urbano alle aree al di fuori di esso.

Azioni richieste

- Sottolineare i benefici conseguenti all'azione intrapresa, come la migliore qualità della vita per il miglioramento della qualità dell'aria, del rumore e dell'aumento della sicurezza, il miglioramento dell'immagine delle aziende per l'attenzione dimostrata a temi ambientali.

<u>Azione 3. Riduzione dell'impatto degli impianti civili</u>

Obiettivo 3.1. Trasformazione e sostituzione degli impianti

Effetti positivi su elementi diversi dalla qualità dell'aria

- Diminuzione dell'utilizzo di combustibili fossili e convenzionali e associata riduzione di emissioni di precursori di piogge acide.
- Offre opportunità per innovazione, progresso tecnologico, occupazione.

Possibili effetti negativi

- Penalizzazione delle fasce più povere o disagiate.
- Nell'ipotesi di utilizzare e risorse energetiche alternative e più sostenibili (solare, eolico, ecc.):
    - impatto sul paesaggio locale, spesso rurale;

- può richiedere l'utilizzo di vaste porzioni di territorio;
- cambiamenti significativi e permanenti all'ambiente.

Effetti secondari

- Incoraggia principi di sviluppo sostenibile.

Obiettivo 3.2. Miglioramento del rendimento energetico

Effetti positivi su elementi diversi dalla qualità dell'aria

- Risparmio energetico.

Possibili effetti negativi

- Difficoltà di controllo e monitoraggio dell'azione.
- Disagio per certe fasce della popolazione.

Azioni richieste

- Informazione e sensibilizzazione dei cittadini.
- Incentivazione delle ristrutturazioni volte a migliorare il rendimento energetico degli edifici e delle nuove costruzioni di edifici particolarmente efficienti dal punto di vista energetico.
- Previsione di criteri ecologici negli appalti pubblici.

Obiettivo 3.3. Osservanza di norme di contenimento energetico

Effetti positivi su elementi diversi dalla qualità dell'aria

- Risparmio energetico.

Possibili effetti negativi

- Difficoltà di controllo e monitoraggio dell'azione.
- Disagio per certe fasce della popolazione.

Azioni richieste

- Informazione e sensibilizzazione dei cittadini.

Obiettivo 3.4. Incentivazione dell'uso di energie rinnovabili

Effetti positivi su elementi diversi dalla qualità dell'aria

- Diminuzione dell'utilizzo di combustibili fossili e convenzionali e associata riduzione di emissioni di precursori di piogge acide.
- Offre opportunità per innovazione, progresso tecnologico, occupazione.

Possibili effetti negativi

- Impatto sul paesaggio locale, spesso rurale.
- Può richiedere l'utilizzo di vaste porzioni di territorio.
- Cambiamenti significativi e permanenti all'ambiente.

Effetti secondari

- Incoraggia principi di sviluppo sostenibile.

Azione 4. Riduzione impatto delle attività produttive

Obiettivo 4.1. Riconversione e trasformazione dei mezzi di trasporto a servizio delle attività produttive.

Effetti positivi su elementi diversi dalla qualità dell'aria

- Possibilità di utilizzare una tecnologia che determini un parco macchine meno rumoroso.
- Dimostrazione di attenzione all'ambiente da parte delle autorità e delle aziende.
- Possibilità di migliorare l'efficienza del carburante e conseguente risparmio economico.
- Incoraggiamento dell'innovazione a livello locale.

Possibili effetti negativi

- Possibilità di aumento delle emissioni di CO2 e di altri gas-serra.
- Richiesta di investimenti nelle stazioni di rifornimento.
- I depositi per GPL possono richiedere più spazio.

Effetti secondari

- Necessità di maggiore manutenzione.
- Può influenzare la scelta nel parco dei mezzi motorizzati per attività commerciali.

Azioni richieste

- Necessità di affrontare i problemi di disponibilità del carburante.
- Ricercare tecnologie più efficienti per il parco macchine.
- Sensibilizzazione delle aziende.
- Stanziamento di fondi per incentivare il rinnovo dei mezzi.

Obiettivo 4.2. Piattaforme di interscambio merci

Effetti positivi su elementi diversi dalla qualità dell'aria

- Riduzione del costo del trasporto.
- Riduzione della congestione del traffico.

Possibili effetti negativi

- Perdita di bellezza dell'ambiente.
- Peggioramento della qualità dell'aria localmente, intorno alle piattaforme di interscambio.
- Peggioramento della qualità di altre matrici ambientali localmente, intorno alle piattaforme di interscambio.
- Aumento dei livelli di rumore.

Azioni richieste

- Impegno finanziario e supporto delle amministrazioni alle aziende.

Obiettivo 4.3. Adozione di BAT negli impianti produttivi

Effetti positivi su elementi diversi dalla qualità dell'aria

- Incoraggiamento di innovazione e competizione.

- Migliorando l'efficienza del processo, può incoraggiare un uso più efficace delle risorse.
- Possibile riduzione dei precursori di piogge acide.
- Possibilità di miglioramento per altre matrici ambientali (es. rumore).

Possibili effetti negativi

- Elevati investimenti finanziari.
- Può richiedere considerazioni più stringenti su salute e sicurezza.
- Può richiede più input di materiale, che di conseguenza può comportare maggior trasporto e uso di energia.
- Possibile impatto visivo.
- Possibilità di determinare la produzione di nuovi rifiuti speciali.
- Richiesta di manodopera specializzata e conseguenti possibilità di impiego.
- Percezione negativa da parte dell'industria per timore di aumento dei costi.
- Percezione, da parte della comunità, che questo possa compromettere le possibilità di lavoro localmente.

Effetti secondari

- Può essere economicamente insostenibile.
- Può determinare un aumento della produzione di solidi in alcune industrie (per es. gesso come sottoprodotto) per i quali non esiste un mercato esteso, creando problemi di smaltimento.
- Implicazioni finanziarie sul lungo termine per il capitale del settore industriale, che possono avere implicazioni su interi settori del mercato relativo a un prodotto o servizio.

Azioni richieste

- Collaborare strettamente con le industrie coinvolte per trovare soluzioni efficaci dal punto di vista dei costi.
- Ove possibile, coinvolgere nelle decisioni anche la forza lavoro e la comunità.

Azione 5. Applicazione misure programmate di limitazione

Obiettivi 5.1 e 5.2. Limitazione alla circolazione di veicoli inquinanti, blocchi del traffico

Effetti positivi su elementi diversi dalla qualità dell'aria

- Generale miglioramento dell'ambiente urbano e miglioramento a lungo termine dell'"ambiente costruito".
- Incoraggiamento dello sviluppo di tecnologie, carburanti e modalità di spostamento alternativi.
- Promozione della competizione sul mercato e dell'innovazione.

Possibili effetti negativi

- Limitazioni della possibilità di spostamento.
- Penalizzazione delle fasce più povere.
- Aumento del traffico in aree diverse da quella oggetto del provvedimento.

Effetti secondari

- Possibilità che non ci sia una diminuzione delle emissioni globalmente nell'area urbana.
- Possibilità che veicoli ed emissioni vengano solo dislocati in altre zone.
- Può incoraggiare il rinnovo del parco macchine.

Azioni richieste

- Assicurare un buon servizio pubblico con possibilità di interscambio, a costi ragionevoli.
- Sottolineare i benefici conseguenti all'istituzione della zona, come la migliore qualità della vita per il miglioramento della qualità dell'aria, la diminuzione di emissioni, del livello di rumore e dell'aumento della sicurezza.
- Necessità di una strategia integrata di trasporto alternativo per i possessori di veicoli inquinanti.

Azione6. Pianificazione territoriale

Obiettivo 6.1. Adozione di norme o piani di gestione territoriale che contribuiscano alla riduzione dell'inquinamento atmosferico.

Effetti positivi su elementi diversi dalla qualità dell'aria

- Riduzione della congestione del traffico.
- Generale miglioramento dell'ambiente urbano.
- Numerosi potenziali impatti socio-economici di schemi individuali, iniziative di pianificazione e sviluppi.
- Spesso assicura un generale miglioramento dell'ambiente urbano, naturale e costruito (paesaggio, rumore).
- Comporta investimenti di capitale per specifici schemi di viaggio sostenibili.
- Comporta potenziali redditi ai servizi e alle società di trasporto che devono essere sviluppati.
- Comporta possibili meccanismi di disincentivazione di modalità di viaggio poco virtuose.

Possibili effetti negativi

- Proposte e politiche nel lungo termine possono limitare la realizzazione di obiettivi di miglioramento della qualità dell'aria nel breve termine.
- Può aumentare il costo di uno sviluppo o schema tanto da renderlo non fattibile perché troppo costoso.

Effetti secondari

- Incoraggia principi di sviluppo sostenibile.
- Si richiede costanza da parte dell'amministrazione nelle politiche di pianificazione e nell'imposizione di condizioni.

Obiettivo 6.2. Completamento ed aggiornamento delle basi dati relativamente ai comparti ambientali ed emissivi.

Effetti secondari:

- Necessità di risorse di personale e finanziarie.

Obiettivo 6.3. Verifica dell'interazione del PQA con altri strumenti di piano

Effetti positivi su elementi diversi dalla qualità dell'aria:

- Miglioramento della comunicazione tra diversi comparti dell'amministrazione.

3.2.6 Rassegna di buone pratiche

In questo paragrafo viene elencata una lista di buone pratiche che deve essere intesa come linea di indirizzo da applicare in maniera omogenea e coordinata dalle amministrazioni comunali, sempre tenendo conto delle specificità territoriali. Queste buone pratiche interferiscono con altri documenti di piano e risultano pertanto non di immediata applicazione. Va comunque sottolineato che l'obiettivo rimane quello di giungere a delle prassi virtuose consolidate.

Database

Come presupposto irrinunciabile per tutte le altre buone pratiche di seguito elencate c'è la raccolta, validazione e omogenizzazione di tutti i dati emissivi, tramite la creazione e mantenimento costante di una base dati unica per tutti i Comuni, contenente almeno una descrizione relativa a:

- settore industriale: emissioni annue o produttività annua per ogni azienda rilevante;
- settore riscaldamento: consistenza e tipologia di impianti di riscaldamento e quantitativo di combustibile consumato;
- settore agricoltura: quantitativo di fertilizzante venduto e/o utilizzato;
- settore allevamento: consistenza dei capi per ogni impianto rilevante censito;
- settore traffico: stima o misura del traffico medio giornaliero e della percentuale di mezzi pesanti su ogni strada a traffico rilevante.

Il monitoraggio, sarà effettuato in accordo con altri enti funzionali e territoriali, utilizzando come indicatore di priorità l'impatto attuale sul territorio, conosciuto o stimato. La costituzione della suddetta base dati consentirà di monitorare l'efficacia degli interventi con dati quantitativi e eventualmente di correggere, di anno in anno le modalità di applicazione, ottenendo al contempo un riscontro del costo effettivo unitario degli interventi previsti tramite un indicatore.

Identificazione di nuove aree residenziali lontano da fonti di pressione

Nella assegnazione della destinazione di uso del suolo di nuove aree edificabili residenziali va posta particolare attenzione alle condizioni di pressione sull'area, presenti o previste. Va evitata quindi per quanto possibile la costruzione di nuove aree residenziali in zone dove la qualità dell'aria, con riferimento ai macroinquinanti, mostri una qualità scadente o abbia valori superiori ai limiti di legge relativi alla salvaguardia della salute. Fonti di pressione da prendere tipicamente in considerazione sono strade ad elevato transito o grandi insediamenti industriali. La valutazione sull'area di impatto significativo della fonte di pressione (che quindi corrisponde ad un'area di esclusione) va fatta tramite campagne di misura ad-hoc e/o tramite modelli matematici per la stima dell'emissione e dispersione degli inquinanti.

Maggiore attenzione nelle valutazione di impatto

È opportuno, in tutti gli atti progettuali o pianificatori, prevedere una valutazione dettagliata di impatto ambientale sul comparto atmosfera in tutti quei casi in cui localmente sia previsto l'aumento di emissioni in atmosfera, introducendo per quanto possibile il principio di minimizzazione, mitigazione e compensazione, e valutando inoltre la possibilità di perseguire l'opzione zero. Particolare attenzione va posta, in quest'ottica, nella localizzazione di recettori sensibili, come scuole e ospedali.

Incentivazione del trasporto pubblico

In considerazione dell'elevato contributo che il traffico veicolare dà al totale delle emissioni sui 18 Comuni in esame (specifiche in nel Capitolo 5), si ritiene opportuna un'azione ben definita sul settore del trasporto pubblico.

L'incentivazione all'utilizzo del trasporto pubblico, e alla conseguente riduzione del traffico privato e relative emissioni, passa attraverso la razionalizzazione dei tracciati, dei tempi di percorrenza dei mezzi senza che necessariamente questo comporti un aggravio dal punto di vista economico per le amministrazioni. La concertazione *contemporanea* fra tutti i Comuni interessati e le società che forniscono il trasporto fornirebbe la possibilità di effettuare valutazioni economiche e trasportistiche sulle tratte da potenziare. D'altra parte la sostenibilità economica di corse di autobus è strettamente legata all'appetibilità e affidabilità del servizio. Oltre all'aspetto economico, che per l'utente si traduce nel prezzo del biglietto o dell'abbonamento, non può in alcun modo essere trascurato l'aspetto dei tempi di percorrenza e puntualità del servizio. Questo può essere migliorato in maniera drastica tramite la sistematica e diffusa introduzione di corsie preferenziali per i mezzi pubblici su gomma. Uno degli aspetti che, infatti, al giorno d'oggi maggiormente scoraggia l'utilizzo del mezzo pubblico è costituito dai lunghi tempi di percorrenza, dovuti, tra l'altro alle condizioni di elevato traffico. Le corsie preferenziali dovrebbero quindi essere introdotte su tutte le tratte urbane, partendo proprio dalle zone in cui si riscontri maggiore congestione; questo da una parte induce un ulteriore effetto di congestione per i veicoli privati, ma dall'altra ne scoraggia

decisamente l'utilizzo. Evidentemente l'introduzione di corsie preferenziali deve essere contemporaneo all'eventuale inserimento o modifica (ove necessario) di linee di trasporto pubblico sufficienti a smaltire il movimento di persone che auspicabilmente cambiano modalità di spostamento. L'intervento non completo, ovvero sola introduzione di corsie preferenziali o solo razionalizzazione dei tracciati rischierebbe di rimanere fallimentare dal punto di vista della mobilità e quindi anche delle emissioni di inquinanti in atmosfera. Per favorire il trasporto pubblico sarebbe pertanto necessario studiare un piano integrato che preveda la pianificazione e l'utilizzo di altri strumenti quali piano della sosta, zone a traffico limitato, incremento della frequenza delle corse, integrazione tariffaria, integrazione fra servizio urbano ed extra urbano.

Incentivazione della ciclabilità

Intervento utile per la riduzione delle emissioni veicolari, è l'incentivazione della ciclabilità tra le forme di mobilità alternativa. Si tratta non solo di aumentare la lunghezza delle piste ciclabili, ma anche di renderne sicura e rapida la percorribilità lungo le tratte urbane. Pertanto sono preferibili tutte quelle soluzioni che limitano il più possibile gli incroci a raso con arterie molto trafficate o comportino lo sbocco della pista in zone pericolose dal punto di vista ciclabile. Risulta peraltro preferibile, a parità di lunghezza, una rete di piste ciclabili totalmente interconnessa piuttosto che vari segmenti interrotti che costringono il ciclista ad uscire su una sede stradale non protetta. Si noti che la creazione di tracciati ciclabili anche di "attraversamento urbano" può fornire un contributo non indifferente nell'alleggerimento del traffico motorizzato delle aree più urbanizzate, a patto che questi tracciati conducano con scarsa o nessuna interruzione fino alle aree di attrazione degli utenti (scuole, aree servizi, stazioni ferroviarie, ecc.), che siano sufficientemente sicure e che prevedano adeguati spazi per il parcheggio delle biciclette. Come si è potuto verificare in altre città italiane (ad esempio Ferrara[10] o Bolzano[11]), che nel corso degli ultimi anni hanno aumentato consistentemente la definizione di nuovi percorsi ciclabili protetti, talvolta togliendo spazio anche alla sede stradale destinata al traffico motorizzato dove non altrimenti fattibile, risultati consistenti in termini di modifica del mezzo di trasporto si hanno solamente in presenza di una rete capillare ed effettivamente protetta.

Tangenziali per aree densamente abitate

In presenza di arterie ad elevato traffico che attraversano aree a densa urbanizzazione (si veda il caso studio relativo alla SS11 in località Vago di Lavagno, §2.1.6.2), è opportuno prevedere, compatibilmente con altri documenti di piano e con le valutazioni di fattibilità del

[10] Gianni Stefanati, Per una Città Amica delle Biciclette, SATE 1998, pp. 24, ANCMA-AICC-Comune di Ferrara.

[11] Regolamento delle piste ciclabili e degli itinerari ciclopedonali, Provincia Autonoma di Bolzano, 2007.

caso, la possibilità di costruzioni di bretelle, tangenziali o bypass atti a spostare il flusso di traffico, e quindi di emissione, dalle aree a più densa urbanizzazione, nell'interesse della salute collettiva. La valutazione va eseguita preventivamente tramite misure e/o modelli per accertarsi che la nuova ipotesi si riveli effettivamente globalmente migliorativa dal punto di vista ambientale e sanitario. Dal punto di vista trasportistico va comunque posta attenzione al fatto che la fluidificazione del traffico attraverso l'ipotizzato sistema di bypass non attiri ulteriore traffico; questo può essere fatto impedendo o inibendo in maniera consistente il traffico di attraversamento sul tracciato originale dell'arteria.

Servizi pubblici decentrati

Compatibilmente con altri atti pianificatori è auspicabile la decentralizzazione di alcuni servizi di pubblica utilità che possono ridurre il traffico pendolare verso Verona dai Comuni limitrofi. Questa operazione non può essere estesa a tutti i servizi, necessitando peraltro di una attenta valutazione economica di fattibilità. La concertazione tra Comuni, Provincia e Regione può riguardare le scuole (es. sedi distaccate) o i servizi di pubblica utilità per il cittadino (es. "sportello unico").

Edifici a basso consumo energetico

Nel settore del riscaldamento domestico e di edifici destinati al settore terziario è auspicabile andare verso regolamenti edilizi che favoriscano la ristrutturazione secondo standard di risparmio energetico (es. "Distretto di Bioedilizia di Treviso") e quindi minore emissione. Per quanto riguarda la costruzione di nuove abitazioni, i regolamenti edilizi possono essere adeguati per recepire il principio sopra esposto, imponendo ai costruttori metodologie migliorative dal punto di vista ambientale. Stessa osservazione vale per quanto riguarda gli edifici pubblici sia in fase di nuova costruzione che nel caso di necessità di ristrutturazione.

Gestione di alcune tipologie di scarti biodegradabili (agricoltura, allevamento, ristorazione)

La gestione degli scarti agricoli e di allevamento può essere trasformata da un onere ad una risorsa per il settore privato così come per l'ente pubblico, ipotizzando una gestione a scala sovracomunale del problema. Stante l'attuale divieto di combustione delle ramaglie a fiamma libera, è attualmente fattibile ed economicamente sostenibile la messa in opera di un impianto a biomassa destinato alla produzione di energia con lo scopo di smaltimento in loco di: ramaglie, scarti della lavorazione del legno, pollina, ecc. A patto di lavorare su un bacino di raccolta sufficientemente ampio è possibile abbattere i costi di raccolta e ottenere un ritorno in termini di produzione di calore sfruttabile per teleriscaldamento, produzione di energia elettrica o sistema di cogenerazione combinato. Una adeguata attenzione deve essere posta alle potenziali criticità di impatto locale associate a questo tipo di inquinanti.
Tra le buone pratiche va ricordato anche il riciclo di olii esausti da attività di ristorazione per l'alimentazione di impianti a biodiesel.

Attrattori di traffico

In presenza di una rete stradale che sull'area appare attualmente sovraccarica, appare, allo stato attuale, inopportuna la previsione di nuovi grandi attrattori di traffico, a meno che non siano supportati dalle relative opere di urbanizzazione che ne consentano un'accessibilità accettabile, e sempre tenendo conto del principio di compensazione.

Va inoltre valutata, sempre compatibilmente con altre azioni pianificatorie, la possibilità di delocalizzazione di attrattori di traffico verso luoghi non residenziali, riducendo quindi l'aumento locale di emissioni. In tal senso esiste una tendenza alla localizzazione delle Fiere, come nel caso di Milano e di Bolzano, al fine di ridurre l'impatto generato dagli elevati flussi di traffico indotto e concentrato in brevi periodi di tempo.

Considerato inoltre che fungono attrattori di traffico (e quindi generatori di emissioni locali a bassa quota) molte aree della zona centrale del Comune di Verona, come anche deducibile dal PGTU, è auspicabile la predisposizione di parcheggi scambiatori esterni con il potenziamento contemporaneo di servizi navetta verso il centro città.

Emissioni industriali

Nel settore industriale alcuni interventi sono possibili per il contenimento delle emissioni, con particolare riferimento a quelle industrie situate nei pressi di aree densamente abitate: è da incentivare l'adozione delle migliori tecnologie disponibili nell'abbattimento degli inquinanti aerodispersi prodotti da processi produttivi.

Attenzione va posta inoltre, dal punto di vista delle autorizzazioni (con procedure concordate con gli enti preposti), alla valutazione della quota di emissione dei camini. Questa valutazione può essere effettuata tramite misure – nel caso di impianti esistenti – o attraverso modelli matematici nel caso di impianti in fase di progetto. Si tenga conto che in ogni caso le misure possono comunque essere accompagnate da modellazione ai fini di scorporare i contributi delle diverse fonti, distinguere gli effetti di mascheramento e ottenere una corretta interpretazione. Il principio guida deve essere sempre quello di minimizzare l'impatto nell'area circostante e non può ridursi alla mera verifica delle emissioni alla bocca del camino, come è nello spirito del "Testo Unico Ambientale".

È auspicabile anche che i Comuni, in accordo e collaborazione con gli enti preposti al controllo, organizzino dei controlli a campione sugli impianti industriali, nei limiti e nelle prerogative concessi dalla vigente legge (D. Lgs. 152/2006 e seguenti modifiche) al fine di verificare l'attuazione di tutte le procedure di miglioramento ambientale che siano eventualmente state definite con le aziende medesime.

Blocchi del traffico

Fatta salva la funzione civica "educativa" dei blocchi della circolazione, si è rilevato nel paragrafo 2.2.5 che questo tipo di provvedimento può avere un effetto non trascurabile solo se

attuato su un'area vasta e per un periodo lungo (intera stagione invernale). Al contrario blocchi del traffico limitati ad aree ristrette e a carattere episodico possono avere qualche effetto su inquinanti "locali" (ossidi di azoto, monossido di carbonio), ma verosimilmente ininfluenti su inquinanti che hanno una valenza regionale o sovraregionale. D'altra parte va evidenziato che nessuna considerazione quantitativa può essere fatta in merito, a meno di effettuare preventivamente una determinazione dell'efficienza del provvedimento di chiusura al traffico (ovvero la percentuale di autoveicoli *effettivamente* fermati). In assenza di questo dato, che non risulta attualmente disponibile in maniera esaustiva, qualsiasi correlazione tra provvedimento di limitazione e variazione nelle concentrazioni di inquinati risulterebbe falsato oltre che fuorviante.

3.3 AZIONI INFORMATIVE (PARAGRAFO A CURA DEI COMUNI)

3.3.1 Azioni di comunicazione verso le categorie (imprenditori, artigiani, amministratori di condomini, agricoltori, autotrasportatori, …)

Questa tipologia di azioni di comunicazione è stata già proposta dalla Regione Veneto per favorire la riduzione dell'inquinamento atmosferico; la Regione, infatti, ha indicato la definizione di accordi con le categorie produttive interessate per razionalizzare i flussi delle merci soprattutto da e per i centri storici, favorendo il trasporto delle stesse con mezzi più eco-compatibili (esempio metano, gpl, ibridi o elettrici). Questa tipologia di iniziativa ha senso, ovviamente, se vengono stipulate delle convenzioni ovvero se sussistono agevolazioni a livello sovraordinato che permettono agli operatori commerciali e agli esercenti di servizi di trasporto di persone e cose, di accedere a finanziamenti per l'acquisto di veicoli a basso impatto ambientale, a garanzia della riduzione strutturale e permanente dell'impatto ambientale dovuto alle polveri sottili derivante dal traffico.

Nelle città che sono nodi di scambio merci sarebbe auspicabile inoltre promuovere una piattaforma logistica (cd. City logistic) per la riorganizzazione della distribuzione delle merci e l'organizzazione di servizi di supporto, che consentano di organizzare, a partire da precisi punti di snodo, il compattamento, la consegna e la raccolta delle merci in fasce orarie definite. Per la realizzazione del progetto di City logistic bisognerà ottimizzazione i percorsi e consolidare i carichi in entrata provenienti da differenti fonti e destinati a una stessa zona della città.

La riuscita di queste iniziative è subordinata ad uno stretto coinvolgimento delle Associazioni di Categoria produttive che si devono impegnare a promuovere l'adesione dei propri associati a questi protocolli e a realizzare adeguate campagne di informazione al fine di sensibilizzare i propri associati sul tema della qualità dell'aria, le iniziative di limitazione alla circolazione nonché tutte le informazioni relative all'offerta dei veicoli più ecocompatibili presenti sul mercato.

Sono inoltre di pari importanza tutte le attività di sensibilizzazione per la creazione di progetti virtuosi quali, ad esempio, i "negozi o condomini sostenibili", in cui si stimolano gli esercenti ad applicare tutte le accortezze necessarie per incrementare quei comportamenti individuali e collettivi che permettano un risparmio reale delle risorse e la salvaguardia della qualità dell'ambiente.
Tale progettualità permette inoltre all'attività aderente, di verificare concretamente il beneficio, sia in termini ambientali che economici e questo può fungere da ulteriore stimolo sia per il mantenimento di dette azioni/comportamenti virtuosi nel tempo sia per la loro diffusione attraverso i meccanismi di esempio ed emulazione da parte dei diversi target di utenti.

3.3.2 Azioni di comunicazione verso la cittadinanza

La partecipazione ed il coinvolgimento delle parti sociali e del pubblico saranno particolarmente seguite nel corso dell'applicazione e del monitoraggio del Piano. Infatti la maggior parte delle azioni di mitigazione delle emissioni inquinanti proposte prevede la partecipazione attiva del singolo cittadino. Per ottenere quindi riscontri positivi sia nel breve periodo, sia in un arco di tempo più prolungato, è fondamentale informare e sensibilizzare la popolazione sulle conseguenze negative di una cattiva qualità dell'aria, coinvolgendola sulle attività proposte dalle amministrazioni comunali per fronteggiare il problema dell'inquinamento atmosferico.
In particolare sono previste le seguenti azioni specifiche:

- Sviluppo di azioni di sensibilizzazione per l'aumento dell'efficienza energetica e la diffusione del risparmio energetico. Azioni di sensibilizzazione saranno anche dirette alla disincentivazione dell'uso del mezzo privato a favore del mezzo pubblico, con particolare riferimento alle tratte confluenti sui cosiddetti "attrattori di traffico"; queste azioni saranno concordate con i gestori dei parcheggi di centri commerciali, ospedali, parchi, area fieristica E di concerto con le aziende di trasporto pubblico.
- Sviluppo di azioni di sensibilizzazione per la riduzione dell'utilizzo del mezzo privato di trasporto, per il suo utilizzo condiviso, per l'utilizzo di mezzi collettivi e della bicicletta. Le amministrazioni locali, quindi, dopo aver garantito una adeguata copertura del territorio da parte del mezzo pubblico ed alternativo ed eseguita una pianificazione e potenziamento delle piste e dei percorsi ciclabili, dovranno agire tramite misure di incentivazione opportunamente pubblicizzate attraverso i sistemi di comunicazione a maggiore diffusione (televisione, internet, giornali, display luminosi sulle strade, ecc.).
- Azione specifica di sensibilizzazione mediante materiale informativo (cartaceo, informatico ecc.) per l'utilizzo di prodotti domestici a basso contenuto di solventi diretto alla popolazione nel suo complesso.

- Azione di sensibilizzazione nei confronti della cittadinanza per il rispetto dei valori massimi della temperatura ambiente nelle abitazioni domestiche per il periodo invernale (D.P.R. n.412 del 1993). Come si è evinto dalle analisi precedenti, anche la variazione di qualche grado all'interno degli edifici può portare a notevoli aumenti o riduzioni dei consumi dei combustibili e di conseguenza delle emissioni, considerando tutti gli impianti termici sul territorio del PQA. Sarà necessario, quindi, attuare una campagna di informazione relativamente alle pratiche da adottare per una buona gestione delle abitazioni e degli impianti termici nel periodo invernale.
- Informare la cittadinanza sui rischi per la salute derivanti dai principali inquinanti (PM_{10}, $PM_{2.5}$, IPA, NO_x, ecc). Per la divulgazione di tali informazioni e l'illustrazione dei corretti comportamenti da seguire per limitare l'esposizione durante i periodi più critici si dovranno utilizzare, ad esempio, appositi volantini, newsletter dedicate, la realizzazioni di pagine web oppure organizzare conferenze o incontri informati con la popolazione e nelle scuole, anche in collaborazione con altri enti pubblici. Questa azione ha la principale funzione di rendere consapevole la cittadinanza della dannosità e pericolosità dell'inquinamento atmosferico, incrementando la coscienza ambientale del singolo cittadino e garantendo, perciò, una maggiore accettazione delle azioni di mitigazione intraprese dalle amministrazioni locali.
- Informare la popolazione sulla qualità dell'aria per fornirle una situazione aggiornata del suo stato, affiancando ai dati giornalieri i valori limiti di legge. Sarà necessario fornire dati storici, confrontare l'andamento delle concentrazioni attuali con le tendenze degli ultimi anni per chiarire la situazione complessiva della qualità dell'aria su periodi di lunga durata. E' di fondamentale importanza che il cittadino sia consapevole della necessità di attuare misure d'urgenza nei periodi di inquinamento acuto; tali azioni dovranno essere durature, di carattere strutturale e in grande scala. Il cittadino dovrà essere informato per tempo della pianificazione di tali azioni.
- Azioni ed iniziative per la diffusione del Piano ed in particolare la creazione di una sezione dedicata alla pianificazione dell'aria sul sito internet dei Comuni con relativa pubblicazione dei successivi piani adottati e dei risultati del monitoraggio. In questa fase, anche facendo un confronto con i dati storici, si potrà misurare l'eventuale efficacia dei provvedimenti attuati.

3.4 ACCORDI (PARAGRAFO A CURA DEI COMUNI)

3.4.1 Promozione di accordi

Può essere auspicabile promuovere accordi per mettere in rilevanza le problematiche dell'inquinamento atmosferico e sostenere delle procedure e delle azioni per la mitigazione di

questo fenomeno. L'efficacia dei provvedimenti infatti dipende in larga misura dalla condivisione che si riesce a conseguire da parte dei diversi soggetti coinvolti.

Accordi per i controlli sulle caldaie

Attraverso il D.P.R. 412 del 26 Agosto 1993 *"Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia, in attuazione dell'art. 4, comma 4, della legge 9 gennaio 1991, n. 10"*, si stabilisce, all'articolo 4, i valori massimi della temperatura ambiente negli edifici durante il periodo in cui è in funzione l'impianto di climatizzazione invernale. Escludendo gli edifici industriali ed artigianali, il limite imposto sulla media aritmetica delle temperature dell'aria nei diversi ambienti di ogni singola unità immobiliare è di 20°C +2°C di tolleranza.

Il controllo del rispetto di tale limite è di competenza della Provincia e dei Comuni, se essi constano di più di 40000 abitanti. L'Ente Locale per queste verifiche, con cadenza almeno biennale, si può avvalere di organismi esterni aventi specifica competenza tecnica e deve incrementare il numero di controlli soprattutto nei periodi di maggiore criticità, effettuando contemporaneamente un'azione di sensibilizzazione nei confronti della popolazione. Ovviamente le singole amministrazioni devono rispettare questi limiti negli edifici di proprietà pubblica, sia per garantire un risparmio energetico ed emissivo sia come funzione di sensibilizzazione verso i privati indicando il comportamento da seguire per il rispetto della normativa.

Si deve continuare a lavorare sul protocollo di intesa condiviso con le principali associazione di categoria dei manutentori di impianti termici per definire le modalità delle operazioni previste in ordine alla corretta manutenzione dell'impianto termico sia per ciò che riguarda gli aspetti della sicurezza che per gli aspetti del risparmio e contenimento energetico. L'iniziativa già condotta in sinergia con il Comune di Verona e l'Amministrazione Provinciale, che mantiene la specifica competenza per tutti i restanti Comuni del PQA, deve essere portata avanti e sostenuta da tutte le amministrazioni locali.

Accordi con autostrade

Lungo i maggiori assi viabili che si diramano sul territorio del PQA vengono immesse nell'aria importanti quantità di sostanze inquinanti. Indipendentemente da quanto previsto da altre disposizioni per la riduzione delle emissioni, lungo questi assi stradali, è probabile che vi siano porzioni di territorio o singoli edifici particolarmente interessati da alte concentrazioni di inquinanti atmosferici.

Perciò, per mitigare gli impatti che localmente si manifestano nelle aree limitrofe ai tracciati autostradali presenti sul territorio del PQA si possono prevedere degli accordi con le società autostradali per individuare interventi di mitigazione consistenti, per esempio, nell'inserimento di fasce arboree ed arbustive lungo il tracciato in corrispondenza dei

principali ricettori, con l'obiettivo di creare una fascia tampone in grado di assorbire gli inquinanti e trattenere le polveri prodotte dal traffico oltre che offrire un adeguato mascheramento visivo ed un migliore inserimento paesaggistico. Altre misure che si possono adottare per la riduzione dell'inquinamento atmosferico sono limitare la velocità nei tratti in prossimità dei centri urbani (da 130 km/h a 110 km/h) e imporre il divieto di sorpasso per i mezzi pesanti.

Accordi con ferrovie

Realizzazione di accordi per creare un sistema di trasporto integrato, disincentivazione all'utilizzo del mezzo privato, specie per il traffico di pendolari da/per territorio extra-comunale, incentivazione all'uso del trasporto pubblico, anche individuando le modalità più opportune per giungere ad una tariffazione integrata dei vari mezzi.

Accordi con grandi attrattori di traffico

E' auspicabile stipulare accordi con i grandi attrattori di traffico per incentivare il pubblico a recarsi presso tali strutture con mezzi ecocompatibili (per esempio treno, carpooling o autobus alimentati a metano, gpl, ecc). Chi si impegna a seguire queste pratiche di mobilità sostenibile potrà ricevere, per esempio, uno sconto sul biglietto d'ingresso o delle agevolazioni per determinati servizi, ecc.

Accordi con altre forze di polizia

La Direttiva del Ministero dei Lavori Pubblici del 7 luglio 1998 "Direttiva sul controllo dei gas di scarico degli autoveicoli (bollino blu), ai sensi dell'art. 7 del Nuovo Codice della Strada", stabilisce che i controlli dei gas di scarico dei veicoli avvengano almeno una volta all'anno. Controllare annualmente i propri gas di scarico risponde inoltre ad un ben preciso obbligo sancito dal Nuovo Codice della Strada (D.Lgs. 285/92 e successive modificazioni) che, all'art. 79, impone di mantenere i veicoli in condizioni di efficienza in modo da contenere l'inquinamento entro i limiti stabiliti.

Si considerano strategici degli accordi con la forza di polizia sovraordinata (es. carabinieri polizia di stato ecc.), messi in atto dai Comuni, dalla Provincia ed altri Enti per effettuare campagne di controllo dei gas di scarico dei veicoli a motore da effettuarsi su strada per sensibilizzare la cittadinanza sul principio e l'importanza del controllo periodico frequente dei gas di scarico.

Accordi tra Enti proprietari delle strade

Il presente documento mostra quanto il traffico veicolare sia una componente rilevante dell'inquinamento atmosferico, in particolare se derivante da mezzi pesanti e/o alimentati con carburanti più impattanti.

I provvedimenti di limitazione del traffico diventano significativi e maggiormente incisivi se assunti in modo coordinato ed omogeneo da tutti gli Enti (Comuni, Provincia, Regione, Stato, Enti Gestori) proprietari delle strade che attraversano i territori comunali.
Gli accordi dovranno essere adeguati alle finalità dei provvedimenti, avendo cura di ponderare le eventuali deroghe:

- Limitazione permanenti o stagionali rivolte ad alcune categorie di veicoli ed in determinate fasce orarie, che interessino gli interi territori comunali;
- Divieti di transito di alcune tipologie di veicoli (ad esempio autocarri) in modo da spostarne il traffico su arterie stradali di scorrimento, salvaguardando la aree residenziali;
- Giornate ecologiche o periodiche di blocco totale del traffico.

Le finalità di tutela ambientale e sanitaria devono essere l'obiettivo comune che possa far convergere l'impegno di tutti gli enti per la definizione di accordi e provvedimenti condivisi ed efficaci. Allo scopo potrà anche rivelarsi necessario approfondire preventivamente le conoscenze di specifiche situazioni dal punto di vista della tipologia e della quantificazione dei passaggi veicolari e del rischio sanitario indotto.

Capitolo 4

Procedure per il monitoraggio e adeguamento del Piano

4 INDICE CAPITOLO 4

4 INDICE CAPITOLO 4 4-3

INDICE DELLE FIGURE 4-5

INDICE DELLE TABELLE 4-7

4 PROCEDURE PER IL MONITORAGGIO E ADEGUAMENTO DEL PIANO 4-8

4.1 DETERMINAZIONE DI INDICATORI E MODALITÀ DI MONITORAGGIO DELLE FASI DEL PIANO E DEI RELATIVI RISULTATI 4-8

4.2 INDICATORI DI VALUTAZIONE DELLE EFFICACIA DELLE AZIONI PROPOSTE (PARAGRAFO A CURA DI ARPA VENETO) 4-9

4.3 AZIONI CONOSCITIVE: INDICAZIONI DI APPROFONDIMENTO 4-26

4.3.1 Ruolo della combustione della legna 4-27

4.3.1.1 Traccianti della combustione della legna 4-27

4.3.1.2 Levoglucosano 4-28

4.3.1.3 Determinazione del levoglucosano in aria ambiente 4-28

4.3.1.4 Conclusioni 4-31

4.3.2 Emissioni dalle attività connesse alla gestione rifiuti 4-32

4.3.2.1 Approfondimenti sull'inceneritore di Ca' del Bue 4-32

4.3.3 Emissioni da attività per la generazione di energia da biomasse di scarto 4-34

4.3.3.1 Impianti a biomassa legnosa 4-34

4.3.3.2 Criticità degli impianti a biogas 4-35

4.3.4 Emissioni da traffico 4-37

4.3.4.1 Efficacia delle barriere verdi 4-37

4.3.4.2 Indicazione di esperienze europee finalizzate alla diminuzione delle emissioni in sede stradale: il progetto LIFE SPAS. 4-41

4.3.4.3 Valutazione dell'efficacia dell'applicazione di rivestimenti e cementi fotocatalitici nell'abbattimento delle concentrazioni inquinanti in atmosfera 4-51

4.3.4.3.1 Introduzione 4-51

4.3.4.3.2 La fotocatalisi 4-52

4.3.4.3.3 Possibili applicazioni e loro efficacia 4-54

4.3.4.4 Efficacia dello spazzamento e lavaggio delle strade e cenni sul problema della risospensione 4-61

4.3.4.5 Inquinamento nelle gallerie stradali e sistemi di ventilazione 4-67

4.3.4.5.1 Sistemi a ventilazione naturale 4-68

4.3.4.5.2 Sistemi a ventilazione longitudinale 4-69

4.3.4.5.3 Sistemi a ventilazione trasversale 4-70

4.3.4.5.4 Concentrazioni di inquinanti nei tunnel stradali 4-71

4.3.5 Predisposizione e utilizzo di strumenti di previsione della qualità dell'aria a supporto dell'adozione di misure (a breve, a medio e lungo termine). 4-79

4.3.5.1 Premessa 4-79

4.3.5.2 Il Sistema Integrato per la gestione della Mobilità e della Sicurezza del Comune di Verona .4-82

4.3.5.3 Il sistema NINFA 4-84

4.3.5.4 Osservazioni 4-85

4.3.6 Indicazioni per lo sfruttamento della risorsa geotermica 4-86

4.3.7 Ruolo del cittadino 4-86
4.3.8 Esempio di esposizione giornaliera 4-88
4.4 VALUTAZIONE DELL'INQUINAMENTO PROVENIENTE DA AREE ESTERNE PROVINCIALI 4-94

INDICE DELLE FIGURE

FIGURA 4-1: STRUTTURA CHIMICA DEL LEVOGLUCOSANO (1,6-ANHYDRO-β-D-GLUCOPYRANOSE)..... 4-28
FIGURA 4-2: CORRELAZIONE FRA CONCENTRAZIONI DI PM_{10} E LEVOGLUCOSANO RILEVATE NELLA ZONA URBANA DI UNA CITTÀ ALPINA..... 4-30
FIGURA 4-3: CORRELAZIONE FRA CONCENTRAZIONI DI PM_{10} E LEVOGLUCOSANO RILEVATE IN ZONA MONTANA ALPINA..... 4-30
FIGURA 4-4: CORRELAZIONE FRA CONCENTRAZIONI DI PM_{10} E LEVOGLUCOSANO..... 4-30
FIGURA 4-5: CONCENTRAZIONI DI LEVOGLUCOSANO MISURATE NELLA ZONA URBANA DI UNA CITTÀ ALPINA. .. 4-31
FIGURA 4-6: RAPPORTO FRA LEVOGLUCOSANO E PM_{10} MISURATO NELLA ZONA URBANA DI UNA CITTÀ ALPINA. ...4-31
FIGURA 4-7: STIMA PRELIMINARE DELLE EMISSIONI DI OSSIDI DI AZOTO DALL'IMPIANTO DI TERMOVALORIZZAZIONE DI CA' DEL BUE NEI CASI IN CUI QUESTO NON DISPONESSE DI UN TRATTAMENTO DI RIDUZIONE DI NO_x, CON SISTEMA SNCR E CON SCR (PATERNOSTER L., 2010). 4-33
FIGURA 4-8: CONFRONTO FRA LE EMISSIONI DELL'IMPIANTO A BIOMASSA LEGNOSA DI OSPITALE DI CADORE CON QUELLE DI UN INCENERITORE CON SISTEMA SCR E CAPACITÀ DI 196605 T/ANNO. 4-35
FIGURA 4-9: CONFRONTO FRA LE EMISSIONI DI UN IMPIANTO A BIOGAS DI 1 MWE CON QUELLE DI UN INCENERITORE CON SISTEMA SCR E CAPACITÀ DI 196605 T/ANNO. 4-36
FIGURA 4-10: CONCENTRAZIONE DI PARTICOLATO TOTALE TSP IN FUNZIONE DELLA DISTANZA DALLA STRADA. LE DIVERSE LINEE RAPPRESENTANO DIVERSE CONFIGURAZIONI DI SPECIE VEGETATIVE DIVERSE (YIN SHAN ET AL., 2007). 4-40
FIGURA 4-11: EFFICIENZE DI RIMOZIONE IN FUNZIONE DELLE DIVERSE CONFIGURAZIONI DI SPECIE (L1 –L6) E IN FUNZIONE DELLE DIVERSE STAGIONI (YIN SHAN ET AL., 2007). 4-41
FIGURA 4-12: GRAFICO DI SIMULAZIONE DELLE DIVERSE ZONE DI PRESSIONE DERIVANTI DAL TRANSITO DEI VEICOLI: IL CASO DEL MURO (SHARL ET AL., 2009) (SHARL & ISER, 2009). 4-43
FIGURA 4-13: GRAFICO DI SIMULAZIONE DELLE DIVERSE ZONE DI PRESSIONE DERIVANTI DAL TRANSITO DEI VEICOLI: IL CASO DEL TUNNEL (SHARL ET AL., 2009). 4-43
FIGURA 4-14: FOTO DELL'APPARECCHIATURA DI PROVA PER I TEST CONDOTTI SUI FILTRI: NEL TUBO VIENE FATTA TRANSITARE ARIA ESAUSTA CHE ATTRAVERSA IL FILTRO DA TESTARE (POSTO NELLA PARTE CENTRALE DELL'APPARECCHIATURA) (RODLER & HENN, 2009)..... 4-44
FIGURA 4-15: RISULTATI DI UNA PROVA CONDOTTA IN LABORATORIO (SI VEDA FIGURA PRECEDENTE) PER DETERMINARE LE EFFICIENZE DI RIMOZIONE DI UNO DEI FILTRI DA TESTARE (RODLER & HENN, 2009). ... 4-45
FIGURA 4-16: LOCALIZZAZIONE DEI TRE SITI SPERIMENTALI CON RIFERIMENTO ALLA CITTÀ DI KLAGENFURT (HADOLT H., 2009). 4-46
FIGURA 4-17: FOTO DEL MURO CON FILTRI SPAS A VIKTRING (HADOLT H., 2009)..... 4-47
FIGURA 4-18: FOTO DEL MURO CON FILTRI SPAS A WÖLFNITZ (HADOLT H., 2009)..... 4-48
FIGURA 4-19: FOTO DEL SOTTOPASSO LENDORF CON FILTRI SPAS (HADOLT H., 2009). 4-49
FIGURA 4-20: RISULTATI DI MISURE DI CONCENTRAZIONE DAVANTI E DIETRO AI FILTRI PER IL SITO DI VIKTING: SI NOTA UNA MEDIA DI 44 MG/M3 NEL CASO SENZA BARRIERE SPAS E UNA DIMINUZIONE DELLE CONCENTRAZIONI DI PM_{10} DIETRO LE BARRIERE DEL 15-20% (RODLER & HENN, 2009). 4-50
FIGURA 4-21: FOTO DI ALCUNI PUNTI DI MISURA PER LE PROVE ACUSTICHE SU CAMPO (HADOLT H., 2009)..... 4-51
FIGURA 4-22: SCHEMA DI FUNZIONAMENTO DEL RIVESTIMENTO FOTOCATALITICO (GLOBAL ENGINEERING AND TRADE, 2004)..... 4-52
FIGURA 4-23: VIA MORANDI, SEGRATE (MI). 4-55
FIGURA 4-24: PIAZZALE DELLA CEMENTERIA DI CALUSCO (BG)..... 4-55
FIGURA 4-25: FOTO DI VIA BORGO PALAZZO SOGGETTA A SPERIMENTAZIONE (WWW.ITALCEMENTI.IT)..... 4-57

FIGURA 4-26: SCHEMA DELLA SPERIMENTAZIONE (ITALCEMENTI, 2009). 4-57
FIGURA 4-27: SISTEMA DI SPAZZAMENTO E LAVAGGIO STRADALE IMPLEMENTATO IN GIAPPONE E TESTATO DA UN GRUPPO DI RICERCATORI (CHANG T-M. ET AL., 2005). 4-62
FIGURA 4-28: CONFIGURAZIONE DI SPAZZAMENTO E LAVAGGIO DELLA STRADA SOGGETTA A SPERIMENTAZIONE IN GIAPPONE (CHANG T-M. ET AL., 2005). 4-63
FIGURA 4-29: ANDAMENTO DELLE CONCENTRAZIONI DI PM_{10} RILEVATE DURANTE LO SPAZZAMENTO E LAVAGGIO (GRAFICO SOPRA) CON CONFRONTO DELLE CONCENTRAZIONI NELLE ZONE ADIACENTI NON SOGGETTE A TRATTAMENTO (PARTE SOTTOSTANTE DEL GRAFICO). LE CONDIZIONI DI PROVA SI RIFERISCONO A UN VOLUME DI TRAFFICO MEDIO DI 68 PCU/MIN E INTENSITÀ MEDIA DEL VENTO DI 0.7 M/S (CHOU, C-M. ET AL., 2007). 4-64
FIGURA 4-30: CORRELAZIONE SPERIMENTALE FRA EFFICIENZA DI RACCOLTA DELLA FRAZIONE SABBIOSA PER MEZZO DEL SISTEMA RAVS (HS) E L'EFFICIENZA DI RIDUZIONE DELLA CONCENTRAZIONE DI PM_{10} IN ARIA AMBIENTE (HR). LE CONDIZIONI DI PROVA SI RIFERISCONO A UN VOLUME DI TRAFFICO COMPRESO FRA 15 E 156 PCU/MIN, INTENSITÀ DEL VENTO TRA 0.1 E 3.2 M/S E CARICO DI SABBIA COMPRESO FRA 0.63 E 8.0 G/M2. (CHOU, C-M. ET AL., 2007). 4-65
FIGURA 4-31: CONFIGURAZIONE DI SPAZZAMENTO E LAVAGGIO DELLA STRADA SOGGETTA A SPERIMENTAZIONE IN SPAGNA (AMATO ET AL., 2009B). 4-66
FIGURA 4-32: MEZZI DI SPAZZAMENTO (A SINISTRA) E LAVAGGIO DELLA STRADA (DESTRA) SOGGETTA A SPERIMENTAZIONE IN SPAGNA (AMATO ET AL., 2009B). 4-66
FIGURA 4-33: SISTEMA DI VENTILAZIONE NATURALE (EL-FADEL AND HASHISHO, 2001). 4-69
FIGURA 4-34: SISTEMA DI VENTILAZIONE LONGITUDINALE: A) TIPOLOGIA A ESPULSIONE MEDIANTE POZZO CENTRALE, B) TIPOLOGIA A ESPLUSIONE ED IMMISSIONE ATTRAVERSO POZZI VERTICALI, C) TIPOLOGIA AD IMMISSIONE CON BOCCAGLIO, D) TIPOLOGIA ASSIALE (EL-FADEL AND HASHISHO, 2001). 4-69
FIGURA 4-35: SISTEMI DI VENTILAZIONE: A) SEMI-TRASVERSALE, B) COMPLETAMENTE TRASVERSALE, C) COMBINATO SEMI-PIENAMENTE TRASVERSALE (MÜLLER AND STELTMANN, 2005). 4-70
FIGURA 4-36: CONCENTRAZIONI RILEVATE ALL'INTERNO DI UN TUNNEL SOGGETTO A TRANSITI DI AUTOBUS A DIVERSA ALIMENTAZIONE: CONFRONTO CON LE MISURE DIRETTE (IN BIANCO) CON I RISULTATI DELLA SIMULAZIONE (GRIGIO) (ZANINI ET AL., 2006). 4-72
FIGURA 4-37: CONCENTRAZIONI DI CO ED NO2 RILEVATE ALL'INTERNO DI UN TUNNEL OGGETTO DI UNA SPERIMENTAZIONE AD HONG KONG: IN BLU LA REGRESSIONE LINEARE DEI TRE PUNTI DI CAMPIONAMENTO FISSI ALL'INTERNO DEL TUNNEL (RECETTORE 1, 2 E 3), IN VERDE PUNTINATO IL VALORE STIMATO MEDIANTE APPOSITO MODELLO PREVISIONALE, IN ROSSO LE MISURE SU CAMPO ATTRAVERSO LA METODOLOGIA "CAR CHASING" (MAK AND HUNG, 2008) (1 PPM NO_2 = 1880 $\mu G/M^3$; 1 PPM CO = 1165MG/M^3). 4-73
FIGURA 4-38: CONCENTRAZIONI DI NO, NO_2 E CO RILEVATE ALL'INGRESSO E ALL'USCITA DI UN TUNNEL (CHANG AND CHUNG, 2003). 4-74
FIGURA 4-39: ZONA DELL'INTERVENTO TUNNEL (ITALCEMENTI, 2009). 4-75
FIGURA 4-40: FOTO DEL TUNNEL "UMBERTO I" A ROMA, SOGGETTO AD INTERVENTO (WWW.ITALCEMENTI.IT). 4-77
FIGURA 4-41: GRAFICO DEI RISULTATI DELLA CAMPAGNA SUL TUNNEL "UMBERTO I" A ROMA (ITALCEMENTI, 2009). 4-78
FIGURA 4-42: COSTO PER GRAMMO DI PM_{10} RIMOSSO CON LE DUE SOLUZIONI: ELETTROFILTRO E FILTRO ANTIPARTICOLATO. 4-87
FIGURA 4-43: CONFRONTO FINALE TRA IPOTETICHE OPZIONI DI PROVVEDIMENTI PER LA RIDUZIONE DEL PARTICOLATO PM_{10}, A DISPOSIZIONE DEL CITTADINO. 4-88
FIGURA 4-44: DINAMICA DEL PARTICOLATO DURANTE LA NOTTE (CASO DI STUDIO). 4-90
FIGURA 4-45: DINAMICA DEL PARTICOLATO DURANTE LA PREPARAZIONE DELLA COLAZIONE (CASO DI STUDIO)... 4-91

FIGURA 4-46: DINAMICA DEL PARTICOLATO DURANTE LA PREPARAZIONE DEL PRANZO (CASO DI STUDIO). 4-91
FIGURA 4-47: DINAMICA DEL PARTICOLATO DURANTE LA PREPARAZIONE DELLA CENA (CASO DI STUDIO)..... 4-92
FIGURA 4-48: DINAMICA DEL PARTICOLATO DURANTE IL PERIODO DOPO CENA (CASO DI STUDIO). 4-92
FIGURA 4-49: DINAMICA DEL PARTICOLATO DURANTE IL PERIODO DI LAVORO IN UFFICIO (MATTINA). 4-93
FIGURA 4-50: DINAMICA DEL PARTICOLATO DURANTE IL PERIODO DI LAVORO IN UFFICIO (POMERIGGIO). 4-93
FIGURA 4-51: PERCENTUALI DI ESPOSIZIONE..... 4-94

INDICE DELLE TABELLE

TABELLA 4-1: DATI DI LETTERATURA RELATIVI A MISURE DI LEVOGLUCOSANO IN ARIA AMBIENTE..... 4-29
TABELLA 4-2: LIMITI DI CONCENTRAZIONE MEDIE GIORNALIERE E ANNUALI PER NOX PER IMPIANTI REALIZZATI RECENTEMENTE O IN PROGETTO (AMMINISTRAZIONE PROVINCIALE DI FORLÌ-CESENA, 2004), (PROVINCIA DI FERRARA, 2007), (PROVINCIA DI FERRARA, 2008), (INNOCENTI M. C., 2008-2009)..... 4-34
TABELLA 4-3: CLASSI DI SPECIE SOGGETTE A STUDIO CORRISPONDENTI ALLE EFFICIENZE INDICATE NELLA FIGURA 4-10 (YIN SHAN ET AL., 2007)..... 4-40
TABELLA 4-4: CARATTERISTICHE DELLE BARRIERE SPAS IMPLEMENTATE IN SITO (HADOLT H., 2009). 4-49
TABELLA 4-5: COSTO SPECIFICO DELLE APPLICAZIONI DI SISTEMI FOTO CATALITICI AL M^2, CON RIFERIMENTO ALLE APPLICAZIONI VERTICALI ED ORIZZONTALI (ITALCEMENTI, 2009). 4-56
TABELLA 4-6: CONCENTRAZIONE MEDIA DI NO_X REGISTRATA PER 5 GIORNI CON CENTRALINE POSTE A DIVERSE ALTEZZE DAL SUOLO. (ITALCEMENTI, 2009 MOD.)..... 4-58
TABELLA 4-7: TEMPO MEDIO DI ESPOSIZIONE AD UNA CERTA CONCENTRAZIONE DI MONOSSIDO DI CARBONIO (CO), NEI TUNNELS (1 PPM CO = 1.165 MG/M^3) (EL-FADEL AND HASHISHO, 2001)..... 4-68
TABELLA 4-8: CLASSIFICAZIONE DEI TUNNEL E TIPOLOGIA DI VENTILAZIONE IN FUNZIONE DELLA LUNGHEZZA (EL-FADEL AND HASHISHO, 2001). 4-68
TABELLA 4-9: SOMMARIO DI ALCUNE MISURE DI CONTROLLO DEI LIVELLI DI INQUINANTE ALL'INTERNO DI TUNNEL (EL-FADEL AND HASHISHO, 2001). 4-74
TABELLA 4-10: VALORE LIMITE PER QUANTO RIGUARDA LA CONCENTRAZIONE DI PM IN AMBIENTE INDOOR. .. 4-89
TABELLA 4-11: CONCENTRAZIONI MEDIE (µG/M^3) PER IL PERIODO DI RIFERIMENTO OGGETTO DI STUDIO. 4-94

4 PROCEDURE PER IL MONITORAGGIO E ADEGUAMENTO DEL PIANO

4.1 DETERMINAZIONE DI INDICATORI E MODALITÀ DI MONITORAGGIO DELLE FASI DEL PIANO E DEI RELATIVI RISULTATI

Unitamente all'adozione da parte dei Comuni del Piano di Qualità dell'Aria è importante che gli stessi prevedano già in programma un monitoraggio ben pianificato. Il monitoraggio e l'eventuale conseguente adeguamento del piano di qualità dell'aria va effettuato verificando l'effettiva riduzione delle emissioni ottenuta tramite l'applicazione dei provvedimenti previsti e la loro efficacia sui livelli di concentrazione degli inquinanti in atmosfera.

La prima e imprescindibile fase del monitoraggio del Piano è costituita dalla raccolta di sufficienti informazioni sulla validità delle azioni. Queste infatti dovranno essere calibrate e corrette in base alle nuove indicazioni, anche alla luce di conoscenze che si dovessero rendere disponibili successivamente alla predisposizione del piano.

L'efficacia delle misure proposte va verificata periodicamente. È necessario quindi che una struttura di coordinamento (come per esempio il già esistente TTZ) si faccia carico di seguire questa procedura. In futuro si auspica quindi il mantenimento ed ampliamento di queste istituzioni, estendendone eventualmente la sua funzione anche alla supervisione dell'efficacia delle azioni e indirizzamento delle politiche comunali in ambito ambientale.

Il compito di questo soggetto di coordinamento potrà essere quello di monitorare l'efficacia delle azioni, ma anche quello di stabilire priorità e tempistica di applicazione delle singole misure, in relazione alle specificità dei singoli territori comunali. Le attività di monitoraggio dell'efficacia delle azioni devono prevedere la verifica del rispetto dei limiti d'emissione (in ambito industriale, ma anche per gli impianti civili e, in caso di introduzione di determinate prescrizioni, per i veicoli), l'ispezione delle prescrizioni stagionali e permanenti (limitazione della circolazione) e la valutazione del grado di penetrazione delle misure di incentivazione (sfruttamento degli incentivi economici, livello di gradimento del trasporto pubblico e alternativo). Più in generale è necessario conseguire con un monitoraggio puntuale ed efficace di tutte le variabili che, direttamente, o indirettamente, influiscono sulla qualità dell'aria: a titolo di esempio, flussi veicolari sulle principali strade (autostrade, viabilità principale, viabilità secondaria), affluenza verso e da i grandi attrattori, consumi di gas per il riscaldamento domestico e usi industriali, traffico aereo e quant'altro utile a quantificare in maniera dettagliata le emissioni in atmosfera (come esemplificato anche in Tabella 3-39).

I compiti di controllo attivo rimangono ovviamente in carico agli enti deputati per legge (Unità Sanitaria Locale, ARPAV, Provincia, Polizia Municipale a seconda degli ambiti) per ciò che riguarda la verifica del rispetto dei limiti di legge. Si dovrà altresì procedere con la raccolta in opportune basi di dati organizzate e fruibili ed elaborazione statistica dei dati presso i destinatari (sia privati che pubblici) coinvolti nel caso delle misure di incentivazione.

Con riferimento ad ogni singola azione proposta si è introdotto uno specifico indicatore di controllo che dovrebbe consentire, affiancato ai valori di emissione dati dall'inventario ed alle misure di concentrazione date dalla rete di monitoraggio, di valutare l'effettiva implementazione del provvedimento e la sua efficacia.
La valutazione delle potenziali emissioni future deriva dall'elaborazione dei dati di emissione attuali ricavati dall'inventario regionale che sarà disponibile nel corso dell'anno 2010 su elaborazione dell'"Osservatorio Aria", e dalla stima dell'efficacia di abbattimento degli inquinanti attribuibile ai differenti provvedimenti di Piano. Le valutazioni attuali sono state effettuate tenendo conto dell'attuale base dati, con tutti i suoi limiti di approssimazione. D'altro canto essa non dà indicazioni sull'eventuale priorità economica e sull'estensione temporale che ogni azione comporta. In futuro si dovrà pensare di correlare vantaggi ambientali e relativa spesa da sostenere associando ad ogni intervento il costo specifico per emissioni evitate. Ciò permetterà di stabilire una priorità in base sia agli aspetti ambientali, sia a quelli economici. Per avere inoltre un quadro più realistico circa l'effettivo successo dei provvedimenti introdotti si deve disporre di dati completi, aggiornati ed il più possibile specifici per eseguire un attento monitoraggio delle azioni di piano.
Si ricorda inoltre che il Piano di Tutela e Risanamento della Qualità dell'Aria individua specifici settori su cui è necessario intervenire per ridurre le emissioni inquinanti ed è quindi necessario tenerne conto nei vari processi di pianificazione. In particolare esso è direttamente connesso con la pianificazione energetica, sia a scala comunale che regionale, e la pianificazione nel settore dei trasporti che dovranno tenere conto dei principi generali fissati dal presente documento.
Per quanto riguarda l'industria si dovrà far riferimento alla Direttiva IPPC sul controllo integrato dell'inquinamento e ai documenti prodotti nell'ambito delle procedure di attuazione della Direttiva stessa (i cosiddetti BREF, best available techniques reference document), oltre a tener conto delle indicazioni di piano.
Per garantire una valutazione obiettiva ed un adeguamento corretto delle misure di piano sarà importante procedere alla raccolta e alla elaborazione dettagliata degli indicatori relativi allo stato di avanzamento delle varie azioni in sede di TTZ. In questa sede si dovrà quindi decidere per il mantenimento, la modifica, l'eliminazione o la sostituzione delle misure applicate.

4.2 INDICATORI DI VALUTAZIONE DELLE EFFICACIA DELLE AZIONI PROPOSTE (PARAGRAFO A CURA DI ARPA VENETO)

Nel presente capitolo sono state nuovamente considerate le azioni per il miglioramento della qualità dell'aria, proposte nel cap. 3, e gli "obiettivi" ad esse associati. Basandosi su ipotetici scenari di implementazione pratica delle azioni, sono stati descritti possibili indicatori che consentono di valutare il risultato, in termini di riduzione delle emissioni, delle azioni

intraprese, e di monitorare lo stato di avanzamento delle attività. Il set di indicatori proposti costituirà, una volta che le azioni verranno definite con dettaglio e specificità nella realtà locale, lo strumento per valutare i risultati prodotti e pianificare l'attività.
Per ogni obiettivo, vengono proposti degli indicatori di risparmio emissivo, che consentono di stimare la riduzione delle emissioni comportata da una determinata azione. Per la maggior parte di essi, sono riportati gli elementi di dettaglio caratteristici (descrizione, dati di partenza e fonti, metodologia di calcolo). Si sottolinea che, al fine di valutare l'efficacia dell'azione per un miglioramento della qualità dell'aria, è importante rapportare le emissioni risparmiate con il totale delle emissioni legate a quel settore di attività (per esempio traffico o emissioni industriali).
Accanto agli indicatori di emissione, si propongono gli indicatori di realizzazione delle attività associate ai vari obiettivi, che hanno la funzione di fornire informazioni su quanto è stato fatto dalle amministrazioni in termini di attività finalizzate al miglioramento della qualità dell'aria.
In alcuni casi, come ad esempio il punto 1.3 ("regolazione della circolazione"), non è stato possibile definire indicatori di risparmio emissivo, in quanto l'azione descritta è di tipo troppo generico, ovvero ha effetti molteplici e non consente la loro quantificazione. In tali casi sono stati discussi solo gli indicatori di attività.

Azione 1. Trasporto urbano sostenibile: riduzione impatto mezzi privati

Obiettivo 1.1. Passaggio da trasporto privato a trasporto pubblico.

Indicatore di risparmio emissivo

L'indicatore proposto stima le emissioni risparmiate grazie all'utilizzo del trasporto pubblico, come alternativa al mezzo di trasporto privato.
Si considerano pertanto due scenari. Nel primo si ipotizza che un certo numero di viaggi venga effettuato con il mezzo di trasporto pubblico, cioè che un certo numero N_{TOT} di persone utilizzi il mezzo pubblico: il viaggio è quindi riferito alla persona, non al mezzo. Nel secondo scenario si ipotizza che quelle stesse persone scelgano il mezzo di trasporto privato per compiere gli stessi tragitti. Vengono quindi calcolate le emissioni dei due scenari e, per differenza, il risparmio emissivo associato all'utilizzo del mezzo pubblico anziché del mezzo privato.
Si precisa che si ipotizza che nei due scenari i tragitti percorsi, e quindi la lunghezza media del viaggio, siano gli stessi.
Nelle formule i viaggi sono suddivisi per tipologia di mezzo utilizzato, per poter associare a ogni categoria di mezzo un diverso fattore di emissione: identificate I categorie nel parco dei mezzi di trasporto pubblico locale, si associa ad ogni categoria $i=1,\dots,I$ il numero di viaggi (ossia persone che intraprendono il viaggio) effettuati con quella categoria di mezzo $N1, \dots, NJ$; analogamente, identificate J categorie nel parco auto ACI, si associa ad ogni

categoria $j=1,\ldots,J$ il numero di viaggi effettuati con quella categoria di auto. Dal momento che il numero dei viaggi nei due scenari è lo stesso, si avrà che

$$\sum_{i=1}^{I} Ni = \sum_{j=1}^{J} Mj = \mathrm{N_{TOT}}$$

Calcolo

- *Dati necessari*
  - Parco mezzi del trasporto pubblico locale.
  - Parco auto ACI.
  - Coefficiente di occupazione medio del mezzo di trasporto pubblico, CO_{TPU}.
  - Coefficiente di occupazione medio del mezzo di trasporto privato, CO_{TPR}=1.2.
  - Fattore di emissione per classe del veicolo (l'indice i rappresenta la classe), *FEi* (g/(veicolo · km)); fonti: EMEP/EEA Air pollutant emission inventory guidebook, 2009. Technical report No 6/2009. http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-emission-inventory-guidebook-2009.
  - Lunghezza media del viaggio, *L*.
  - Numero di viaggi (persone che intraprendono il viaggio) effettuati con ogni tipologia *i* (*i= 1,…,I*) di mezzo pubblico, *Ni*.
  - Numero di viaggi (persone che intraprendono il viaggio) effettuati con ogni tipologia *j* (*j= 1,…,J*) di mezzo privato, *Mj*.

- *Formule*

  Emissione complessiva dal parco di trasporto pubblico

  $$EmTPU = \sum_{i=1}^{I} L \cdot FEi \cdot Ni / CO_{TPU},$$

  emissione complessiva dal parco di trasporto privato

  $$EmTPR = \sum_{j=1}^{J} L \cdot FEj \cdot Mj / CO_{TPR}$$

  emissioni risparmiate

  $EmRIS = EmTPR - EmTPU.$

Attività

- Promozione dell'utilizzo del trasporto pubblico locale.
- Realizzazione di una rete di corsie riservate e controllate anche mediante sistemi telematici.
- Istituzione di un progressivo divieto di circolazione per i veicoli più inquinanti.
- Adeguamento dei mezzi del Trasporto Pubblico Locale (TPL) ai fini della riduzione delle emissioni: impiego di carburanti meno inquinanti (emulsione, bio-carburante), o sostituzione con mezzi a metano, GPL o elettrici.

Indicatori di attività

- Viaggiatori trasportati servizio urbano ed extraurbano (n).
- Ricavi tariffari servizio urbano ed extraurbano (M euro).
- Veicoli TPL del servizio urbano (n) per tipologia di alimentazione.
- Rete TPL (km).
- Corsie riservate (km).
- Rete TPL (km)/Estensione territorio comunale (km2).
- Velocità del TPL (km/h).
- Frequenza TPL (min-1).
- Arco medio giornaliero di servizio (h).
- Posti disponibili nei parcheggi scambiatori (treno-auto e bus-auto) (n).
- Numero abbonamenti TPL (n).

Obiettivo 1.2. Adeguamento mezzi trasporto pubblico locale

Indicatore di risparmio emissivo

L'indicatore proposto stima le emissioni risparmiate grazie a un rinnovo del parco degli automezzi, come avviene nei seguenti esempi:

- conversione delle auto da benzina a GPL o metano (t/a);
- rinnovo del parco degli automezzi per trasporto pubblico e del parco macchine degli enti pubblici.

Si ipotizzano due scenari: nel primo si considera il parco degli automezzi originario; nel secondo si utilizza il parco degli automezzi rinnovato, che si può ottenere a partire dal parco originario e dal numero di veicoli convertiti per ogni classe ambientale. Vengono calcolate le emissioni, nei due scenari, con formule analoghe a quelle utilizzate per il precedente indicatore emissivo 1.1. Dalla differenza tra le emissioni del primo e del secondo scenario si ottiene il risparmio emissivo associato all'azione valutata.

Calcolo

- *Dati*
  - Parco automezzi originario.
  - Parco automezzi dopo la conversione, ottenuto a partire dal parco originario e dal numero di veicoli convertiti per ogni classe ambientale.
  - Fattore di emissione per classe del veicolo (l'indice i rappresenta la classe), *FEi* (mg di inquinante per kg di combustibile utilizzato; fonti EMEP/EEA Air pollutant emission inventory guidebook, 2009. Technical report No 6/2009. http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-emission-inventory-guidebook-2009.
  - Lunghezza media di viaggio, *L*.

- Numero di viaggi (persone che intraprendono il viaggio) effettuati con ogni tipologia *i* (*i= 1,… ,I*) di mezzo del parco originario, *Ni*.
- Numero di viaggi (persone che intraprendono il viaggio) effettuati con ogni tipologia *j* (*j= 1,… ,J*) di mezzo del parco convertito, *Mj*.
- Coefficiente di occupazione medio del mezzo di trasporto, CO.

- *Formula*

emissioni risparmiate

EmRIS = Em1 – Em2,

dove Em2 sono le emissioni del parco automezzi dopo la conversione, Em1 sono le emissioni del parco automezzi originario

$$Em1 = \sum_{j=1}^{J} L \cdot FEj \cdot Nj / CO$$

$$Em2 = \sum_{i=1}^{I} L \cdot FEi \cdot Mi / CO$$

Attività

- Controllo annuale dei gas di scarico (bollino blu) di tutti i veicoli di proprietà dei residenti.
- Incentivazione della trasformazione a gas metano e a GPL degli autoveicoli, a partire dai pre-euro.
- Implementazione, sul territorio, della rete di distributori di carburanti a basso impatto ambientale (metano, GPL).
- Prevedere, nei capitolati d'appalto di opere pubbliche, condizioni che privilegino i parchi veicolari eco-compatibili (elettrici, ibridi, gas metano e GPL).

Indicatori di attività

- Bollini Blu rilasciati (n).
- Auto non catalizzate convertite a GPL e a gas metano (totale) (n).
- Numero di mezzi del TPL sostituiti con altri a più basso impatto ambientale.
- Impianti di distribuzione del carburante a basso impatto ambientale (n).
- Composizione parco automezzi privati per alimentazione (n veicoli).
- Composizione parco automezzi TPL urbano per alimentazione (n veicoli).
- Età media parco mezzi TPL.
- Filtri anti-particolato installati sui mezzi TPL.
- Numero di catalizzatori ossidanti installati su autobus.
- Percentuale di Blu Diesel utilizzato rispetto al gasolio totale acquistato.

Obiettivo 1.3. Fluidificazione e regolazione della circolazione

Attività

- Accelerazione dell'attuazione di tutte le misure di razionalizzazione e snellimento dei flussi di traffico attraverso l'applicazione delle migliori pratiche e tecnologie.
- Introduzione, in tutti i centri urbani, di sistemi automatici per il controllo dei limiti di velocità e progressiva estensione delle zone con limite di velocità di 30 km/h.
- Progettazione e realizzazione di interventi di moderazione del traffico, in particolare attraverso la sostituzione degli incroci, anche semaforizzati, con rotatorie e l'utilizzo esteso dei passaggi pedonali sopraelevati.
- Monitorare la concreta operatività dei "mobility managers" aziendali e di area previsti dal decreto ministeriale del 27/03/1998 "Mobilità sostenibile nelle aree urbane - promuovere iniziative per la riorganizzazione degli orari scolastici, della pubblica amministrazione e delle attività commerciali per ridurre la congestione del traffico veicolare e del trasposto pubblico negli orari di punta".
- Prevedere l'obbligo di spegnimento del motore dei veicoli in tutte le situazioni non derivanti dalle dinamiche del traffico e della circolazione stradale.

Indicatori di attività

- Velocità media dei mezzi privati negli orari di punta (in tangenziale e in circonvallazione) (km/h).
- Numero incroci semaforizzati totali, con centrale controllo del traffico, con priorità al mezzo pubblico (n).
- Incremento delle "Zone 30" (km^2).
- Numero incroci con rotatoria (n).
- "Mobility managers" nominati (n).
- "Mobility Manager": Accordi di Programma sottoscritti (n).
- Piani di Spostamento Casa Lavoro pervenuti al Comune (n).
- Car sharing (km percorsi).

Obiettivo 1.4. Definizione di corsie preferenziali

Attività

- Realizzazione di nuove tratte di corsie preferenziali dedicate ai mezzi di trasporto pubblico.

Indicatori di attività

- Nuove tratte di corsie preferenziali dedicate al trasporto pubblico realizzate (km).

Obiettivo 1.5. Rinnovo del parco auto

Indicatore di risparmio emissivo

L'indicatore proposto stima le emissioni risparmiate grazie a un rinnovo del parco degli automezzi, con metodologia analoga a quella discussa per l'indicatore 1.2.

Si ipotizzano due scenari: nel primo si considera il parco degli automezzi originario; nel secondo si utilizza il parco degli automezzi rinnovato. Vengono calcolate le emissioni, nei due scenari, con formule analoghe a quelle utilizzate per il precedente indicatore emissivo 1.1. Dalla differenza tra le emissioni del primo e del secondo scenario si ottiene il risparmio emissivo associato all'azione valutata.

Calcolo

- *Dati*
  - Parco automezzi originario.
  - Parco automezzi nuovo.
  - Fattore di emissione per classe del veicolo (l'indice i rappresenta la classe), *FEi* (g/(veicolo·km)); fonti EMEP/EEA Air pollutant emission inventory guidebook, 2009. Technical report No 6/2009. http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-emission-inventory-guidebook-2009.
  - Lunghezza media di viaggio, *L*.
  - Numero di viaggi (persone che intraprendono il viaggio) effettuati con ogni tipologia *i* (*i= 1,… ,I*) di mezzo del parco originario, *Ni*.
  - Numero di viaggi (persone che intraprendono il viaggio) effettuati con ogni tipologia *j* (*j= 1,… ,J*) di mezzo del parco nuovo, *Mj*.
  - Coefficiente di occupazione medio del mezzo di trasporto, CO=1.2.
- *Formula*

  emissioni risparmiate

  $EmRIS = Em1 - Em2,$

  dove Em2 sono le emissioni del parco automezzi dopo la conversione, Em1 sono le emissioni del parco automezzi originario:

  $$Em1 = \sum_{j=1}^{J} L \cdot FEj \cdot Nj / CO \ ,$$

  $$Em2 = \sum_{i=1}^{I} L \cdot FEi \cdot Mi / CO \, .$$

Attività

- Controllo annuale dei gas di scarico (bollino blu) di tutti i veicoli di proprietà dei residenti.
- Incentivazione della trasformazione a gas metano e a GPL degli autoveicoli, a partire dai pre-euro.

- Implementazione, sul territorio, della rete di distributori di carburanti a basso impatto ambientale (metano, GPL).
- Prevedere, nei capitolati d'appalto di opere pubbliche, condizioni che privilegino i parchi veicolari eco-compatibili (elettrici, ibridi, gas metano e GPL).

Indicatori di attività
- Bollini Blu rilasciati (n).
- Auto non catalizzate convertite a GPL e a gas metano (totale) (n).
- Numero di mezzi del TPL sostituiti con altri a più basso impatto ambientale.
- Impianti di distribuzione del carburante a basso impatto ambientale (n).
- Composizione parco automezzi privati per alimentazione (n veicoli).
- Composizione parco automezzi TPL urbano per alimentazione (n veicoli).
- Età media parco mezzi TPL .
- Filtri anti-particolato installati sui mezzi TPL.
- Numero di catalizzatori ossidanti installati su autobus.
- Percentuale di Blu Diesel utilizzato rispetto al gasolio totale acquistato.

Obiettivo 1.6. Aumento delle Zone a Traffico Limitato (ZTL)

Attività
- Incremento delle ZTL

Indicatori di attività
- Estensione delle ZTL comunali (km^2).
- Autorizzazioni all'accesso ZTL totali (n).

Obiettivo 1.7. Aumento zone pedonali

Attività

Incremento delle zone pedonali.

Indicatori di attività

Estensione delle zone pedonali (km^2).

Obiettivi 1.8 e 1.9. Aumento percorsi ciclo-pedonali, incentivazione ciclabilità

Indicatore di risparmio emissivo

L'indicatore si propone di valutare il risparmio emissivo conseguente alla fruizione dei percorsi ciclo-pedonali resi disponibili, tramite l'utilizzo della bicicletta come alternativa al mezzo di trasporto privato. Si ipotizza che i mezzi che verrebbero utilizzati in alternativa alla bicicletta abbiano una distribuzione Ni (i=1,…,I), in funzione della loro classe ambientale,

analoga a quella del parco ACI. Il numero totale di viaggi effettuati in bicicletta sarà

$$Ntot = \sum_{i=1}^{I} Ni$$

L'impatto emissivo della bicicletta è, naturalmente, nullo.

Calcolo

- *Dati*
  - Parco automezzi ACI.
  - Fattore di emissione per classe del veicolo (l'indice i rappresenta la classe), *FEi* (g/(veicolo·km)); fonti: EMEP/EEA Air pollutant emission inventory guidebook, 2009. Technical report No 6/2009. http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-emission-inventory-guidebook-2009.
  - Lunghezza media di viaggio, *L*.
  - Numero di viaggi (persone che intraprendono il viaggio) effettuati con ogni tipologia *i* ($i = 1,\dots,I$) di mezzo del parco originario, *Ni*.
  - Coefficiente di occupazione medio del mezzo di trasporto, CO=1,2.
- *Formula*

  Emissioni risparmiate

  $$EmRIS = \sum_{j=1}^{J} L \cdot FEj \cdot Nj / CO\,.$$

Attività

- Progressivo incremento dei percorsi ciclabili.
- Realizzazione di percorsi ciclo-pedonali sicuri casa-scuola e incremento della rete di itinerari protetti.

Indicatori di attività

- Lunghezza delle piste ciclabili (km per senso di marcia).

Obiettivo 1.10. Organizzazione di trasporti collettivi per i bambini che vanno a scuola

Indicatore di risparmio emissivo

L'indicatore si propone di valutare il risparmio emissivo conseguente all'organizzazione di un servizio di pedibus per i bambini che vanno a scuola. Si ipotizza:

- che, in assenza di tale servizio, i bambini verrebbero accompagnati a scuola con mezzo privato;
- che il viaggio di tale mezzo privato non sarebbe effettuato nel caso in cui, invece, il bambino prendesse il pedibus;
- che i mezzi utilizzati in alternativa al pedibus abbiano una distribuzione *Ni* ($i = 1,\dots,I$), in funzione della loro classe ambientale, analoga a quella del parco ACI. Il numero totale di bambini aderenti al servizio di pedibus sarà

$$Ntot = \sum_{i=1}^{I} Ni$$

L'impatto emissivo del pedibus è, naturalmente, nullo.

Calcolo

- *Dati*
  - Parco automezzi ACI.
  - Fattore di emissione per classe del veicolo (l'indice i rappresenta la classe), *FEi* (g/(veicolo·km)); fonti EMEP/EEA Air pollutant emission inventory guidebook, 2009. Technical report No 6/2009. http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-emission-inventory-guidebook-2009.
  - Lunghezza media di viaggio, *L*.
  - Numero di viaggi effettuati con ogni tipologia *i* ($i= 1,\dots,I$) di mezzo del parco originario, *Ni*.
- *Formula*

  emissioni risparmiate

$$EmRIS = \sum_{j=1}^{J} L \cdot FEj \cdot Nj$$

Attività

- Sensibilizzazione delle nuove generazioni a problematiche ambientali.
- Diminuzione della congestione del traffico intorno ai poli scolastici nelle ore di punta.

Indicatori di attività

- Numero di bambini che aderiscono alle iniziative di trasporto collettivo (n).

<u>Azione 2. Riduzione dell'impatto dei mezzi commerciali</u>

Obiettivo 2.1. Governo degli accessi

Attività

- Definizione di finestre orarie in cui deve avvenire la consegna delle merci.
- Realizzazione e riserva di corsie e piazzole dedicate.
- Definizione di percorsi ottimizzati da consigliare o imporre a determinate categorie di veicoli per l'accesso in area urbana.

Indicatori di attività

Numero di autorizzazioni all'accesso ZTL per carico e scarico merci (n).

Numero di piazzole dedicate (n).

Nuove corsie dedicate create (km).

Obiettivo 2.2. Trasformazione o sostituzione dei mezzi commerciali

Indicatore di risparmio emissivo

L'indicatore proposto stima le emissioni risparmiate grazie a un rinnovo del parco degli automezzi (come già illustrato nel caso dell'obiettivo 1.2), in questo caso di tipo commerciale. Si analizzano due scenari: nel primo si considera il parco degli automezzi originario; nel secondo si utilizza il parco degli automezzi rinnovato, che si può ottenere a partire dal parco originario e dal numero di veicoli convertiti o sostituiti per ogni classe ambientale. Vengono calcolate le emissioni, nei due scenari, con formule analoghe a quelle utilizzate per l'indicatore emissivo 1.2. Dalla differenza tra le emissioni del primo e del secondo scenario si ottiene il risparmio emissivo associato all'azione valutata.

Calcolo

- *Dati*
  - Parco automezzi originario.
  - Parco automezzi dopo la conversione, ottenuto a partire dal parco originario e dal numero di veicoli convertiti o sostituiti, per ogni classe ambientale.
  - Fattore di emissione per classe del veicolo (l'indice i rappresenta la classe), *FEi* (g/(veicolo·km)); fonti: EMEP/EEA Air pollutant emission inventory guidebook, 2009. Technical report No 6/2009. http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-emission-inventory-guidebook-2009.
  - Lunghezza media di viaggio, *L*.
  - Numero di viaggi effettuati con ogni tipologia *i* ($i = 1,\dots,I$) di mezzo del parco originario, *Ni*.
  - Numero di viaggi effettuati con ogni tipologia *j* ($j = 1,\dots,J$) di mezzo del parco convertito, *Mj*.
- *Formula*

  Emissioni risparmiate

  $EmRIS = Em1 - Em2,$

  dove Em2 sono le emissioni del parco dei veicoli commerciali rinnovato, Em1 sono le emissioni del vecchio parco dei veicoli commerciali:

$$Em1 = \sum_{j=1}^{J} L \cdot FEj \cdot Mj$$

$$Em2 = \sum_{i-1}^{I} L \cdot FEi \cdot Ni$$

Attività

- Riduzione delle emissioni prodotte dai veicoli commerciali, mediante azioni di stimolo alla sostituzione o alla trasformazione del parco mezzi, verso veicoli a basso impatto.

Indicatori di attività

- Mezzi commerciali circolanti per tipologia (n).
- Acquisto di mezzi commerciali con fondi dedicati (n).

Obiettivo 2.3. Limitazione del transito di mezzi pesanti in area urbana

Attività

- Definizione di finestre orarie in cui deve avvenire la consegna delle merci.
- Realizzazione e riserva di corsie e piazzole dedicate.
- Definizione di percorsi ottimizzati da consigliare o imporre a determinate categorie di veicoli per l'accesso in area urbana.

Indicatori di attività

Numero di autorizzazioni all'accesso ZTL per carico e scarico merci (n).

Numero di piazzole dedicate (n).

Nuove corsie dedicate create (km).

Azione 3. riduzione dell'impatto degli impianti civili

Obiettivo 3.1. Trasformazione e sostituzione degli impianti

Indicatore di risparmio emissivo

Questo indicatore si propone di valutare il risparmio emissivo associato al rinnovo degli impianti civili, stimando le emissioni causate dalle vecchie caldaie (Em1) e quelle associate alle nuove caldaie (Em2), e valutandone la differenza. Il "parco caldaie" rinnovato deve essere stimato a partire dal vecchio "parco caldaie" e dal numero di impianti sostituiti, per ogni classe di potenza

Calcolo

- *Dati*
  - *Ni*, numero di caldaie del vecchio "parco caldaie" appartenenti alla classe *i* ($i=1,...I$).
  - *Mi*, numero di caldaie del "parco caldaie" rinnovato appartenenti alla classe *i*.
  - *FEi*, fattori di emissione di ogni tipologia di caldaia (mg/kWh); fonti: EMEP/EEA Air pollutant emission inventory guidebook, 2009. Technical report No 6/2009. http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-emission-inventory-guidebook-2009.
  - *Pi*, potenza della caldaia (kW).
  - *t*, tempo medio di utilizzo della caldaia (h).
- *Formula*

  Emissioni associate al vecchio parco caldaie:

$$Em1 = \sum_{i=1}^{I} Ni \cdot FEi \cdot Pi \cdot t,$$

emissioni associate al nuovo parco caldaie:

$$Em2 = \sum_{i=1}^{I} Mi \cdot FEi \cdot Pi \cdot t$$

$$EmRIS = Em1 - Em2$$

Attività

Completamento del programma di trasformazione degli impianti termici della Pubblica Amministrazione da gasolio a metano, GPL o allacciamento a reti di teleriscaldamento.

Indicatori di attività

- Caldaie convertite a metano ad alta efficienza sul territorio (n).
- Caldaie della Pubblica Amministrazione convertite a metano ad alta efficienza o allacciate alla rete di teleriscaldamento (n).

Obiettivi 3.2 e 3.3. Miglioramento del rendimento energetico, osservanza di norme di contenimento energetico

Attività

- Promozione del miglioramento del rendimento energetico in campo residenziale.
- Introduzione, nei regolamenti edilizi comunali, di rigorosi standard di prestazione di rendimento energetico.
- Realizzazione di un efficace sistema di verifica dell'osservanza delle norme vigenti sul contenimento dei consumi energetici, in relazione alle diverse fasi di progettazione, messa in opera ed esercizio di edifici e manufatti.

Indicatori di attività

- Controlli effettuati per il rilascio di un "certificato verde" per le caldaie (n).
- Numero edifici che cambiano in meglio la classificazione energetica (n).

Obiettivo 3.4. Incentivazione all'uso di energie rinnovabili e alla creazione di reti energetiche

Indicatore di risparmio emissivo 1

L'indicatore rappresenta una stima del risparmio emissivo conseguente all'installazione di pannelli fotovoltaici. Si assume che i fattori di emissione per il fotovoltaico siano nulli e che, in assenza di esso, l'energia sarebbe stata prodotta da una centrale termoelettrica

Calcolo

- *Dati*

- *FR*, fattore di rendimento medio del fotovoltaico nella zona di Verona (1200 kWh per kW di picco).
- *FE*, Fattori di emissione di una centrale termoelettrica (mg/kWh); fonte: EMEP/EEA Air pollutant emission inventory guidebook, 2009. Technical report No 6/2009. http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-emission-inventory-guidebook-2009.
- *Pj*, potenza totale fornita dal fotovoltaico nel j-esimo Comune (kW).

- *Formula*

Emissioni risparmiate in un anno

$$EmRIS = \sum_{j=1}^{J} FE \cdot Pj \cdot FR \cdot 8760.$$

Indicatore di risparmio emissivo 2

Variazione del risparmio emissivo conseguente all'utilizzo di nuove reti energetiche per la cogenerazione e il teleriscaldamento.

L'indicatore rappresenta una stima del risparmio emissivo conseguente all'utilizzo di nuove reti energetiche per la cogenerazione e il teleriscaldamento. Il calcolo deve essere realizzato considerando la differenza di emissioni tra un impianto tradizionale (per esempio una centrale termica alimentata per il 35% a gasolio e per il 65% a metano, con rendimento medio stagionale pari al 75%, e una centrale elettrica con emissioni medie italiane) e gli impianti di teleriscaldamento per le stesse quantità di energia (termica ed elettrica) prodotte, utilizzando i dati messi a disposizione da AGSM.

Attività

- Prevedere, per i nuovi insediamenti abitativi, accanto alle tradizionali opere di urbanizzazione, le nuove "reti energetiche" per il teleriscaldamento e la cogenerazione.
- Incentivare, per le nuove costruzioni, l'adozione di misure di sostenibilità ed efficienza energetica.

Indicatori di attività

- Estensione della rete di teleriscaldamento e cogenerazione (km2).
- Pannelli fotovoltaici installati (n).
- Pannelli solari installati (n).

Azione 4. Riduzione impatto delle attività produttive

Obiettivo 4.1. Riconversione e trasformazione mezzi di trasporto

Indicatore di risparmio emissivo

L'indicatore proposto stima le emissioni risparmiate grazie a un rinnovo del parco degli automezzi (come già illustrato nel caso dell'obiettivo 1.2), in questo caso a servizio delle attività produttive.

Si analizzano due scenari: nel primo si considera il parco degli automezzi originario; nel secondo si utilizza il parco degli automezzi rinnovato, che si può ottenere a partire dal parco originario e dal numero di veicoli convertiti o sostituiti per ogni classe ambientale. Vengono calcolate le emissioni, nei due scenari, con formule analoghe a quelle utilizzate per l'indicatore emissivo 1.2. Dalla differenza tra le emissioni del primo e del secondo scenario si ottiene il risparmio emissivo associato all'azione valutata.

Calcolo

- *Dati*
  - Parco automezzi originario.
  - Parco automezzi dopo la conversione, ottenuto a partire dal parco originario e dal numero di veicoli convertiti o sostituiti, per ogni classe ambientale.
  - Fattore di emissione per classe del veicolo (l'indice i rappresenta la classe), *FEi* (g/(veicolo·km)); fonti: EMEP/EEA Air pollutant emission inventory guidebook, 2009. Technical report No 6/2009. http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-emission-inventory-guidebook-2009.
  - Lunghezza media di viaggio, *L*.
  - Numero di viaggi effettuati con ogni tipologia *i* ($i = 1,\dots,I$) di mezzo del parco originario, *Ni*.
  - Numero di viaggi effettuati con ogni tipologia *j* ($j = 1,\dots,J$) di mezzo del parco convertito, *Mj*.
- *Formula*

  Emissioni risparmiate

  $EmRIS = Em1 - Em2,$

  dove Em2 sono le emissioni del parco dei veicoli commerciali rinnovato, Em1 sono le emissioni del vecchio parco dei veicoli commerciali:

  $$Em1 = \sum_{j=1}^{J} L \cdot FEj \cdot Mj$$

  $$Em2 = \sum_{i=1}^{I} L \cdot FEi \cdot Ni$$

Attività

- Verifica e sviluppo dell'attuazione degli indirizzi, forniti alle Aziende di gestione dei servizi, per la destinazione di quote crescenti di investimenti aziendali all'acquisto di nuovi mezzi esclusivamente eco-compatibili (metano, GPL, elettrici, ibridi..) affinché

si giunga al completamento del rinnovo dell'intero parco automezzi entro data da stabilirsi.

- Dotazione del rimanente parco veicoli alimentati a carburante convenzionale, delle aziende di gestione dei servizi, di sistemi di filtrazione dei gas di scarico.
- Promozione di sistemi di trasporto intermodale che prevedano l'utilizzo della rete ferroviaria per il trasporto di merci e di rifiuti.

Indicatori di attività

Composizione Parco automezzi.

Obiettivo 4.2. Piattaforme di interscambio merci

Indicatore di risparmio emissivo

Si ipotizza uno scenario in cui le merci giungano a un centro di interscambio tramite ferrovia completamente elettrizzata, il cui impatto emissivo si assume essere nullo per una prima stima, e che da lì siano trasportate al centro cittadino tramite mezzi elettrici. Nello scenario alternativo, con cui si effettua il confronto, il trasporto avviene con automezzi tutti di una stessa tipologia, per una stima grossolana, e pertanto caratterizzati da uno stesso fattore di emissione FE (per esso si potrà scegliere quello della classe preponderante del parco degli automezzi).

Calcolo

- *Dati*
  - Fattore di emissione dei camion, *FE* (g/(veicolo·km)) (fonte: EMEP/EEA Air pollutant emission inventory guidebook, 2009. Technical report No 6/2009. http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-emission-inventory-guidebook-2009).
  - Lunghezza media di viaggio, *L*.
  - Merci che giungono alla piattaforma, *M*.
  - Merce trasportata da un singolo camion, **m**.
- *Formula*

$$EmRIS = \sum_{i=1}^{I} L \cdot FEi \cdot M / m .$$

Attività

- Riduzione del numero di accessi di mezzi motorizzati al centro urbano.
- Riduzione del trasporto merci su gomma.

Indicatore attività

- Composizione parco automezzi.

Obiettivo 4.3. Adozione delle BAT negli impianti produttivi

Indicatori di efficacia

L'indicatore rappresenta il risparmio emissivo ottenuto dalla sostituzione o adeguamento degli impianti, ed è ottenuto dalla somma del risparmio emissivo associato al miglioramento del singolo impianto. Quest'ultimo dato deve essere valutato caso per caso.

Calcolo

- *Dati*
  - *Rj*, risparmio emissivo associato al singolo impianto, in seguito a adozione di nuove migliori tecnologie.

- *Formula*

$$EmRIS = \sum_{j=1}^{J} Rj$$

Attività

Perseguire, nell'ambito delle procedure previste per il rilascio della Autorizzazione Integrata Ambientale (IPPC), sia per i nuovi impianti sia per l'adeguamento degli impianti esistenti, la prevenzione e la riduzione dell'inquinamento atmosferico mediante l'applicazione delle migliori tecniche disponibili (BAT) .

Indicatori di attività

Quadro degli impianti soggetti ad Autorizzazione Integrata Ambientale.

Azione 5. Applicazione di misure programmate di limitazione del traffico

Obiettivi 5.1 e 5.2. Limitazione alla circolazione di veicoli inquinanti, blocchi del traffico.

Indicatore di efficacia

L'indicatore ha come obiettivo la valutazione del risparmio emissivo associato alla diminuzione del traffico.

L'indicatore stima la riduzione delle emissioni conseguente alla non circolazione di determinate classi di veicoli ovvero di tutti i veicoli (nel caso di blocco totale del traffico). Il calcolo presuppone la conoscenza del numero di veicoli che non circolano e della classe ambientale di appartenenza.

Calcolo

- *Dati*
  - Parco automezzi non circolanti.
  - Fattore di emissione per calasse di veicolo, *FEj* (g/(veicolo·km)); fonte: EMEP/EEA Air pollutant emission inventory guidebook, 2009. Technical report No 6/2009. http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-emission-inventory-guidebook-2009.

- Lunghezza media di viaggio, *L*.
- Numero di veicoli non circolanti, per classe di veicolo, *Nj*.

- *Formula*

Emissioni risparmiate

$$EmRIS = \sum_{j=1}^{J} L \cdot FEj \cdot Nj \ .$$

Attività

Riduzione del numero di accessi di veicoli motorizzati a elevato impatto ambientale al centro urbano o a specifiche aree.

Indicatori di attività

- Numero di blocchi del traffico realizzati (n).
- Numero di veicoli ad alto impatto ambientale non circolanti (n).

Azione 6. Pianificazione territoriale

Obiettivo 6.1. Adozione di norme o piani di gestione territoriale che contribuiscano alla riduzione dell'inquinamento atmosferico.

Indicatori di attività

(indicatori non direttamente legati al risparmio emissivo, ma a criteri di sostenibilità).

- Aree di verde previste dalla pianificazione territoriale (km^2).
- Aree protette previste dalla pianificazione territoriale (km^2).
- Incremento di aree di verde previste dalla pianificazione territoriale (km^2).
- Incremento di aree protette previste dalla pianificazione territoriale (km^2).
- Incremento della rete di trasporto pubblico (km).

4.3 AZIONI CONOSCITIVE: INDICAZIONI DI APPROFONDIMENTO

All'interno di questo paragrafo sono riportate alcune indicazioni finalizzate all'approfondimento, inteso come vera e propria "azione conoscitiva", di alcuni processi di interesse per l'area in esame. In particolare tali processi riguardano la combustione della legna (paragrafo 4.3.1), il trattamento dei rifiuti (paragrafo 4.3.2), la valorizzazione di biomasse di scarto per generazione di energia (paragrafo 4.3.3), le emissioni da traffico nonché alcune misure e/o tecnologie finalizzate alla loro riduzione (paragrafo 4.3.4). Fra le azioni conoscitive si è inoltre inclusa la predisposizione e l'utilizzo di strumenti di previsione della qualità dell'aria a supporto dell'adozione di misure (paragrafo 4.3.5).

Gli elementi riportati costituiscono lo spunto per successive azioni di approfondimento della applicabilità delle soluzioni prospettate allo specifico contesto in esame. Queste non potranno prescindere, come già ricordato, da una serie di altre valutazioni di compatibilità e

convenienza dei costi in relazione ai benefici attesi, di coordinamento con gli strumenti di pianificazione e quant'altro.
Un particolare paragrafo riguarda il tema dell'inquinamento indoor. In senso stretto tale argomento non rientra negli ambiti di competenza di un PQA; tuttavia l'esposizione della popolazione agli inquinanti atmosferici risente del fatto che una significativa parte della giornata è passata in ambienti chiusi, il cui livello di inquinamento dipende solo in parte dalle concentrazioni outdoor.

4.3.1 Ruolo della combustione della legna

4.3.1.1 Traccianti della combustione della legna

L'inquinamento atmosferico è caratterizzato dalla presenza di diverse sorgenti emissive che contribuiscono in maniera differente, sia quantitativamente, sia qualitativamente, all'immissione di inquinanti in atmosfera. Per questo motivo è spesso difficile determinare il contributo di una singola sorgente all'inquinamento atmosferico. A questo scopo vengono utilizzati dei modelli matematici per determinare i contributi delle diverse sorgenti. Tali modelli possono essere basati sulle sorgenti (*source based models*) oppure basati sui recettori (*receptor-based models*).
Questi ultimi, chiamati spesso anche modelli a bilancio di massa (*chemical mass models CMB*), determinano i contributi delle diverse sorgenti all'inquinamento atmosferico partendo da dati ricavati attraverso misurazioni svolte presso i recettori e dalle conoscenze riguardanti la composizione delle emissioni dalle potenziali sorgenti, assumendo la conservazione della massa durante il trasporto. Un modello a recettori può basarsi sull'analisi dei traccianti, ossia di elementi, composti o gas che vengono emessi da una particolare sorgente in quantità o rapporti caratteristici.
La forma più semplice di modello a recettori utilizza un singolo "tracciante" per ogni sorgente. Un tracciante ideale deve avere le seguenti caratteristiche:

- Unicità: deve essere emesso da un solo tipo di sorgente;
- Costanza: le condizioni ambientali e di esercizio della sorgente non devono modificare il fattore di emissione;
- Inerzia: la massa di tracciante si deve conservare nel trasporto atmosferico fra la sorgente e il recettore;
- Alta precisione di misura: la concentrazione deve poter essere misurata con esattezza alla sorgente e al recettore.

Il tracciante inoltre deve essere emesso in grandi quantità in quanto deve essere riconoscibile e quantificabile anche dopo il trasporto a lunga distanza e dopo essere stato diluito e mescolato in atmosfera (Khalil e Rasmussen, 2003; Matthew et al., 2000).

Fra i traccianti della combustione della legna principalmente utilizzati vi sono potassio, cloruri, cloruro di metile, composti quali diterpenoidi, triterpenoni, triterpadieni, fenoli metoxylati e monosaccaridi anidri derivanti dalla disgregazione della cellulosa, quali mannosano, galactosano e levoglucosano. Anche il rapporto fra carbonio elementare e carbonio organico (EC/OC) può essere usato come tracciante della combustione della legna: valori bassi di questo rapporto sono riconducibili alla combustione della legna, mentre valori alti sono associati alla combustione relativa al traffico veicolare (Khalil e Rasmussen, 2003).

4.3.1.2 Levoglucosano

Il levoglucosano (1,6-anhydro-β-D-glucopyranose) (Figura 4-1) si forma in seguito alla decomposizione della cellulosa a temperature superiori a 300°C.

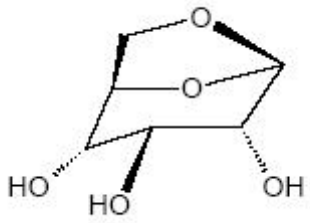


Figura 4-1: Struttura chimica del levoglucosano (1,6-anhydro-β-D-glucopyranose).

Viene emesso in grandi quantità dalla combustione della legna, il suo fattore di emissione è compreso in un range di 40–2000 mg per ogni kilogrammo di legna bruciata. Il levoglucosano è una molecola molto stabile in atmosfera, non mostra decadimento anche dopo diverse ore di esposizione alle condizioni ambientali e alla radiazione solare (Simoneit et al., 1999). Questo composto si trova adsorbito sulle particelle più fini. È stato provato, infatti, che la sua concentrazione non cambia significativamente se misurata su $PM_{2,5}$ e PM_{10}. Ciò conferma il fatto che la maggioranza della massa di particelle emesse dalla combustione della legna è associata a particelle con diametro aerodinamico inferiore ad 1 µm ($PM_{1,0}$) (Simpson et al., 2004).

4.3.1.3 Determinazione del levoglucosano in aria ambiente

In Tabella 4-1 si riportano alcuni dati di letteratura riferiti a concentrazioni di levoglucosano e rapporto levoglucosano/PM_{10} misurati in aria ambiente. Esiste una grande variabilità nelle concentrazioni di levoglucosano misurate in diversi posti del mondo. Ciò è dovuto alle differenze nel tipo di legna utilizzata, ai diversi tipi di impianti di combustione e alla diversa natura del particolato stesso campionato in aria ambiente. È quindi chiara l'importanza di avere a disposizione dati relativi alla realtà locale, o almeno nazionale.

Tabella 4-1: Dati di letteratura relativi a misure di levoglucosano in aria ambiente.

	Levoglucosano [µg m^{-3}]	**LG / PM_{10}**	**Fonte**
Brownsville (Texas)	1100	1.17%	Fraser e Lakshmanan, 2000
Corpus Christi (Texas)	1000	1.03%	Fraser e Lakshmanan, 2000
Victoria (Texas)	1200	1.28%	Fraser e Lakshmanan, 2000
S. Dallas (Texas)	500	0.40%	Fraser e Lakshmanan, 2000
N. Dallas (Texas)	500	0.42%	Fraser e Lakshmanan, 2000
Bingle (Texas)	300	0.43%	Fraser e Lakshmanan, 2000
Clinton (Texas)	200	0.19%	Fraser e Lakshmanan, 2000
Monroe (Texas)	400	0.74%	Fraser e Lakshmanan, 2000
Crawford (Texas)	200	0.30%	Fraser e Lakshmanan, 2000
Seattle	172	0.57%	Simpson et al., 2004
Rondonia (Amazzonia), inverno	2006	-	Zdrahal et al., 2002
Rondonia (Amazzonia), estate	4.4	-	Zdrahal et al., 2002
Fresno (California)	4860	-	Shauer e Cass, 2000
Bakersfield (California)	1235	-	Shauer e Cass, 2000
Kern Wildlife (California)	23.9	-	Shauer e Cass, 2000
Tasmania (Australia), inverno	5845	12.25%	Jordan et al., 2006
Tasmania (Australia), estate	455	0.91%	Jordan et al., 2006
Ghent (Belgio), inverno	420	0.88%	Pashynska et al., 2002
Ghent (Belgio), estate	19.1	0.06%	Pashynska et al., 2002
Milano, inverno	528	0.73%	-
Milano, estate	52	0.14%	-
Cantù, inverno	749	1.16%	-
Cantù, estate	48	0.15%	-

Nelle figure seguenti (Figura 4-2; Figura 4-3) sono riportati i grafici delle correlazioni fra le concentrazioni di PM_{10} e di levoglucosano misurate in una provincia alpina nel corso di una campagna di misura condotta dal Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell'Università di Trento (DICA, 2006). In Figura 4-2 sono riportati i dati relativi alle misure effettuate nella zona urbana di una città alpina, mentre in Figura 4-3 vengono illustrati i valori relativi alle zone di montagna monitorate. Come si può notare in Figura 4-4, i valori riportati non mostrano lo stesso tipo di correlazione tra PM_{10} e levoglucosano. Ciò conferma la diversa natura del particolato analizzato nelle due tipologie di area considerate (zona urbana – zona montana), a cui corrispondono differenti sorgenti di particolato.

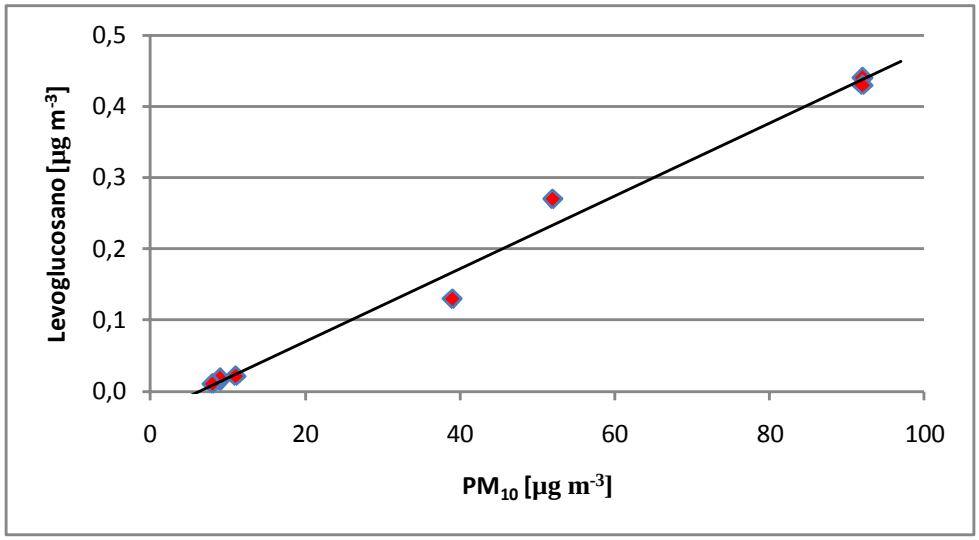


Figura 4-2: Correlazione fra concentrazioni di PM_{10} e levoglucosano rilevate nella zona urbana di una città alpina.

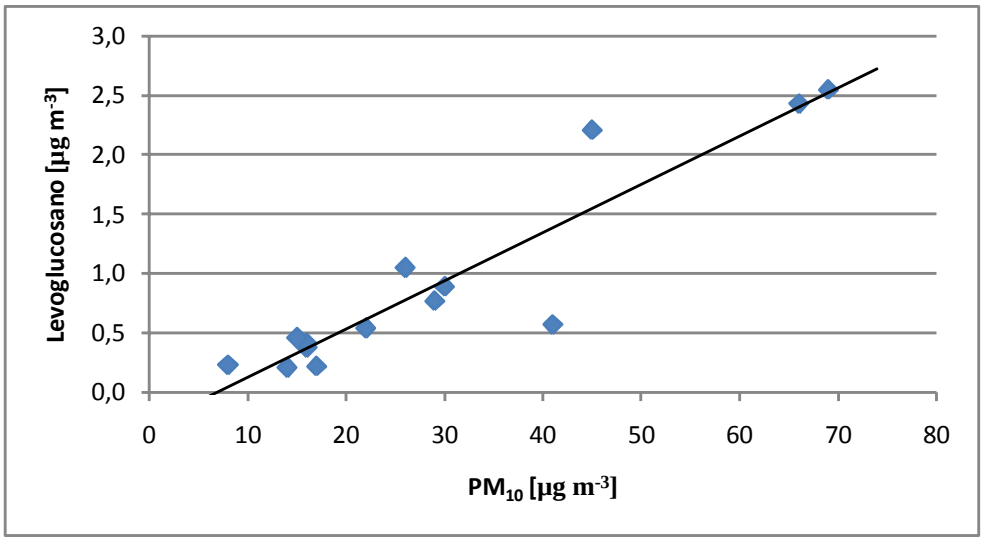


Figura 4-3: Correlazione fra concentrazioni di PM_{10} e levoglucosano rilevate in zona montana alpina.

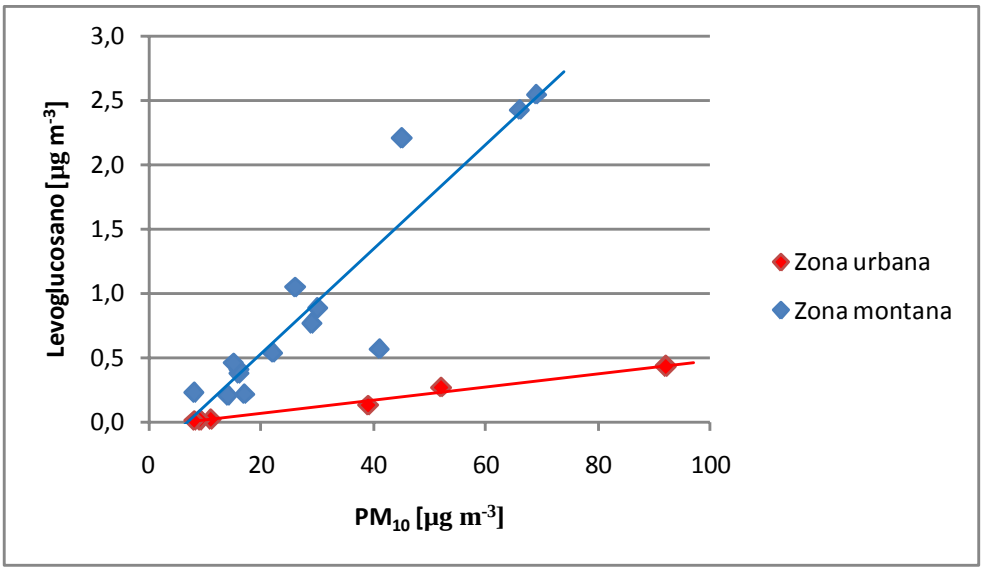


Figura 4-4: Correlazione fra concentrazioni di PM_{10} e levoglucosano.

Come si può notare in Figura 4-5, le concentrazioni di levoglucosano misurate nell'area urbana alpina nel periodo invernale mostrano un valore medio circa 19 volte superiore a quello registrato nel periodo estivo. Le concentrazioni misurate in estate nella zona urbana possono essere considerate come valori di fondo della zona. Esse possono essere legate sia a sorgenti presenti localmente, quali, ad esempio, la combustione nei forni a legna delle pizzerie, sia al trasporto di inquinanti provenienti da zone remote e incendi boschivi.
In Figura 4-6 viene riportato il rapporto tra le concentrazioni di levoglucosano e PM_{10} in zona urbana: in estate il rapporto è in media circa la metà rispetto al valore invernale. Questo dato conferma la presenza di una sorgente di levoglucosano, ossia la combustione della legna negli impianti domestici, nella stagione invernale anche all'interno dell'area urbana.

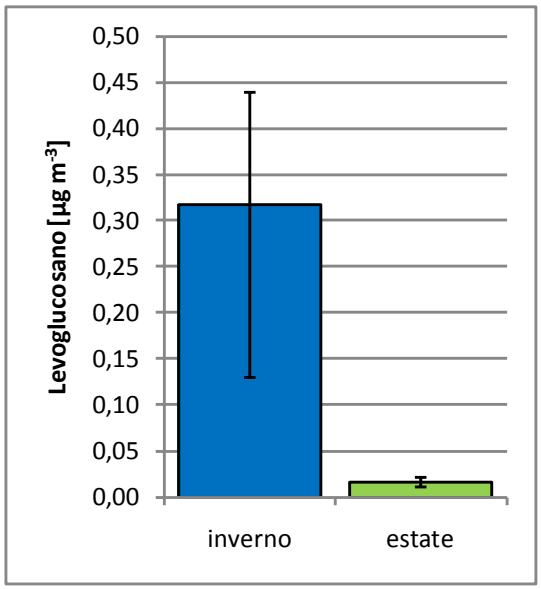


Figura 4-5: Concentrazioni di levoglucosano misurate nella zona urbana di una città alpina.

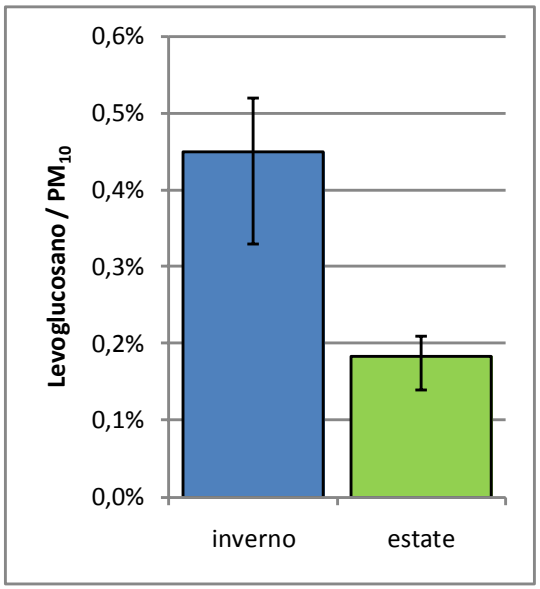


Figura 4-6: Rapporto fra levoglucosano e PM_{10} misurato nella zona urbana di una città alpina.

4.3.1.4 Conclusioni

Si ritiene opportuno che venga sviluppata una ricerca nel territorio del Comune di Verona e aree limitrofe per verificare:

1. Le criticità legate, nella zona pedemontana, all'utilizzo domestico della legna per il riscaldamento, in particolare nelle aree non metanizzate;
2. Le criticità legate alla presenza di forni a legna in locali pubblici (pizzerie).

Queste due fonti si differenziano per due aspetti:

1. Il riscaldamento domestico è presente solo nel periodo invernale, mentre l'utilizzo di forni a legna non dipende da fattori stagionali;
2. Nel caso di riscaldamento domestico ci si trova di fronte ad un'emissione diffusa sul territorio, con influenza sulla qualità dell'aria dell'intera zona interessata; nel caso dei forni a legna si ha invece a che fare con una singola sorgente puntuale, con ricadute, a

livello outdoor, su di un'area ridotta e variazione della qualità dell'aria indoor, in relazione all'efficienza del sistema di ventilazione presente nei locali.

In particolare, per quanto riguarda le emissioni legate alla presenza di forni a legna, andrà valutata l'ipotesi di prevedere l'installazione di dispositivi di abbattimento delle polveri, quali gli elettrofiltri ad uso domestico, in grado di garantire abbattimenti nelle emissioni di particolato superiori significative.

4.3.2 Emissioni dalle attività connesse alla gestione rifiuti

4.3.2.1 Approfondimenti sull'inceneritore di Ca' del Bue

Le elaborazioni dei dati di PM_{10} e $PM_{2.5}$ riportate nel paragrafo 2.2.4 hanno mostrato che il particolato fine misurato per la stazione di Cason è per circa il 75% costituito di particolato ultrafine. Dalle analisi di speciazione effettuate sul PM_{10} presente nel Comune di Verona, è emerso come una buona percentuale di tale inquinante sia dovuta alla formazione di particolato secondario derivante dalle reazioni in atmosfera dei gas precursori. In particolare gli ossidi di azoto rappresentano il gas precursore maggiormente responsabile della formazione della componente secondaria. Per poter quindi diminuire le concentrazioni di PM_{10} in atmosfera, risulta indispensabile ridurre le emissioni di ossidi di azoto.

Questa tipologia di inquinanti è emessa in ambito urbano da varie tipologie di sorgenti, spesso diffuse sul territorio. La presenza di sorgenti significative puntuali richiede una attenta valutazione di azioni mirate per il suo contenimento. L'impianto di Ca' del Bue, nella sua nuova versione, sta seguendo un iter decisionale che non è oggetto del presente documento, tuttavia è importante segnalare che quanto è emerso dalla elaborazione dei bilanci emissivi sul territorio dei 18 Comuni e dall'analisi dei dati di concentrazione al suolo di alcuni inquinanti mette in evidenza l'importante ruolo assunto appunto dagli ossidi di azoto.

Gli impianti di trattamento dei rifiuti urbani tramite termovalorizzazione possono contribuire in modo rilevante alle emissioni di ossidi di azoto. In particolare in prima approssimazione si può stimare che l'impianto di Ca' del Bue previsto, potrebbe virtualmente avere emissioni di NO_x di circa 460 t/anno in assenza di un sistema mirato di riduzione degli NO_x (Figura 4-7). Una progettazione moderna non si accontenta del mero rispetto dei limiti normativi per gli ossidi di azoto in quanto è chiamata a rispondere ad esigenze crescenti in termini di minimizzazione degli impatti, per cui la questione è più che altro da spostare sulla alternativa che si può avere tra sistema di riduzione degli ossidi di azoto senza catalizzatore (SNCR) o con catalizzatore (SCR).

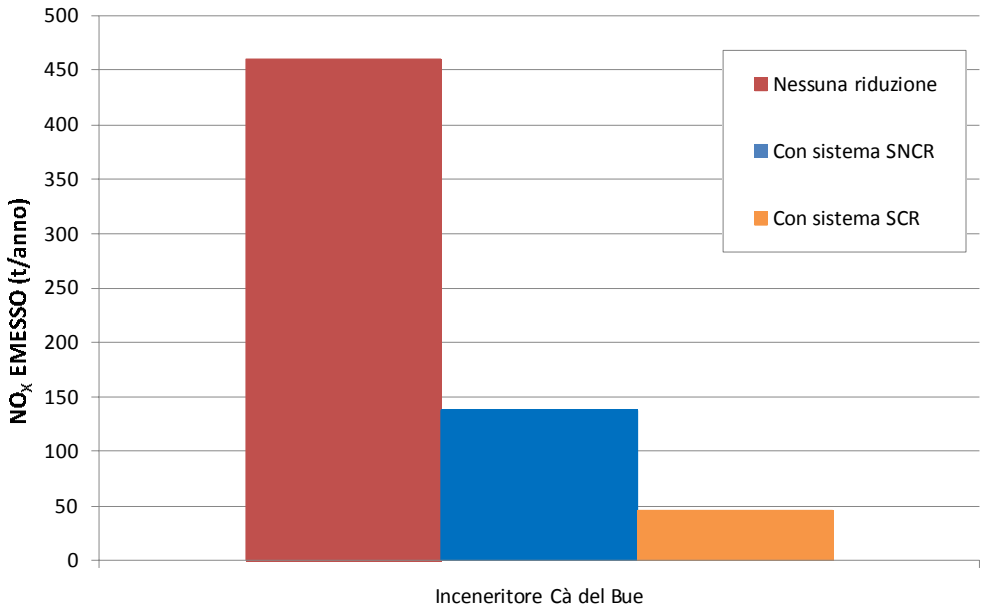


Figura 4-7: Stima preliminare delle emissioni di ossidi di azoto dall'impianto di termovalorizzazione di Ca' del Bue nei casi in cui questo non disponesse di un trattamento di riduzione di NO_x, con sistema SNCR e con SCR (Paternoster L., 2010).

In considerazione dei flussi di ossidi di azoto rilasciati anche in caso di SCR è quindi importante che in sede di valutazione di impatto ambientale si verifichi il loro ruolo con una modellazione che tenga presente la formazione di particolato secondario.

Nel settore la questione delle emissioni di NO_x da parte di questi impianti sta ricevendo sempre più attenzione: alcuni impianti in fase di progettazione o rinnovati recentemente presentano, oltre ad un parziale ricircolo dei fumi, un accoppiamento dei sistemi di riduzione degli ossidi di azoto (SNCR e SCR) in modo da poter raggiungere dei valori medi giornalieri delle concentrazioni in uscita al camino intorno a 40-50 mg/Nm^3 (Tabella 4-2).

In recenti applicazioni, nonostante la presenza di un sistema di riduzione catalitico (SCR) si preferisce mantenere anche la sezione non catalitica perché, utilizzando lo stesso reagente (soluzione ammoniacale), è possibile alimentare i due diversi dispositivi, consentendo una maggior flessibilità nella gestione dell'impianto e un migliore abbattimento degli ossidi di azoto. Il reattore catalitico presente negli impianti considerati è a bassa temperatura (ad esempio 180°C) e funziona anche come presidio finale per l'abbattimento dei PCDD/F residui nei fumi.

Anche nella realizzazione del nuovo impianto di Ca' del Bue a Verona, è consigliabile quindi seguire i criteri adottati per i limiti sulle emissioni di NO_x imposti dalle amministrazioni riportate in Tabella 4-2.

Ad integrazione di quanto illustrato, si segnalano due ulteriori aspetti che si ritengono rilevanti nel percorso decisionale:

- Negli ultimi anni la letteratura scientifica di settore ha prodotto alcuni studi utili a comprendere il ruolo di questi impianti con riferimento al particolato ultrafine; è

opportuno che il futuro studio di impatto ambientale (da produrre se il percorso decisionale proseguirà), ne tenga adeguatamente conto; al riguardo si segnala il lavoro di Angelucci et al. (2009) premiato come miglior lavoro scientifico di autori italiani al convegno internazionale Sardinia 2009.

- Gli approfondimenti di impatto ambientale e sulla salute in merito all'impianto di Ca' del Bue devono essere sviluppati tenendo conto dell'insieme dell'impiantistica prevista per il sito in modo da poter disporre di una stima dell'impatto integrato.

Quanto riportato in questo paragrafo non vuole essere sostitutivo ma integrativo di quanto previsto dalla normativa in termini di percorso decisionale per la realizzazione dell'impianto.

Tabella 4-2: Limiti di concentrazione medie giornaliere e annuali per NOx per impianti realizzati recentemente o in progetto (Amministrazione Provinciale di Forlì-Cesena, 2004), (Provincia di Ferrara, 2007), (Provincia di Ferrara, 2008), (Innocenti M. C., 2008-2009).

Localizzazione impianto	**Valori limite imposti per NO_x [mg/Nm^3]**		**Valore limite da normativa (DM 133/2005) per NO_x [mg/Nm^3]**
	Concentrazioni medie giornaliere	**Concentrazioni medie annuali**	**Concentrazioni medie giornaliere**
Ferrara (SNCR+SCR)	200	70	200
Forlì (SNCR+SCR)	70	50	
Trento (previsto)	40	-	
Bolzano (previsto)	40	-	

4.3.3 Emissioni da attività per la generazione di energia da biomasse di scarto

4.3.3.1 Impianti a biomassa legnosa

Gli impianti a biomassa legnosa rappresentano una fonte importante per la produzione di energia termica e/o elettrica soprattutto nell'ottica di recepire i principi del Protocollo di Kyoto. Questi impianti però, pur presentando un bilancio globale della CO_2 particolarmente favorevole, presentano anche criticità non trascurabili per quanto riguarda l'impatto locale delle emissioni di inquinanti in atmosfera. Un aspetto critico al riguardo è dato dalle emissioni di particolato, prevalentemente sotto forma di PM_{10}, che viene emesso in quantità solo apparentemente non significative e per di più a bassa quota in quanto questi impianti sono spesso dotati di camini di altezza limitata. Anche dal punto di vista delle emissioni di ossidi di azoto le quantità in gioco possono essere non trascurabili. A titolo di esempio si può citare uno dei maggiori impianti termoelettrici a biomassa presenti nella regione Veneto è quello situato a Ospitale di Cadore. L'impianto è alimentato con legna vergine e presenta un consumo annuale di combustibile pari a 180000 t. Se si confrontano per esempio le emissioni di ossidi di azoto di questo impianto con quelle prodotte dall'inceneritore austriaco di

Flötzersteig, dotato di trattamento dei fumi SCR e con una capacità di smaltimento di 196605 $t_{rifiuti}$/anno, si può notare (Figura 4-8) come l'impianto a biomassa emetta 5 volte l'inceneritore considerato (SIRA, 2001) (Stubenvoll et al., 2002). E' quindi importante che il percorso autorizzativo relativo a grandi impianti a biomassa sia svolto con un'attenzione analoga a quella dedicata ad impianti considerati più problematici.

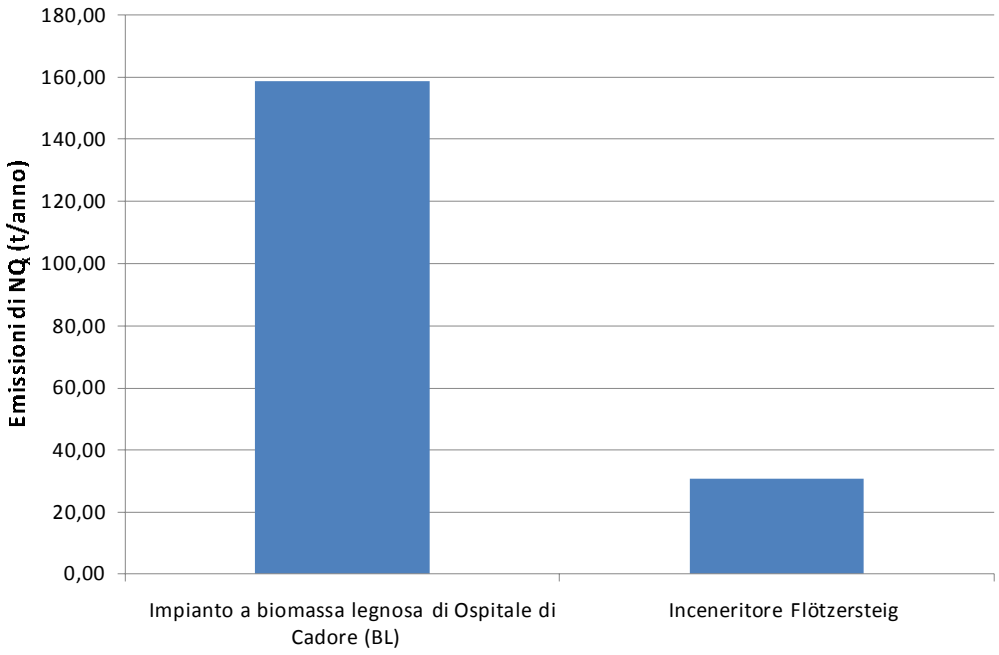


Figura 4-8: Confronto fra le emissioni dell'impianto a biomassa legnosa di Ospitale di Cadore con quelle di un inceneritore con sistema SCR e capacità di 196605 t/anno.

Se ci si sposta su taglie più piccole, la minore altezza dei camini e le concentrazioni al camino meno restrittive possono comunque creare criticità locali.

La zona oggetto del presente documento è caratterizzata da un'interessante disponibilità di biomasse di scarto dall'agricoltura il cui smaltimento attualmente costituisce un problema. In considerazione delle potenziali criticità di impatto locale appena segnalate, si ritiene importante che siano messe a punto specifiche linee guida regionali a supporto dei decisori.

4.3.3.2 Criticità degli impianti a biogas

Gli impianti a biogas sono importanti attività di investimento per un imprenditore zootecnico o agricolo e permettono lo sfruttamento di una fonte di energia totalmente rinnovabile con bilanci pressoché nulli per quanto riguarda le emissioni di CO_2. Le forti incentivazioni presenti assicurano tempi di ritorno molto brevi e per questo motivo in Italia si stanno realizzando numerosi impianti di questo tipo. Le incentivazioni hanno un peso rilevante oltre che sul prezzo di vendita dell'energia, anche sull'investimento iniziale rendendo sempre più vantaggiosa la costruzione di tali impianti.

Nonostante però i numerosi vantaggi associati allo sfruttamento di una fonte di energia rinnovabile si deve sottolineare come i valori limite delle concentrazioni di inquinanti emessi,

in particolare per gli ossidi di azoto, risultino potenzialmente elevati e non trascurabili. Se infatti si effettua un confronto tra le emissioni di NO_x consentite ad un tipico impianto a biogas da 1 MWe con quelle di un inceneritore dotato di trattamento dei fumi SCR e con una capacità di smaltimento di 196605 $t_{rifiuti}$/anno, si può notare come tre impianti a biogas di questa taglia equivalgano all'inceneritore considerato (Maistro, 2010) (Stubenvoll et all., 2002). Il citato inceneritore, quello di Flötzersteig, presenta peraltro una capacità di incenerimento dei rifiuti molto simile a quella prevista nel bando di gara per l'impianto di Ca' del Bue.

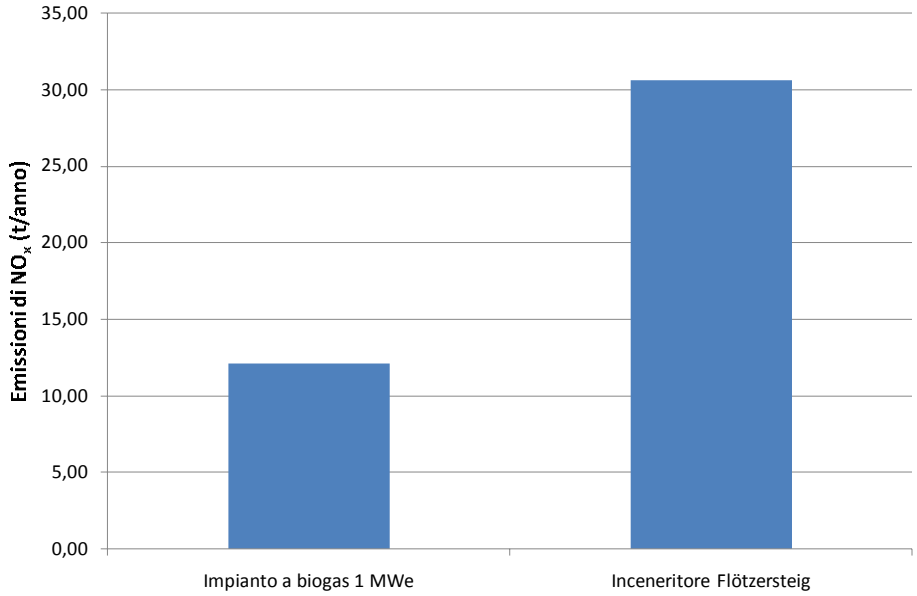


Figura 4-9: Confronto fra le emissioni di un impianto a biogas di 1 MWe con quelle di un inceneritore con sistema SCR e capacità di 196605 t/anno.

Considerando che la combustione del biogas avviene con rilascio dei fumi a quote estremamente basse e quindi con condizioni di diluizione sfavorevole, è necessaria una revisione dei limiti autorizzativi previsti per gli impianti a biogas in modo che anche questi sistemi vengano dotati di tecnologie atte alla riduzione delle emissioni degli ossidi di azoto. È possibile infatti l'applicazione a questi impianti di sistemi catalitici in grado di ridurre le emissioni di NO_x del 90%. La combinazione di questi sistemi con criteri progettuali attenti al ruolo dell'altezza del camino può risolvere il problema del loro impatto locale. Anche in questo caso si ritiene importante la definizione di linee guida a livello regionale.

Alcune regioni si sono già attivate in questa direzione ponendo limiti di altezza della canna fumaria: nel caso della Lombardia, ad esempio, la deliberazione n° VII/6501, "Criteri e limiti di emissioni per gli impianti di produzione di energia", fissa il punto di emissione ad almeno 10 m di altezza.

La stessa norma sopracitata afferma che "ogni motore deve essere collegato ad una canna fumaria indipendente realizzata a regola d'arte, compresa una buona coibentazione e sfociante oltre il tetto. La velocità dei fumi deve essere maggiore di 15 m/s (per impianti a motore).

Le emissioni di questi impianti quindi devono essere soggette ad una normativa specifica vista la criticità delle emissioni di ossidi di azoto anche per quanto riguarda il loro potenziale di formazione del particolato secondario.

4.3.4 Emissioni da traffico

4.3.4.1 Efficacia delle barriere verdi

Una misura che può essere realizzata in un ambiente urbano per il contenimento delle emissioni da traffico è costituita dal posizionamento di un barriera verde.

La vegetazione urbana, attraverso il suo naturale funzionamento, può migliorare la qualità dell'ambiente e della salute umana in prossimità delle aree urbane. Questi benefici includono miglioramenti nella qualità dell'aria e dell'acqua, risparmio energetico negli edifici, minori temperature percepite a seguito di una riduzione dell'effetto di isola di calore, la riduzione della radiazione ultravioletta e molti altri miglioramenti in termini ambientali e sociali (Nowak e Dwyer, 2000). Se adeguatamente progettati e gestiti, i sistemi di vegetazione urbana possono essere utilizzati come "biotecnologia" naturale per ridurre alcuni degli effetti negativi sull'ambiente e sulla salute connessi con l'urbanizzazione. (Nowak D. J., 2006)

La rimozione delle specie inquinanti negli alberi avviene principalmente attraverso il meccanismo di assorbimento dagli stomi delle foglie; una parte di rimozione gassosa, quantitativamente inferiore, va invece imputata alla superficie della pianta. Una volta all'interno della foglia, i gas captati diffondono nella struttura fogliare e possono essere assorbiti nel film d'acqua per la successiva formazione di acidi o per eventuali reazioni. Insieme alle specie gassose, gli alberi possono intercettare anche particolato atmosferico; una frazione dello stesso può essere assorbita dall'albero, ma la maggior parte viene trattenuta sulla superficie della pianta. Le particelle intercettate possono dare origine a risospensione (a tal proposito si veda il paragrafo 4.3.4.4), possono essere dilavate dalla superficie di captazione fogliare a causa di precipitazioni, oppure possono cadere a terra con la foglia o i rami che le hanno precedentemente intercettate. Per tale motivo la vegetazione non può essere considerata un sistema effettivo di abbattimento del particolato sebbene possa realizzare una leggera riduzione delle concentrazioni, come si vedrà più in dettaglio in seguito all'interno questo paragrafo.

Le percentuali di rimozione degli inquinanti variano per ciascuna specie sulla base di diversi fattori caratteristici di ogni ambiente urbano: la quantità di copertura arborea (maggiore è la copertura arborea, maggiore risulta essere la rimozione totale di inquinanti), le concentrazioni di inquinanti presenti nel sito (una maggiore concentrazione porta a un flusso maggiore e ad una rimozione maggiore), la durata della stagione fogliare della pianta (maggiore è la lunghezza del periodo vegetativo, maggiore risulta essere la rimozione), la quantità di precipitazioni (un aumento delle precipitazioni porta ad una rimozione minore a causa di mancata deposizione), altre variabili meteorologiche che influenzano la traspirazione

dell'albero e le velocità di deposizione (fattori che determinano una maggiore velocità di deposizione determinano un incremento della rimozione totale). Tutti questi fattori concorrono a influenzare la rimozione dell'inquinamento totale e il tasso standard di rimozione di inquinamento per unità di alberi (Nowak et al., 2006).

In questa sede verranno date alcune indicazioni di valutazione circa l'efficacia delle barriere verdi. È possibile fare riferimento a due modalità principali di valutazione: simulazione secondo dinamiche di modellazione dei processi di assorbimento fogliare, oppure misure condotte in campo relativamente a particolari configurazioni implementate in alcune città.

Secondo la prima modalità è possibile implementare un particolare modello (UFORE, Urban Forest Effects), sviluppato dal Servizio Forestale del Dipartimento di Agricoltura (USDA), Northeastern Research Station in Syracuse, NY, il quale implementa una dettagliata base statistica di dati, protocolli di raccolta e una serie di equazioni che descrivono le particolari dinamiche di assorbimento di inquinanti (http://www.ufore.org). I parametri determinati in tal senso sono: il flusso verso il basso di sostanze inquinanti calcolato come il prodotto della velocità di deposizione e la concentrazione delle sostanze inquinanti. Per la stima della velocità di deposizione è possibile considerare quanto ricavato in precedenti studi da Baldocchi et al. (1987), mentre alcune stime orarie possono essere fatte prendendo a riferimento alcune formule di resistenze fogliari da letteratura (Killus et al., 1984; Pederson et al., 1995; Nowak et al., 1998). Nel calcolo andrà correttamente considerato che la Resistenza della copertura (Rc) sarà composta da tre componenti: la resistenza stomatica (meccanismo di apertura e chiusura degli stomi), la resistenza mesofillica, quindi la resistenza specifica del tessuto fogliare, il mesofillo, e la resistenza cuticolare dell'"epidermide" fogliare. Tale modello, applicato a diverse città degli Stati Uniti ha portato a risultati molto interessanti. La velocità media di deposizione secca fogliare per diverse città è stata valutata tra 0.44 e 0.29 cm/s per gli NO_x, da 0.40 a 0.71 per l'O_3, e tra 0.38 e 0.69 per l'SO_2. Le velocità di deposizione per CO e PM_{10} non risultano essere dipendenti dai tassi di traspirazione ma sono funzione della stagionalità fogliare e sono pertanto assunte costanti sulla base di valori di letteratura. Poiché la rimozione di CO e del particolato per intercettazione da parte della vegetazione non è direttamente correlabile ai processi di fotosintesi e traspirazione, per il CO la resistenza di copertura (Rc) viene quindi assunta pari a 50000 s/m o 1000000 s/m a seconda della stagione fogliare (Bindwell and Fraser, 1972; Nowak D. J., 2006), mentre per il particolato la velocità media di deposizione è stata fissata a 0.064 m/s, valore basato sul 50% del tasso di risospensione (Lovett G. M., 1994; Zinke P. J., 1967). Per limitare le stime di deposizione ai periodi di deposizione secca, le velocità di deposizione devono essere poste pari a zero durante i periodi di precipitazioni.

Sebbene la vegetazione urbana consenta di rimuovere tonnellate (Nowak et al., 2006) di sostanze inquinanti presenti nell'atmosfera delle città ogni anno, in media la percentuale di miglioramento della qualità dell'aria nelle città durante la stagione fogliare è in genere minore dell'1% e varia per i diversi inquinanti menzionati sulla base delle condizioni meteorologiche

e in base alle concentrazioni degli inquinanti. Tale percentuale di miglioramento risulta essere maggiore per il particolato, l'ozono e gli ossidi di zolfo.

Fra le esperienze di implementazione attuate e documentate, è possibile menzionare in questa sede, quella realizzata in Cina nelle vicinanze di una strada altamente trafficata (Yin Shan et al., 2007), in presenza di condizioni di canyon stradale. La scelta di implementazione in un sistema di questo tipo nasce dalla constatazione che l'area più fortemente contaminata dalla presenza di inquinanti è quella localizzata nello spazio al di sotto di 1.70 di altezza e ad una distanza di 50 m da ciascun lato della strada (Neofytou P. et al., 2006).
In questo caso è stata creata una "barriera verde" posta su entrambi i lati della strada di ampiezza pari a 15 metri. La caratterizzazione della barriera avviene mediante due caratteristiche principali: il grado di copertura e la porosità della barriera. La prima viene definita come il rapporto tra la proiezione dell'area delle chiome rispetto alla totalità di area verde; parallelamente, la porosità viene indicata come il rapporto tra l'area di penetrazione alla luce con riferimento ad una certa sezione verticale rispetto all'area totale di tale sezione.
La Figura 4-10 mostra l'andamento medio annuale delle polveri totali (TSP) in funzione di diverse configurazioni di specie implementate, in funzione della distanza dalla strada. Il meccanismo di contenimento degli inquinanti sulla sede stradale e parziale assorbimento può essere descritto come segue: la concentrazione più elevata di TSP è ovviamente misurata nei pressi della strada e la distribuzione verticale sotto la barriera vegetale è praticamente identica. Quindi il particolato viene prima bloccato e confinato da arbusti piccoli e densi (solitamente di altezza minore di 2 m) e posti nei primi 5 metri di barriera verde.
Nei successivi 5 m (quindi da 5 a 10 m di profondità della sezione vegetativa), le particelle che riescono ad attraversare gli arbusti, sono trattenute dagli alberi ad alto fusto caratterizzati da rami e foglie di grandi dimensioni. Negli ultimi 5 m di barriera le particelle sono ridotte ad un livello più basso.

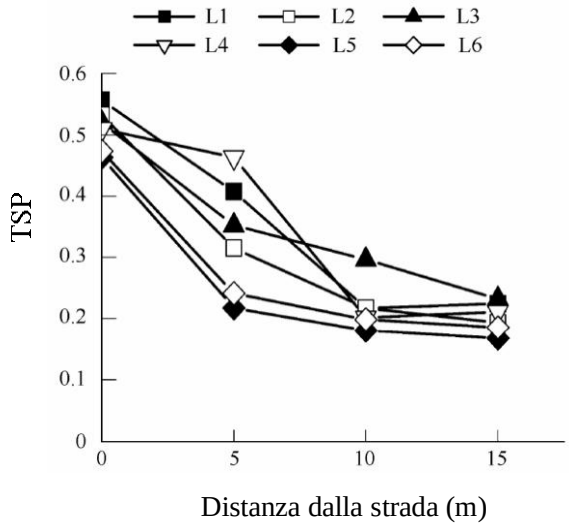


Figura 4-10: Concentrazione di particolato totale TSP in funzione della distanza dalla strada. Le diverse linee rappresentano diverse configurazioni di specie vegetative diverse (Yin Shan et al., 2007).

Tabella 4-3: Classi di specie soggette a studio corrispondenti alle efficienze indicate nella Figura 4-10 (Yin Shan et al., 2007).

	L1	L2	L3	L4	L5	L6
Alberi	Populus euramevicana	Cinnamonum camphora	Populus euramevicana	Cinnamonum camphora	Metasequoia glyptostroboides	Cinnamonum camphora
	Cinnamonum camphora	Metasequoia glyptostroboides	Cinnamonum camphora	Ginkgo biloba	Cinnamonum camphora	Metasequoia glyptostroboides
	Metasequoia glyptostroboides	Sabina chinensis Kaizuc		Metasequoia glyptostroboides	Koelreuteria paniculata	
	Sabina chinensis Kaizuc	Photinia serrulata		Podocarpus macrophyllus		
Arbusti	Prunns cerasifera	Nerium indicum	Prunns cerasifera	Prunns cerasifera	Cornus alba	Fatsia japonica
	Hibiscus mutabilis	Jasminu mesnyi	Forsythia viridissima	Distylium racemosum	Ilex purpurea Hassk	Hedara nepalensia
	Jasminu mesnyi	Rhododendron simsii	Nerium indicum	Eunymus japonicus	Loropetalum chinense	Nerium indicum
	Rhododendron simsii				Malus spectabilis	Jasminu mesnyi

La percentuale di rimozione TSP per ogni prova viene riportata nella Figura 4-11 per il confronto viene prevista anche una prova "di bianco" in spazi aperti senza la cosiddetta "barriera verde". Tutte le prove evidenziano un notevole miglioramento della qualità dell'aria; tra le diverse stagioni, i rendimenti più alti si verificano in estate e in autunno, quando la vegetazione è in stagione fogliare più intensa. Di contro, a causa della presenza di alberi decidui, l'efficienza di rimozione subisce una diminuzione durante la stagione invernale; le particelle si depositano più difficilmente facendo sì che l'efficienza di rimozione da parte della barriera in queste stagioni sia più limitata.

Si evince quindi come siano consigliate specie sempreverdi in modo da ottenere delle efficienze costanti sia nella stagione invernale che estiva.

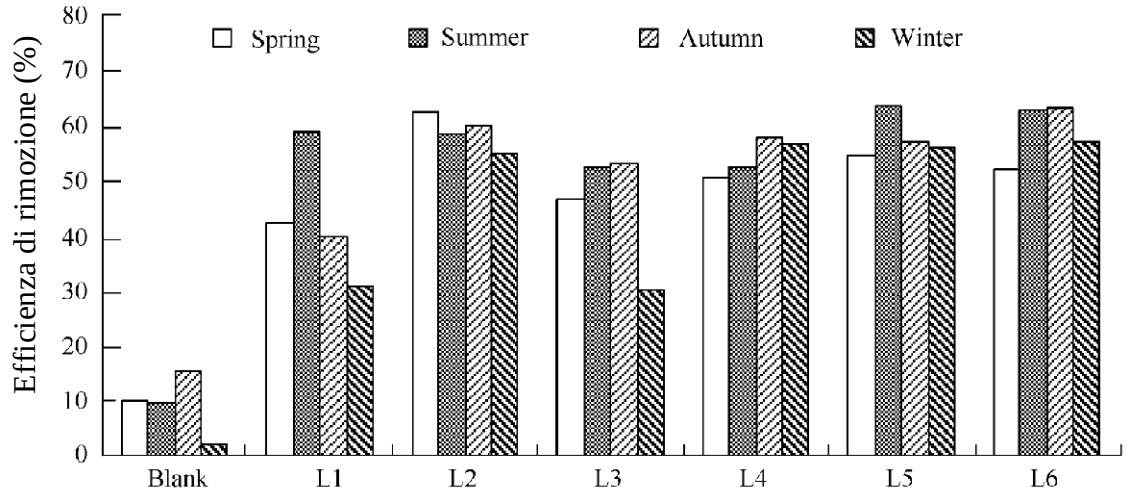


Figura 4-11: Efficienze di rimozione in funzione delle diverse configurazioni di specie (L1 –L6) e in funzione delle diverse stagioni (Yin Shan et al., 2007).

Da queste considerazioni appare chiaro come una barriera verde possa determinare un aiuto per limitare le concentrazioni di alcune specie di inquinanti. A ragione delle considerazione poste va rilevato come la US EPA (US Environmental Protection Agency) abbia inserito i sistemi di copertura vegetativa urbana fra le potenziali misure innovative per la limitazione delle concentrazioni di inquinanti (US EPA, 2004).

Una attenta e accurata progettazione e pianificazione di questi sistemi non deve escludere però alcune considerazioni che riguardano gli effetti negativi derivanti dal rilascio in atmosfera di composti organici volatili (COV) di origine organica, che possono fattivamente contribuire alla produzione di composti organici secondari e di ozono (Freer-Smith P. H. et al., 2004). Alcuni lavori di modellazione indicano che talune specie vegetative presentano un bilancio positivo in termini di miglioramento della qualità dell'aria, altre invece determinano un bilancio che può essere addirittura negativo.

Per quanto riguarda il territorio di Verona e dei 17 Comuni limitrofi, si ritiene importante che siano promossi approfondimenti sul tema in occasione della realizzazione di nuove arterie il cui tracciato sia limitrofo a zone residenziali. Una interessante applicazione, in questo senso, per la valutazione del potenziale di trattamento della vegetazione, potrebbe essere rappresentata dall'utilizzo dello specifico software freeware che implementa il modello scientifico UFORE. In questo caso sarebbe possibile analizzare, a priori, dalla fase di pianificazione degli interventi, alcuni benefici ambientali ottenibili mediante implementazione di sistemi vegetativi.

4.3.4.2 Indicazione di esperienze europee finalizzate alla diminuzione delle emissioni in sede stradale: il progetto LIFE SPAS.

Tra le più importanti esperienze a livello europeo finalizzate al miglioramento della qualità dell'aria va senza dubbio menzionato il progetto UE-LIFE-Environment Project SPAS (Sound and Particle Absorbing System) che si pone come obiettivo la progettazione e verifica

dell'efficacia di sistemi innovativi di protezione finalizzati alla riduzione dell'inquinamento da polveri e del rumore da traffico veicolare. I diversi prototipi sono stati progettati e testati all'interno del progetto. L'obiettivo è essenzialmente la riduzione dell'esposizione dei residenti lungo le strade ad elevato volume di traffico, dal rumore e dalle polveri sottili; nel corso del progetto avviene l'ottimizzazione della configurazione del filtro permanente in modo da ridurre l'effetto di risospensione del particolato atmosferico, almeno del 25%. Il sistema è ancora in corso di ottimizzazione in considerazione dei diversi tipi di strade e aree di impiego; data la recente scadenza del progetto (termine fine 2009), saranno disponibili a breve i risultati completi dell'esperienza.
In questa sede verranno date alcune indicazioni dei primi risultati ottenuti con tali sistemi di abbattimento acustico ed emissivo, tali da renderli molto interessanti per le applicazioni connesse ai Piani di Qualità dell'Aria.

I filtri sono stati progettati attraverso apposite simulazioni fluidodinamiche e prove di laboratorio, in modo da ottimizzare sia la forma, sia i materiali; anche le dimensioni e la specifica densità sono state determinate mediante mirata ottimizzazione dei diversi parametri in gioco. Applicando lo stesso approccio, è stato determinato il sistema di foratura per i filtri, tenendo in considerazione caratteristiche fondamentali quali la resistenza del materiale, la dimensione e la disposizione dei fori, la forma e le dimensioni. Questo per quanto riguarda l'obiettivo di contenimento delle polveri.
Applicando la stessa metodologia, ma con la finalità di realizzare un abbattimento acustico, sono stati studiati alcuni sistemi di muratura di protezione, definendo l'altezza e lo spessore ottimali del muro.
Una delle maggiori difficoltà derivanti dalla sinergica necessità di un abbattimento di inquinanti e di un contenimento del rumore, è determinata dal processo di scambio del materiale filtrato nonché dal fissaggio dei filtri ai muri di protezione acustica.
Le diverse simulazioni effettuate nel corso del progetto hanno consentito la determinazione delle proprietà specifiche del filtro in modo tale da realizzare un comportamento ottimale in varie condizioni (scenari ambientali e di traffico).
In una prima fase del progetto sono state effettuate alcune simulazioni numeriche di flusso per prevedere le condizioni fluidodinamiche valutando la resistenza specifica del filtro con riferimento a diverse forme dello stesso. Conseguentemente a tale fase, si sono effettuate alcune prove su campo che hanno portato alla luce nuovi elementi importanti, considerati in simulazioni successive, determinando in tal senso una nuova ottimizzazione. Tali simulazioni risultano essere molto importanti per determinare il comportamento di flusso con riferimento a diverse densità di traffico.

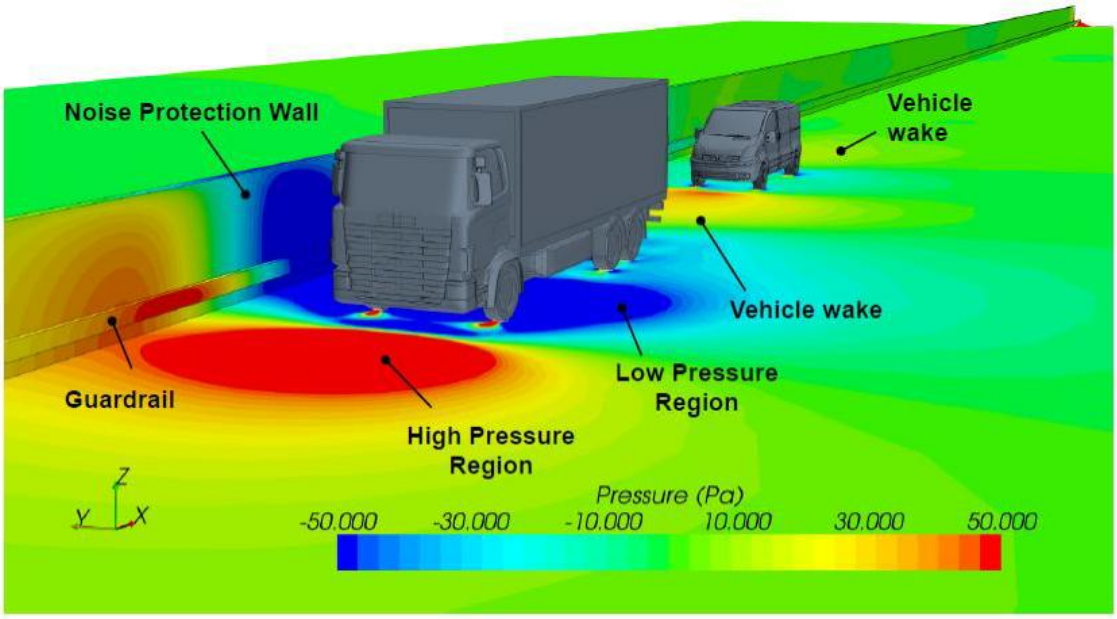


Figura 4-12: Grafico di simulazione delle diverse zone di pressione derivanti dal transito dei veicoli: il caso del muro (Sharl et al., 2009) (Sharl & Iser, 2009).

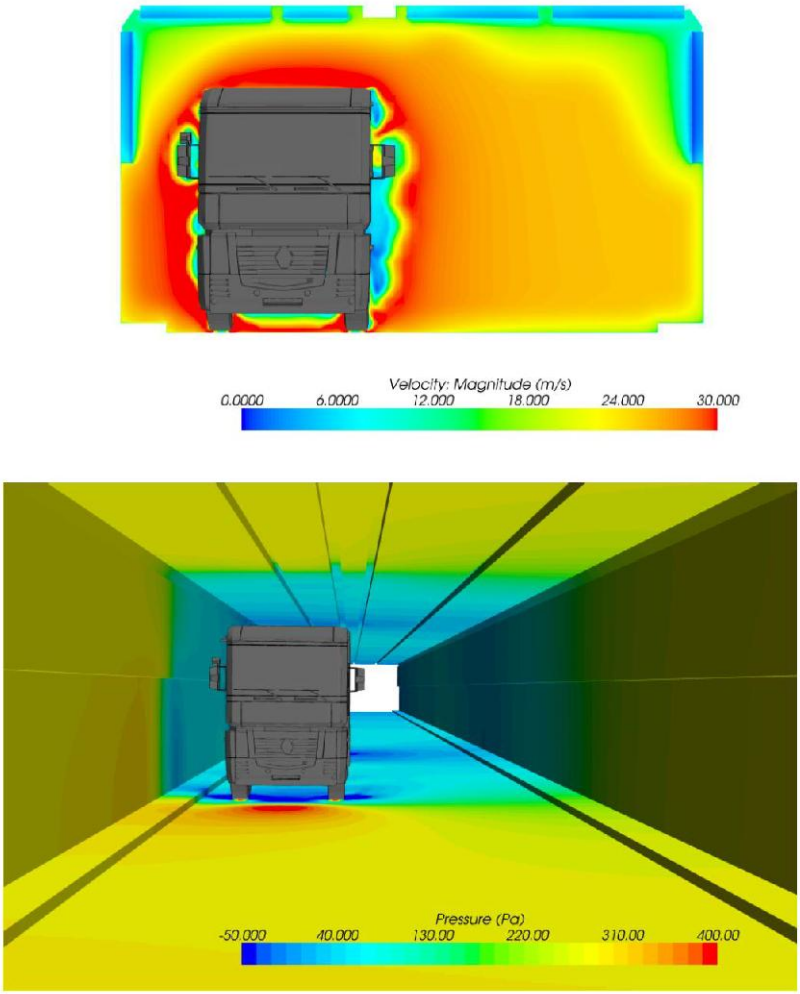


Figura 4-13: Grafico di simulazione delle diverse zone di pressione derivanti dal transito dei veicoli: il caso del tunnel (Sharl et al., 2009).

I valori di abbattimento delle varie tipologie di filtro disegnate vengono determinati attraverso misure acustiche; il filtro deve presentare buone proprietà in termini di attenuazione del rumore simultaneamente a quelle di abbattimento di inquinanti.
L'obiettivo della simulazione è la predizione del campo di moto; al transito dei veicoli vi è una generazione di elevati livelli di turbolenza che influenzano l'efficienza del filtro.
Le simulazioni di flusso consentono di valutare anche la correlazione tra la pressione e l'aspirazione nei filtri del sistema a muro SPAS, la posizione ottimale del filtro e le influenze ambientali attese.
Al fine di determinare alcuni importanti parametri di input necessari alla simulazione numerica, nel progetto SPAS sono stati eseguiti alcuni test di laboratorio in modo da verificare l'efficacia delle barriere in condizioni riproducibili. A tale scopo è stato costruito uno specifico banco di prova per la verifica dell'assorbimento dei prototipi realizzati, valutati attraverso l'aria esausta da tunnel stradali. Il banco di prova è stato posizionato nel tunnel Plabutsch, lungo 9.7 km; tale configurazione ha consentito l'estrazione diretta dell'aria dal sistema di aspirazione dei gas esausti dal tunnel.

Figura 4-14: Foto dell'apparecchiatura di prova per i test condotti sui filtri: nel tubo viene fatta transitare aria esausta che attraversa il filtro da testare (posto nella parte centrale dell'apparecchiatura) (Rodler & Henn, 2009).

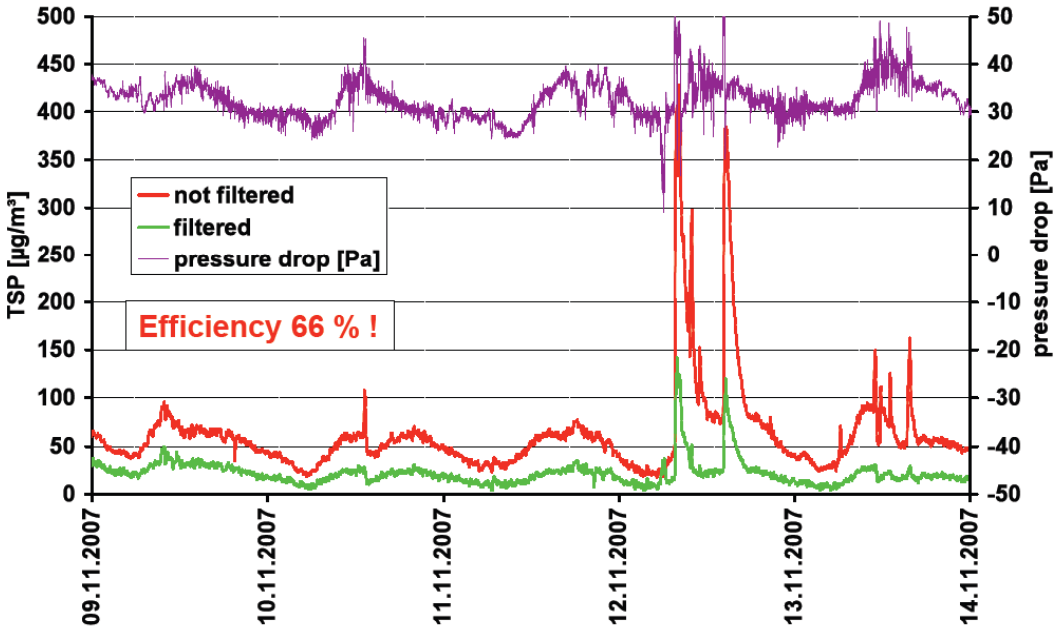


Figura 4-15: Risultati di una prova condotta in laboratorio (si veda figura precedente) per determinare le efficienze di rimozione di uno dei filtri da testare (Rodler & Henn, 2009).

Nell'analisi di sviluppo della funzionalità dei diversi materiali testati, si sono considerati degli diversi spessori, valutando sia l'efficienza di assorbimento, sia la durata di servizio; l'efficienza viene valutata misurando la concentrazione di particolato di fronte e dietro al filtro, mentre la misura della caduta di pressione fornisce indicazioni sulla durata di vita del filtro.

Poiché un singolo veicolo genera, nel transito, un aumento di pressione e poi conseguentemente una pressione negativa percepibile con riferimento ad una sezione posta a lato della carreggiata, viene esaminata anche la distanza alla quale le particelle stoccate possono essere staccate dal filtro per effetto della conseguente depressione. A tal proposito sono state effettuate alcune prove di esposizione del filtro, caricato sul banco dal lato opposto rispetto a quello esposto all'azione del particolato, ad un volume d'aria povera in particolato, in modo da determinare un eventuale aumento di concentrazione di particolato imputabile ad un rilascio di inquinante catturato precedentemente dal filtro carico.

Gli elementi prototipo ottimizzati in laboratorio sono stati poi testati su campo al fine di determinare l'efficacia degli elementi sui siti reali. Tali siti, localizzati nella città di Klagenfurt (A) sono:

3. Viktring (Keutschacher Straße): costruzione di una nuova barriera antirumore e di protezione con filtro integrato;
4. Wölfnitz: adattamento di un muro di protezione esistente con elementi filtranti;
5. sottopasso Lendorf: adeguamento della galleria autostradale con 100 elementi filtranti.

Oltre a quanto indicato, si è preso a riferimento un muro acustico di protezione esistente privo di filtri, per valutare i risultati della sperimentazione.

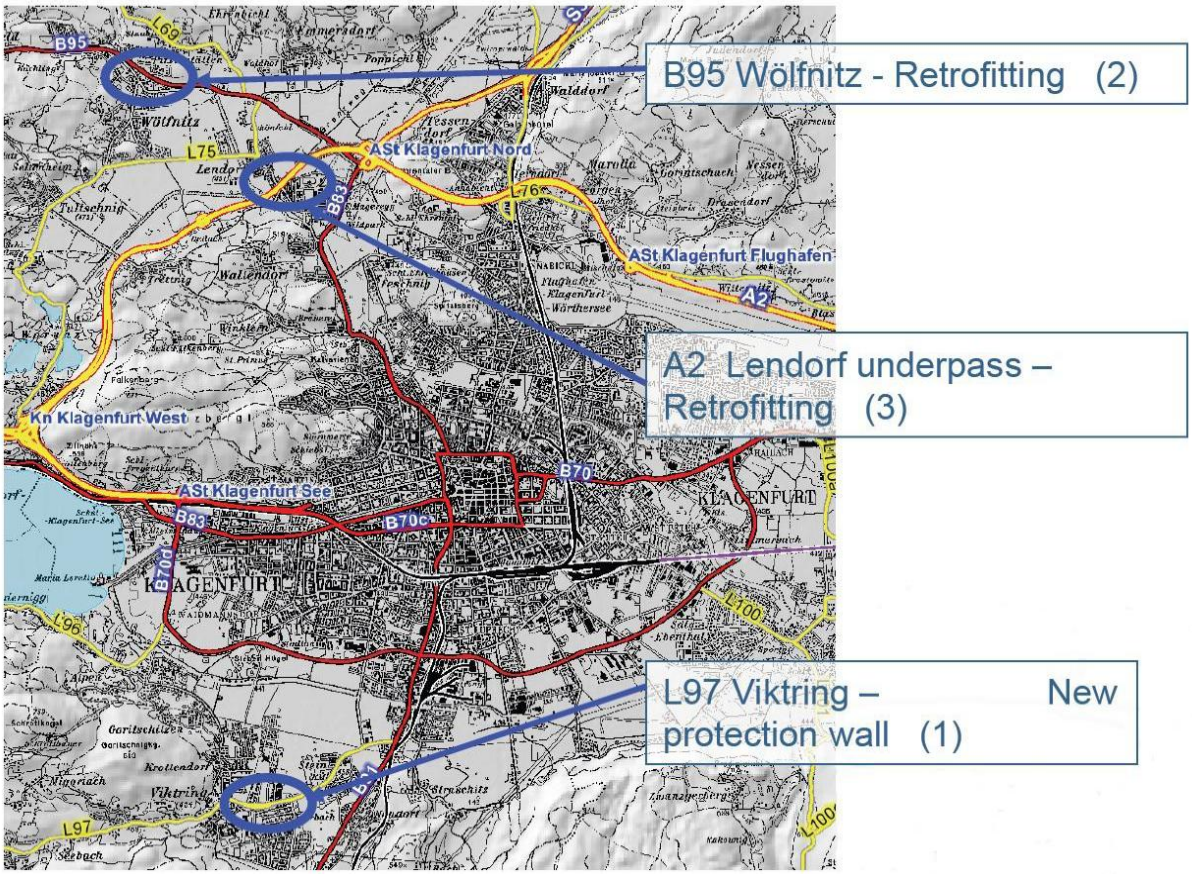


Figura 4-16: Localizzazione dei tre siti sperimentali con riferimento alla città di Klagenfurt (Hadolt H., 2009).

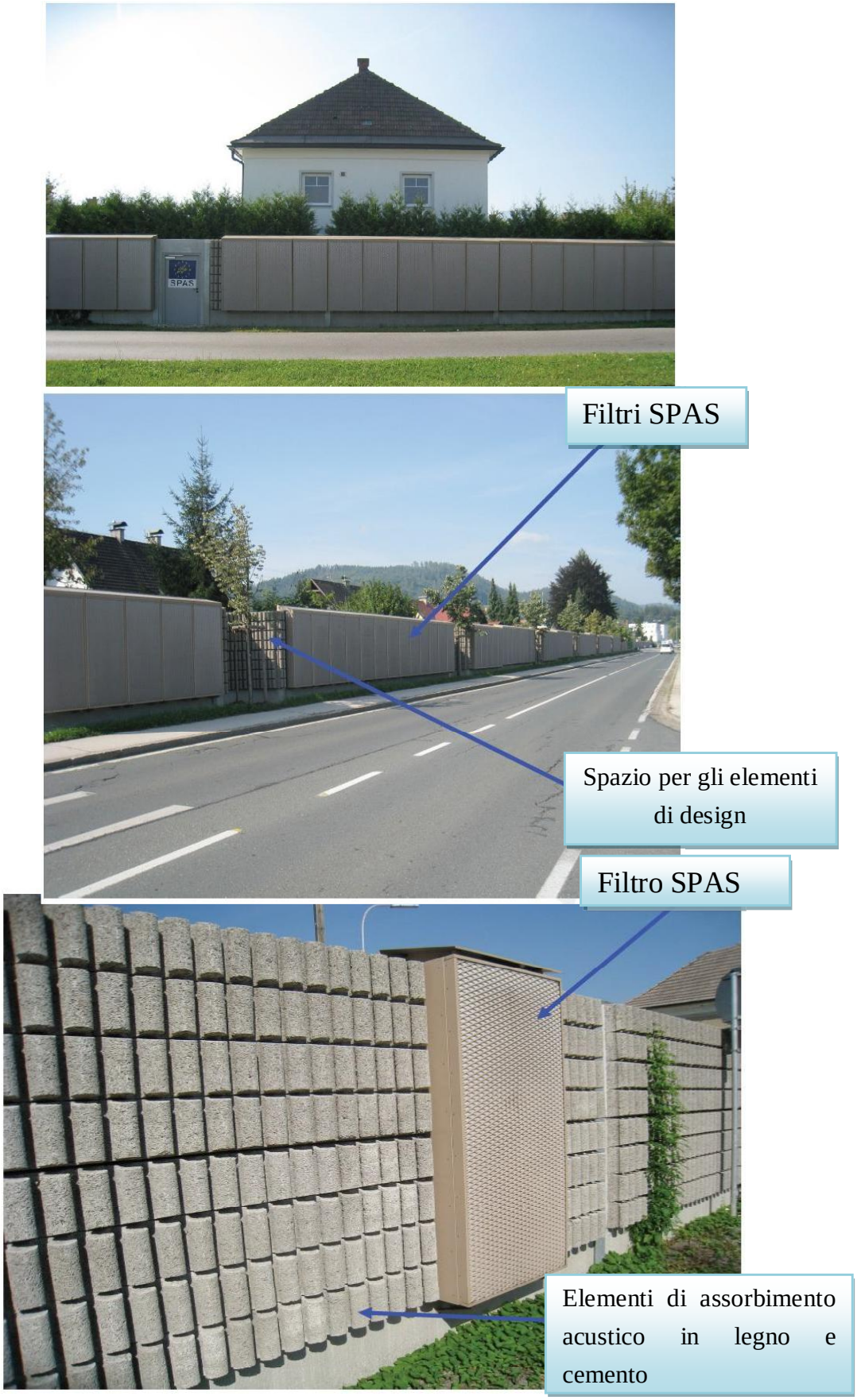


Figura 4-17: Foto del muro con filtri SPAS a Viktring (Hadolt H., 2009).

Il nuovo muro di protezione costruito a Viktring presenta una lunghezza complessiva di 470 m ed è in parte dotato dei sistemi filtranti. La struttura attiva è posizionata ad un'altezza di 50 cm da terra; si tratta del primo muro europeo filtrante di lunghezza considerevole.
Il volume di veicoli giornalieri nei tratti in cui sono stati installati i sistemi SPAS sono variabili tra 8000 e 15000 veicoli/giorno.

Figura 4-18: Foto del muro con filtri SPAS a Wölfnitz (Hadolt H., 2009).

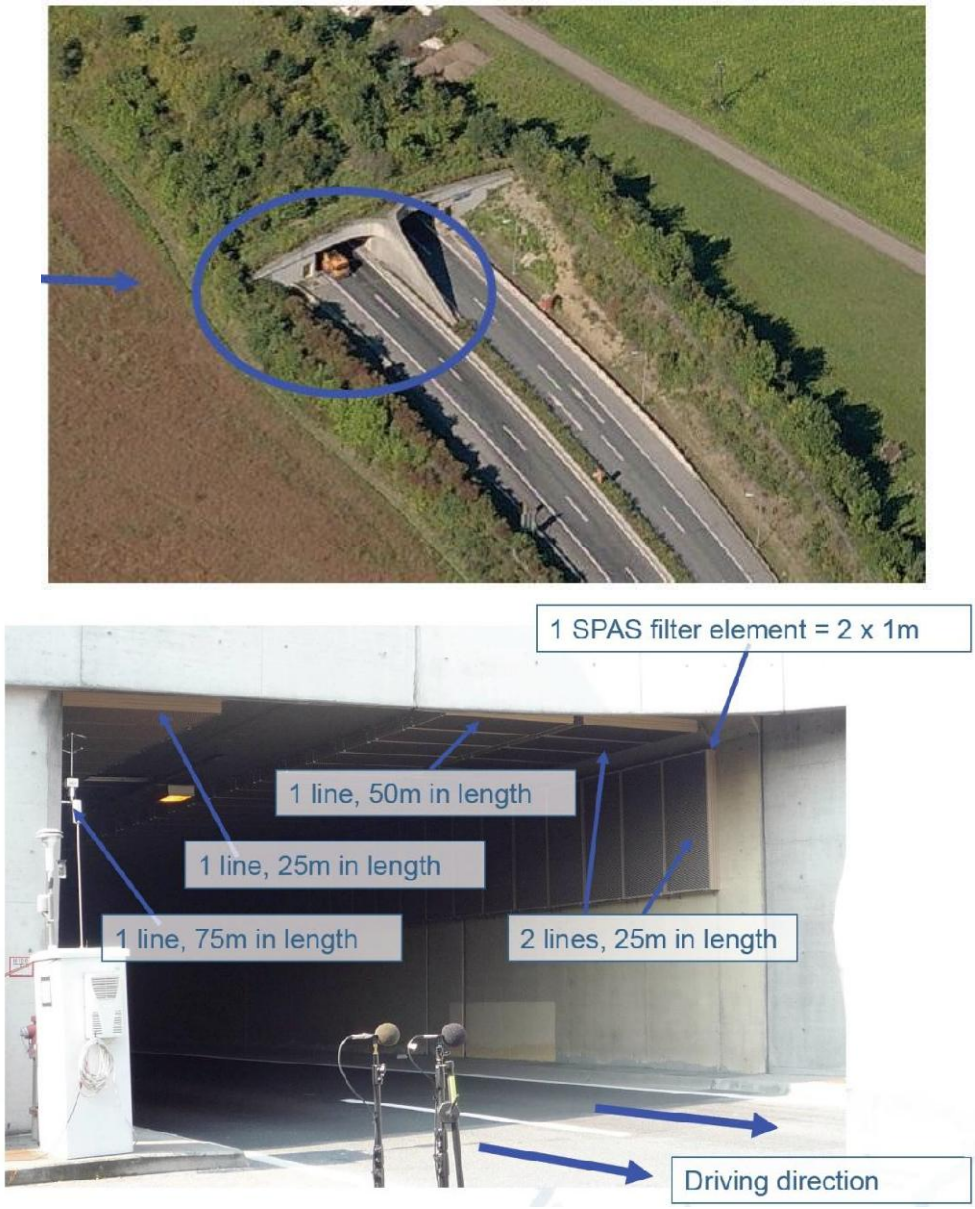


Figura 4-19: Foto del sottopasso Lendorf con filtri SPAS (Hadolt H., 2009).

Tabella 4-4: Caratteristiche delle barriere SPAS implementate in sito (Hadolt H., 2009).

Viktring	Strada provinciale: limite 50 km/h	Traffico 15200 veicoli/giorno 3.0 % traffico pesante	Lunghezza del muro: 470 m Altezza 2.5 m
Wölfnitz	Strada provinciale: limite 80 km/h	Traffico 13300 veicoli/giorno 6.3% traffico pesante	Lunghezza SPAS: 100 m Altezza SPAS: 2.5 m Innalzamento: 0.5 m
Lendorf	Autostrada: limite 100/80 km/h (veicoli/mezzi pesanti)	Traffico 24500 veicoli/giorno 12.1% traffico pesante	Configurazione: 5 linee ciascuna di 2 m di ampiezza Lunghezza: 1 x 75 m + 1 x 50 m + 3 x 25 m

L'obiettivo finale è la determinazione dell'efficienza del filtro in termini di abbattimento delle concentrazioni di inquinanti e del muro in termini di abbattimento acustico; vanno altresì valutate anche le concentrazioni rilevate durante gli intervalli di manutenzione (pulizia, riparazione, ecc.). Lo scopo principale di questa serie di prove su campo è quella di testare quanto progettato in laboratorio, in condizioni reali di funzionamento. Poiché il traffico stradale è solo una delle sorgenti di particolato, è presente una ovvia complicazione determinata dagli elevati valori di background che possono mascherare, in un certo qual modo, le differenze tra le misure di qualità dell'aria, dietro gli elementi filtranti e dietro al muro di protezione. In concomitanza delle misure di polveri vengono pertanto effettuate alcune misure di NO_x, in modo che le stesse forniscano alcune indicazioni relativamente alla quota parte di polveri attribuibile al traffico.

Un prima campagna di misure si è conclusa alla fine di maggio del 2009, mentre la seconda, che si è appena conclusa, è stata svolta nel periodo autunno/inverno 2009-2010.

Per il sito di Vikting, non si sono ottenuti risultati significativi in termini di riduzione della concentrazione ad opera dei filtri; nonostante ciò, il muro di protezione acustico (in configurazione con e senza filtri) ha determinato un contenimento degli inquinanti in sede stradale con una riduzione delle concentrazioni di PM_{10} ed NO_x del 15-20%.

Nel sito di Wöflnitz, oltre ad un effetto di abbattimento imputabile alla presenza di un muro di protezione (in altre parole il caso "Vikting"), è stato rilevato che gli elementi filtranti SPAS hanno determinato una riduzione del PM_{10} da risospensione circa pari al 15%, con riferimento a specifiche condizioni meteorologiche di ventosità.

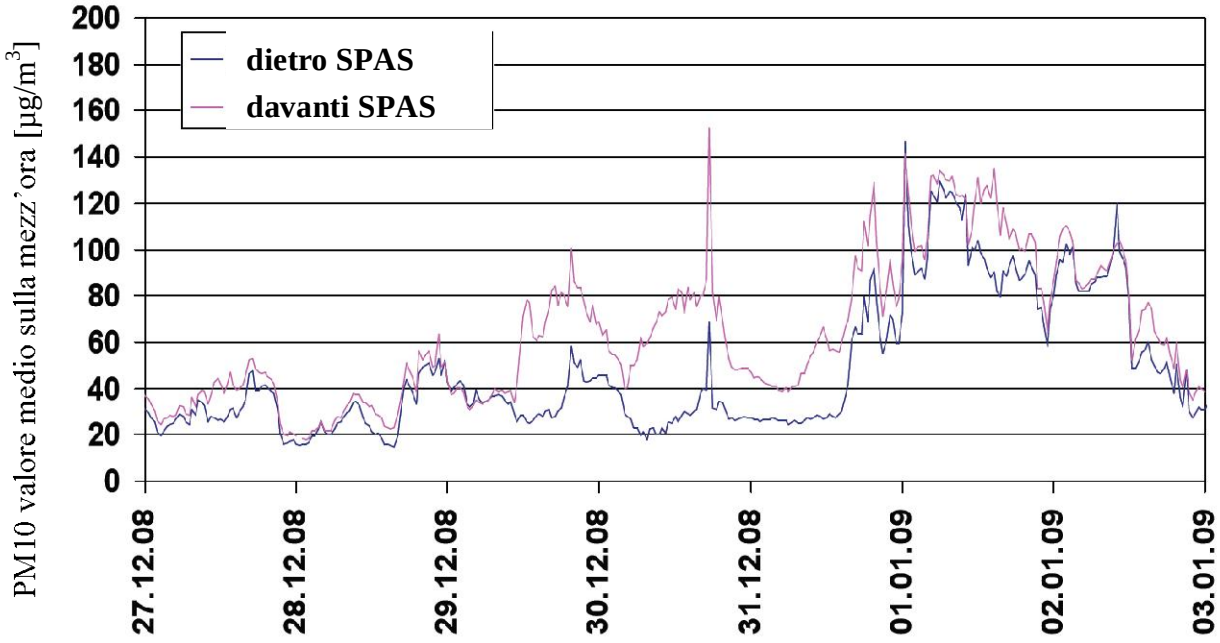


Figura 4-20: Risultati di misure di concentrazione davanti e dietro ai filtri per il sito di Vikting: si nota una media di 44 µg/m3 nel caso senza barriere SPAS e una diminuzione delle concentrazioni di PM_{10} dietro le barriere del 15-20% (Rodler & Henn, 2009).

Anche nel sottopassaggio Lendorf è stata rilevata una leggera diminuzione della concentrazione del valore di PM_{10} ottenuta grazie ai sistemi filtranti SPAS. Va comunque rilevato che, nel caso dell'applicazione in tunnel, non si è ancora provveduto all'implementazione degli ultimi sistemi di progettazione definitiva SPAS, quindi sono attesi risultati che dimostrino maggiori rendimenti di rimozione.
Per tutte e tre le sezioni di prova è stato possibile determinare le frazioni di polveri da risospensione e da abrasione; queste informazioni rivestono un certo rilevo per le valutazioni e calcoli futuri sulla risospensione.
I primi test di servizio dei filtri hanno dimostrato una durata di servizio molto maggiore di 1 anno.
Parallelamente alle misure di concentrazione di PM_{10} e ossidi di azoto NO_x, sono state effettuate anche alcune misurazioni acustiche per verificare la conformità delle barriere installate.

Figura 4-21: Foto di alcuni punti di misura per le prove acustiche su campo (Hadolt H., 2009).

Nel caso di Verona e dei 17 Comuni limitrofi si ritiene che l'implementazione di una esperienza pilota sul loro territorio basata sull'approccio descritto possa essere di utilità per la definizione di criteri di intervento mediante barriere basati su una valutazione costi-benefici in termini di costi dell'opera e variazioni dell'esposizione della popolazione agli inquinanti di interesse. Al riguardo si sottolinea che l'esposizione deve essere vista tenendo conto l'aspetto tempo e quindi deve essere data priorità ad interventi in zone densamente abitate (l'esposizione degli automobilisti può essere significativamente minore rispetto agli abitanti residenti in prossimità di una strada).

4.3.4.3 Valutazione dell'efficacia dell'applicazione di rivestimenti e cementi fotocatalitici nell'abbattimento delle concentrazioni inquinanti in atmosfera

4.3.4.3.1 Introduzione

I materiali fotocatalitici vengono indicati nel DM 01/04/04 fra i sistemi innovativi per la abbattimento dell'inquinamento atmosferico, sulla base di prove tecniche, validazioni e

certificazioni prodotte da vari enti (Università, CNR, Istituto Superiore di Sanità, ARPA Lombardia). Questo tipo di materiali non interviene sulla formazione degli inquinanti, ma può garantire una loro più rapida rimozione rispetto a quanto avviene normalmente in natura, velocizzando le reazioni di ossidazione.

A livello europeo è stato attivato un programma di ricerca su questo argomento. Si tratta del Progetto PICADA (*Photocatalytic Innovative Coverings Application for De-pollution Assessment*) partito nel 2003 e terminato nel 2005. Lo scopo del progetto era lo sviluppo di una serie di prodotti con proprietà fotocatalitiche e la valutazione delle loro potenzialità su larga scala, in particolare relativamente all'applicazione in strade urbane. I partner italiani del progetto sono stati il CTG (Centro Tecnico di Gruppo) di Italcementi e l'ITC (Istituto per le Tecnologie della Costruzione) CNR.

4.3.4.3.2 La fotocatalisi

La fotocatalisi è il fenomeno naturale in cui una sostanza, detta fotocatalizzatore, attraverso l'azione della luce (naturale o prodotta da speciali lampade) modifica la velocità di una reazione chimica. Sfruttando l'energia luminosa, i fotocatalizzatori inducono la formazione di reagenti fortemente ossidanti che sono in grado di decomporre per ossidazione alcune sostanze organiche e inorganiche presenti nell'atmosfera. Il fotocatalizzatore è dunque un acceleratore dei processi di ossidazione che già esistono in natura e favorisce quindi la più rapida decomposizione degli inquinanti, evitandone l'accumulo.

Fra tutti i semiconduttori, il biossido di titanio (TiO_2) è il fotocatalizzatore più utilizzato, grazie al forte potere ossidante che consegue all'assorbimento della luce, alla sua inerzia chimica (è resistente agli acidi e agli alcali concentrati), all'assenza di tossicità ed al costo non proibitivo. Il biossido di titanio esiste in tre diverse strutture cristalline (rutilo, anatasio e brookite) ed in fase amorfa. L'anatasio è, tra le tre forme esistenti, quella più attiva come fotocatalizzatore, e di conseguenza quella più utilizzata nei rivestimenti fotocatalitici.

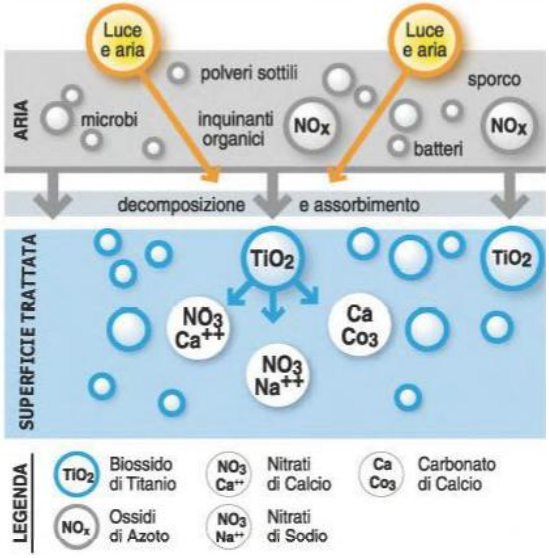


Figura 4-22: Schema di funzionamento del rivestimento fotocatalitico (Global Engineering and Trade, 2004).

Le sostanze inquinanti e tossiche vengono trasformate, attraverso il processo di fotocatalisi, in sottoprodotti che vengono poi dilavati dall'acqua se esposti alle precipitazioni atmosferiche, oppure rimangono sulla superficie dell'ecorivestimento nel caso di manufatti riparati. Le caratteristiche dei prodotti che si formano in questi processi sono state analizzate (CNR) al fine di valutarne l'eventuale tossicità:

- Biossido di azoto: la degradazione del biossido di azoto forma essenzialmente nitrati solubili in acqua ed eventualmente nitriti. La quantità formata di queste specie è molto contenuta per cui esse non costituiscono problema per le acque dilavate. Nel caso di manufatti non esposti, le molecole di nitrato di calcio, risultanti dalla reazione di foto-ossidazione, rimangono nell'ecorivestimento come sostanze inerti;
- Formaldeide: viene degradata a monossido di carbonio oppure a biossido di carbonio. A causa della sua relativamente bassa concentrazione, anche le concentrazioni dei relativi sottoprodotti saranno molto basse ed inferiori di circa 100 volte a quelle normalmente presenti nell'ambiente.
- Biossido di zolfo: viene ossidato ad acido solforico, che viene immediatamente adsorbito dal substrato alcalino dell'ecorivestimento. Il risultato è la formazione di solfato di calcio (comunemente noto come gesso), che è debolmente solubile in acqua e non causa problemi per l'ambiente.
- Monossido di carbonio: l'ossidazione del monossido di carbonio porta alla formazione di biossido di carbonio, sostanza praticamente inerte. Il monossido di carbonio potrebbe anche essere ossidato dai radicali OH, portando alla formazione di radicali idrogeno (H). Tali radicali reagiscono velocemente con l'ossigeno dell'aria formando radicali idroperossido ($H + O_2 \rightarrow HO_2$) che possiedono proprietà ossidanti molto più spiccate del radicale OH. Di conseguenza, il monossido di carbonio potrebbe amplificare le proprietà ossidanti dell'ecorivestimento aumentandone la capacità depurativa.
- Ozono: l'ecorivestimento potrebbe influire sulla sua formazione oppure sulla sua distruzione. Per quanto riguarda la sua formazione, la possibilità che si formi ozono a causa delle componenti dell'ecorivestimento appare essere molto remota. Infatti il processo fondamentale di formazione dell'ozono è costituito dalla fotolisi del biossido di azoto. Le molecole di biossido di azoto reagiscono molto velocemente con i radicali OH disponibili sulla superficie dell'ecorivestimento, per cui, in prossimità della superficie, la velocità di formazione dell'ozono è inferiore o al massimo uguale a quella che si determina in atmosfera libera. Molto più probabile appare invece essere la possibilità che l'ecorivestimento contribuisca a distruggere l'ozono sulla sua superficie. Infatti, la disponibilità di cariche elettriche e di radicali liberi provoca reazioni che portano alla degradazione dell'ozono con probabile formazione di ossigeno. La degradazione dell'ozono sulle superfici è comunque un fatto ampiamente consolidato indipendentemente dalla presenza di materiale fotocatalitico.

- Benzene: la degradazione del benzene su superfici fotocatalitiche procede a velocità molto basse per la scarsa reattività del benzene verso il radicale OH. Le molecole ossidate possono comunque trasformarsi in composti più semplici quali aldeidi o acidi bivalenti che non portano a nessun effetto ambientale. In alternativa, si può ipotizzare che il benzene possa addizionare radicali OH e trasformarsi quindi in fenolo, sostanza solubile in acqua e comunque di scarso interesse ambientale a causa delle basse concentrazioni risultanti.
- Particolato: l'evoluzione del particolato sull'ecorivestimento è ancora oggetto di studio. Con ogni probabilità le particelle che costituiscono il particolato atmosferico vengono attratte sulla superficie a causa della presenza di cariche libere. Una volta sulla superficie, le particelle potrebbero reagire con i radicali liberi o con molecole di acqua e di ossigeno, degradandosi a sostanze organiche ossigenate solubili in acqua. La parte inorganica, costituita da composti già ampiamente ossidati, non dovrebbe invece alterarsi.

4.3.4.3.3 Possibili applicazioni e loro efficacia

I prodotti fotocatalitici hanno le seguenti proprietà potenziali:

- riducono la concentrazione degli inquinanti tossici prodotti dai veicoli, dalle sorgenti industriali, dal riscaldamento domestico e da altre fonti;
- hanno un'azione antimicrobica: riducono la presenza di microrganismi, batteri, funghi, alghe, muffe;
- hanno un effetto "antisporcamento" (le superfici restano pulite nel tempo senza essere aggredite da sostanze sporcanti);
- hanno un'azione deodorante (l'eliminazione dei microrganismi porta alla scomparsa di odori sgradevoli).

I rivestimenti fotocatalitici presenti sul mercato possono essere utilizzati sotto forma di intonaco (per pareti interne ed esterne), pavimentazioni (marciapiedi, parcheggi, aree a traffico ridotto), pavimentazioni strutturali (strade a traffico intenso), massetti autobloccanti.
Per valutare le rese di questi prodotti nella rimozione degli inquinanti, sono state condotte varie sperimentazioni in laboratorio. Il limite di questi esperimenti può consistere nel fatto che essi vengono in genere condotti su piccole porzioni di materiale a contatto con aria ferma contenente l'inquinante e irradiati con luce artificiale. Le condizioni in cui i rivestimenti si trovano, invece, in ambiente esterno, sono differenti: va tenuto conto delle variazioni di illuminazione e dell'intensità e della direzione del vento.
Negli ultimi anni sono state avviate diverse sperimentazioni in ambito urbano. In Italia gli esempi a scala reale sono stati realizzati dalle ditte Italcementi e Global Engineering. L'applicazione sul manto stradale di una malta a base di legante fotocatalitico in Via Morandi a Segrate (MI) (Figura 4-23) ha fatto registrare abbattimenti degli NO_x significativi rispetto ad un tratto di strada non trattato. Nel 2003, in una porzione di piazzale all'interno dell'impianto

Italcementi di Calusco d'Adda (BG), sono stati posti in opera 8000 m^2 di masselli cementizi autobloccanti con rivestimento fotocatalitico (Figura 4-24).

Figura 4-23: Via Morandi, Segrate (MI).

Figura 4-24: Piazzale della cementeria di Calusco (BG).

Oltre a questi due esempi, negli ultimi anni i rivestimenti fotocatalitici sono stati utilizzati in diverse occasioni, ma non sono sempre state effettuate le misurazioni necessarie a valutarne l'effettivo contributo alla riduzione degli inquinanti. Ciò pone dei limiti nella stima dell'effettiva capacità di riduzione degli inquinanti garantibile da questi prodotti. Inoltre, come detto in precedenza, i risultati variano in funzione dell'insolazione, della velocità e direzione del vento, e della concentrazione di inquinanti nell'aria.

Un valore di riferimento attendibile può essere quello ottenuto dal CNR mediante una serie di esperimenti (CNR, 2003). Tale valore viene inoltre ripreso anche all'interno del DM 01/04/04. Si stima quindi una capacità di depurazione, per quanto riguarda gli ossidi di azoto, pari a 30 t/anno per ogni km^2 di rivestimento fotocatalitico. Valori simili sono inoltre stati ricavati da sperimentazioni condotte a scala reale in Giappone (Chai-Mei Yu, 2002).

Per quanto riguarda la valutazione dei costi di un trattamento di questo tipo, esso risulta essere fortemente dipendente dalle specifiche condizioni di implementazione, come si può evidenziare dalla Tabella 4-5. Parlare del costo di realizzazione di elementi strutturali in cemento fotocatalitico ha poco significato in quanto sul mercato è possibile fare riferimento al prodotto finito, cioè la pittura, l'intonaco o il manufatto. Poiché la porzione che interagisce con l'atmosfera è la sola superficie, il principio fotocatalitico non viene impiegato in applicazioni strutturali ma solo laddove sia possibile mantenere spessori modesti: da alcuni centimetri fino a pochi millimetri. Quindi il prezzo significativo è il costo a metro quadrato di superficie fotocatalitica.

Tabella 4-5: Costo specifico delle applicazioni di sistemi foto catalitici al m^2, con riferimento alle applicazioni verticali ed orizzontali (Italcementi, 2009).

Per applicazioni verticali:

	Strato sottile		Spessore medio			Spessore elevato	Massivo
	Pittura	Rasante	Intonaco	Pannello	GRC	Pannello	Getto opera
maggiore costo	2-4 €/m²	3-4 €/m²	8-10 €/m²	40-60 €/m²	20-60 €/m²	50 €/m²	120-150 €/m³

Per applicazioni orizzontali:

	Strato sottile		Spessore medio		Spessore elevato	Massivo
	Spolvero	Pastina	Lastra (10mm)	Lastra (20mm)	Massello autobloccante	Pavimentazione CLS
maggiore costo	2-3 €/m²	5-7 €/m²	4-5 €/m²	8-10 €/m²	2-3 €/m²	120-150 €/m³

I dati sopra riportati sono puramente indicativi. I costi sono in funzione delle singole ricette e degli spessori di materiale fotocatalitico.

L'inquinante che presenta i più frequenti superamenti di concentrazione limite a livello urbano è il particolato atmosferico. La sua presenza in aria è associabile a due principali fenomeni: l'emissione da varie sorgenti e la formazione in atmosfera a valle di reazioni fotochimiche legate ad agenti precursori (ossidi di azoto, ossidi di zolfo e ammoniaca). Considerando un fattore di conversione per gli ossidi di azoto del 35% (valore stimato a partire dalle analisi effettuate in un periodo di picco di inquinamento nel Comune di Trento (DICA, 2006)) si può valutare la quantità di particolato secondario derivante dall'emissione di ossidi di azoto, e di conseguenza la quantità di particolato secondario di cui si evita la formazione utilizzando dei rivestimenti fotocatalitici per l'abbattimento degli NO_x. La capacità di depurazione valutata per gli ossidi di azoto (30 t/anno per ogni km^2 di rivestimento) porta a stimare in 10.50 t/anno per ogni km^2 di rivestimento le emissioni di particolato secondario evitate (dato non generalizzabile).

La valutazione dell'efficacia dell'applicazione di rivestimenti e cementi fotocatalitici nell'abbattimento delle concentrazioni inquinanti in atmosfera è sicuramente un procedimento complesso e spesso, nelle valutazioni, occorre fare riferimento a dichiarazioni prestazionali indicate dai diversi produttori.

Tale procedura di valutazione diventa ancora più complessa andando a considerare che il contributo dei rivestimenti fotocatalitici alla riduzione degli inquinanti atmosferici è fortemente dipendente dai fattori atmosferici quali l'intensità e la direzione del vento e l'insolazione, oltre che alla concentrazione stessa degli inquinanti. Quello che emerge, è che questi materiali attualmente non possono essere considerati una soluzione definitiva al problema dell'inquinamento atmosferico, in quanto la loro efficacia risente di fattori esterni e

può variare notevolmente in base ai fattori atmosferici. D'altra parte, anche in condizioni sfavorevoli, garantiscono un contributo all'abbattimento degli inquinanti.

Per quanto riguarda il territorio di Verona e dei 17 Comuni limitrofi, si ritiene che possa essere interessante una applicazione sperimentale in un tratto di strada caratterizzata da elevato traffico e geometria da canyon urbano. I risultati di tale sperimentazione permetterebbero di definire criteri contestualizzati al territorio in esame.

Di notevole interesse in questo senso sono le attività di sperimentazione e implementazione su campo realizzate da Italcementi; prima mediante sperimentazione su scala di laboratorio con il progetto "Picada" poi con le prime implementazioni reali in Italia, sono state analizzate le conseguenze di applicazioni di sistemi fotocatalitici in strade in ambito urbano con caratteristiche di canyon per l'accumulo e il ristagno di inquinanti.

Il primo progetto Picada consiste nell'analisi delle efficienze di un modello di canyon urbano in una scala 1:5; gli interessanti risultati ottenuti hanno portato ad una implementazione in un contesto reale. In questa sede verrà citato l'esempio di via Borgo Palazzo a Bergamo. La sperimentazione biennale nella città di Bergamo ha riguardato una strada di circa 500 metri, con due sensi di marcia come evidenziato dalla Figura 4-25. La superficie attiva di circa 7000 m² pavimentati è stata ricoperta con masselli grigi e, sul tratto pedonale, con masselli rossi.

Figura 4-25: Foto di via Borgo Palazzo soggetta a sperimentazione (www.italcementi.it).

Figura 4-26: Schema della sperimentazione (Italcementi, 2009).

Durante il biennio sono state svolte tre campagne di monitoraggio, di due settimane ciascuna: la prima nel novembre 2006, la seconda nel gennaio 2007 e la terza nel febbraio 2008. L'obiettivo è stato quello di rilevare i livelli di abbattimento degli inquinanti grazie all'azione della fotocatalisi. Per un quadro più preciso, i dati ottenuti sono stati confrontati con quelli relativi allo stesso tratto di strada ricoperto di asfalto, come mostrato dalla Figura 4-26. I risultati hanno dimostrato una riduzione dell'inquinamento fino al 40%. Nella tabella di seguito riportata si può vedere il valore della concentrazione media di NO_x, registrata per 5 giorni, con centraline poste a due diverse altezze dal suolo.

Tabella 4-6: Concentrazione media di NO_x registrata per 5 giorni con centraline poste a diverse altezze dal suolo. (Italcementi, 2009 mod.)

Altezza dal suolo	**Concentrazione nella pavimentazione fotocatalitica**		**Concentrazione nel rivestimento in asfalto (riferimento)**	
	NO_x	NO	NO_x	NO
30 cm	470 µg/m^3	243 µg/m^3	632 µg/m^3	338 µg/m^3
180 cm	489 µg/m^3	251 µg/m^3	594 µg/m^3	310 µg/m^3

Si può notare che, al contrario di quanto avviene normalmente, in presenza di una pavimentazione fotocatalitica la concentrazione di inquinante è più bassa in vicinanza del suolo, a ulteriore dimostrazione dell'efficacia del sistema. Nello specifico caso in esame, ipotizzando uno scenario con un traffico di 400 auto/ora e prodotto fotocatalitico applicato sia alla pavimentazione che sulle facciate dei palazzi, i benefici derivanti dalla riduzione dell'inquinamento sono comparabili a una riduzione del traffico di 150 auto/ora.

Anche l'Agenzia Regionale per la protezione dell'Ambiente della Lombardia ha confermato, con prove sul campo nell'ambiente urbano, la buona riuscita della sperimentazione in oggetto. Si legge nella relazione di ARPA Lombardia «i risultati delle misure degli NO_x segnalano differenze, con diminuzioni significative anche superiori al 40% dei valori tra la postazione con asfalto tradizionale e quella con i masselli fotocatalitici».

Ai fini di un'analisi critica dei valori riportati in Tabella 4-6, si segnala tuttavia che la documentazione originale di Italcementi, quivi citata, riporta delle efficienze, calcolate con riferimento ai valori riportati nella tabella in oggetto, che risultano essere sovrastimati di qualche punto percentuale rispetto a quanto calcolabile dai singoli valori messi a disposizione.

A integrazione della documentazione riportata e per fornire un approccio critico al funzionamento dei sistemi fotocatalitici su campo, si cita anche la documentazione derivante da alcuni studi condotti da A.R.P.A. Lombardia condotti negli anni 2003 e 2004 (A.R.P.A. Lombardia, 2003; A.R.P.A. Lombardia, 2004). Lo studio più recente tra i due, riferibile al 2004 consiste nella sperimentazione in un tunnel di una lunghezza pari a 104 m a Milano, in via Porpora, costituito da una carreggiata a due corsie a doppio senso di marcia, largo 12 m , alto 3,75 m e caratterizzato da elevati volumi di traffico. Su entrambi i lati del tunnel è disponibile un marciapiede, di larghezza pari a 80 cm circa, protetto dalla sede stradale da una

balaustra tubolare. Il tunnel è dotato di un sistema di ventilazione che soffia verso l'interno aria presa dall'esterno del tunnel.
La sperimentazione è stata condotta in tre distinte fasi:

- Fase 1: periodo di controllo (dal 24 marzo al 6 aprile 2004), dove sono state acquisite le concentrazioni di NO_x prima della messa in opera della pittura sulla volta del tunnel e della malta al biossido di titanio di rivestimento della sede stradale;
- Fase 2: periodo di test della pittura (dal 10 al 21 maggio 2004), nella quale le misure di NO_x sono state effettuate dopo aver steso la pittura al TiO_2 sulle pareti e sulla volta del tunnel, ma prima della messa in opera del rivestimento cementizio sull'asfalto.
- Fase 3: periodo di test della pittura e del rivestimento cementizio al TiO_2 (dal 13 al 23 luglio 2004), dopo il rivestimento della sede stradale con cemento al TiO_2.

Le concentrazioni di monossido di azoto (NO) e di biossido di azoto (NO_2) sono state rilevate in continuo, per lo più nella fascia oraria dalle 07 alle 16 (ora solare), su entrambi i lati del tunnel ovvero a filo della carreggiata, nel punto mediano rispetto alla lunghezza della galleria, alla quota di circa 70 cm. Per la misura sono stati utilizzati due analizzatori automatici a chemiluminescenza, che consentono di ottenere le concentrazioni di NO ed NO_2 in tempo reale, su cicli di campionamento di circa 20 secondi.
Ai fini della corretta interpretazione dei risultati va rilevato che all'interno della galleria le concentrazioni di entrambi gli inquinanti presentano una minore variabilità giornaliera rispetto all'esterno a causa del minor effetto delle condizioni di stabilità atmosferica rispetto all'esterno. All'interno del tunnel le concentrazioni di NO prevalgono sempre su quelle dell'NO_2 essendo allo scarico dei veicoli le emissioni primarie di NO prevalenti sulle emissioni di NO_2. Nella documentazione tecnica (A.R.P.A. Lombardia, 2004) viene indicato che i processi chimico fisici all'interno del tunnel avvengono in modo diverso rispetto all'esterno e non è possibile utilizzare i dati rilevati all'esterno per normalizzare il confronto tra la prima fase e le fasi successive della sperimentazione rispetto alle mutate condizioni ambientali.
Per specifiche più dettagliate nell'elaborazione dei dati si rimanda alla documentazione citata.
Quello che si rileva nello studio è che le variazioni percentuali di NOx rispetto al periodo di riferimento, calcolate sulle concentrazioni, sono risultate pari a -8,9% e -18,2% rispettivamente per il primo e il secondo periodo di test. Il rivestimento del manto stradale appare raddoppiare l'efficacia della pittura delle pareti; questo fenomeno può essere giustificato se si tiene conto che le emissioni degli autoveicoli sono dirette prevalentemente al suolo.
Per quanto riguarda invece un secondo studio (A.R.P.A. Lombardia, 2003), esso è stato condotto su un tratto stradale in campo libero di circa 220 m in via Morandi nel Comune di Segrate del 2003, su di una sede stradale larga circa 11 m. Per il campionamento sono stati utilizzati tubi di Palmes, con un valore risultante medio nei 15 giorni di esposizione, con

alcuni limiti legati alla possibile perdita della misura nell'eventualità che lo strumento si bagni e nella forte dipendenza dalla temperatura; a basse temperature la capacità adsorbente è fortemente ridotta aumentando significativamente l'errore associato alla misura.
Anche in questo caso la sperimentazione, condotta in stagione invernale, è stata suddivisa in alcuni periodi:

- Fase 1: dal 7 al 19 novembre 2002, prima dell'applicazione del cemento al TiO_2 per la verifica della situazione iniziale;
- Fase 2: dal 19 novembre al 4 dicembre 2002, prima dell'applicazione del cemento al TiO_2, come ripetizione della prima fase;
- Fase 3: dal 16 al 30 dicembre 2002, dopo l'applicazione del cemento al TiO_2, come primo test;
- Fase 4: dal 10 al 24 gennaio 2003, dopo l'applicazione del cemento al TiO_2, come secondo test di conferma.

Per le specifiche condizioni di posizionamento dei tubi di Palmes si rimanda alla citata documentazione (A.R.P.A. Lombardia, 2003) e si riportano, in questa sede, i risultati dei test.
Il primo periodo di test (ovvero il terzo periodo della campagna di misura), ha dato come risultato una riduzione del 14% delle concentrazioni NO_2 sul lato ovest sottovento della sede stradale. A.R.P.A. Lombardia riporta che:
"Nel secondo test, in condizioni di temperature ambientali molto rigide, l'effetto precedente non è stato riprodotto. Occorre però considerare che il processo catalitico avviene durante le ore di luce, mentre i tubi di Palmes, pur presentando alcuni vantaggi quali la semplicità e l'economicità del metodo, rilevano la concentrazione media di NO_2 del periodo di esposizione, "smorzando" quindi l'eventuale risultato cercato; inoltre essi sono influenzati negativamente dalle basse temperature ambientali quali quelle verificatesi in particolare durante il secondo test. La valutazione di un fenomeno fisico richiede la riproducibilità e misurabilità del fenomeno stesso. Queste condizioni sono relativamente facili da ottenere in laboratorio e, nel caso del cemento al TiO_2, sono state ottenute da diversi laboratori di ricerca permettendo di confermare l'efficacia del prodotto in condizioni controllate. In capo aperto le condizioni ambientali sono al più misurabili ma non controllabili. Pertanto, al fine di quantificare l'efficacia del rivestimento al TiO_2 nella riduzione delle concentrazioni di NO_2, considerando che una prima indicazione positiva è stata rilevata nonostante il periodo della campagna non fosse il più favorevole, si ritiene opportuno ripetere più prove in diverse stagioni dell'anno, possibilmente su un'area più ampia, adeguando, sulla base anche dell'esperienza acquisita, il metodo di indagine da impiegare."

4.3.4.4 Efficacia dello spazzamento e lavaggio delle strade e cenni sul problema della risospensione

Altre misure, di solito realizzate a livello di azione emergenziale per il contenimento delle concentrazioni di particolato atmosferico, consistono nelle operazioni di pulizia e lavaggio delle strade.

L'efficacia di tali operazioni risulta controversa in quanto, anche a livello scientifico, non sono completamente noti gli eventuali benefici in termini di qualità dell'aria che ne possono derivare.

Va infatti rilevato come siano numerosi i fattori che possano influenzare l'efficienza ottenibile dai sistemi di pulizia e lavaggio strade quali, la specifica macchina spazzatrice stradale nonché quella di lavaggio, le condizioni meteorologiche locali e le particolari condizioni di utilizzo della strada oggetto dell'intervento.

Nell'analisi di efficacia di tali tecnologie va primariamente rilevato come le emissioni da traffico non includano solamente la componente dei rilasci gassosi e di particolato dagli scarichi delle automobili ma anche una frazione decisamente rilevante quale la risospensione del particolato atmosferico per effetto della turbolenza generata dal movimento delle ruote dei veicoli.

Alcuni studi specifici sulla risospensione del particolato hanno evidenziato che questo tipo di contributo può essere addirittura superiore alla emissione diretta di PM_{10} primario dai veicoli transitanti sulla strada. Questo aspetto è particolarmente evidenziato in alcuni importanti studi scientifici (Abu-Allaban et al., 2003; Jaecker-Voirol and Pelt, 2000; Amato et al., 2009a).

Si ritiene quindi importante sviluppare un approfondimento specifico utilizzando la metodologia indicata in uno specifico studio (Abu-Allaban et al., 2003) per poter stabilire criteri che massimizzino l'efficacia di soluzioni che possono essere quella del lavaggio delle strade (o altre soluzioni che potrebbero emergere dall'approfondimento che abbiano un controllo sulla frazione risospesa).

La determinazione di tale frazione non risulta essere di facile operazione ma questa costituisce il primo passo finalizzato alla corretta valutazione dell'efficacia di azioni specifiche di riduzione delle emissioni quali la pulizia delle strade.

Per ridurre le emissioni derivanti da superfici e strade pavimentate occorre affrontare il problema cercando di implementare sinergicamente, misure di prevenzione e di riduzione; le prime consentono di evitare in primo luogo la deposizione vera e propria, con soluzioni specifiche che possono essere la pavimentazione di accessi ancora sterrati oppure una copertura di alcuni camion carichi. Le seconde invece puntano ad un contenimento degli effetti da particolato già deposto; la pulizia delle strade con acqua pressurizzata, ad esempio, può determinare, appunto, uno spostamento delle polveri deposte verso il sistema fognario. Insieme ad un effetto di trascinamento del particolato è da considerare che l'acqua, nel momento in cui arriva ad aderire con le particelle deposte, determina un aumento della massa

specifica e delle tensioni superficiali del materiale, diminuendo, in tal senso il rischio di una ulteriore movimentazione e trasporto; in particolare tale coesione tra le particelle bagnate spesso persiste anche dopo evaporazione a seguito della formazione di aggregati (Amato et al., 2009b).
Uno degli aspetti più difficili da valutare e parallelamente di maggiore interesse, risulta essere la presenza o meno di una eventuale correlazione tra le operazioni di pulizia o lavaggio delle strade con una diminuzione delle concentrazioni misurabili di particolato in aria ambiente. Gli approcci scientifici in questo senso sono molti e non si è ancora arrivati a definire univocamente gli eventuali vantaggi in termini quantitativi.
In questa sede verranno riportate due esperienze scientifiche di rilievo che forniranno indicazioni utili nella valutazione di programmi di azione per la pulizia delle strade.

La prima esperienza presentata è quella Chou et al. (2007), i quali realizzano una sperimentazione su campo implementando un sistema di spazzamento stradale mediante specifici mezzi ad aspirazione ad aria rigenerativi (RAVS), seguito da un lavaggio, come indicato nella Figura 4-27. Il sistema totale realizza uno spazzamento e lavaggio complessivo che verrà indicato con l'abbreviazione S/W.

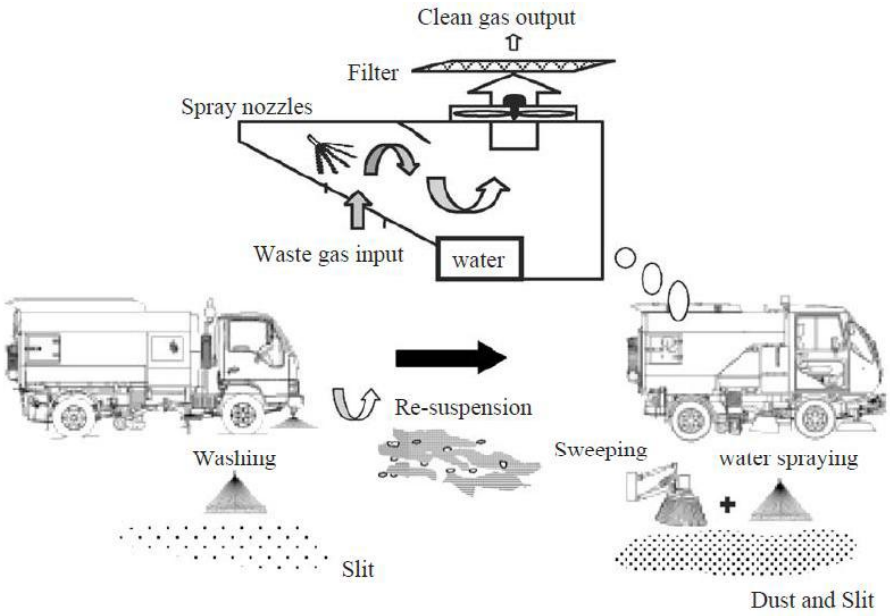


Figura 4-27: Sistema di spazzamento e lavaggio stradale implementato in Giappone e testato da un gruppo di ricercatori (Chang T-M. et al., 2005).

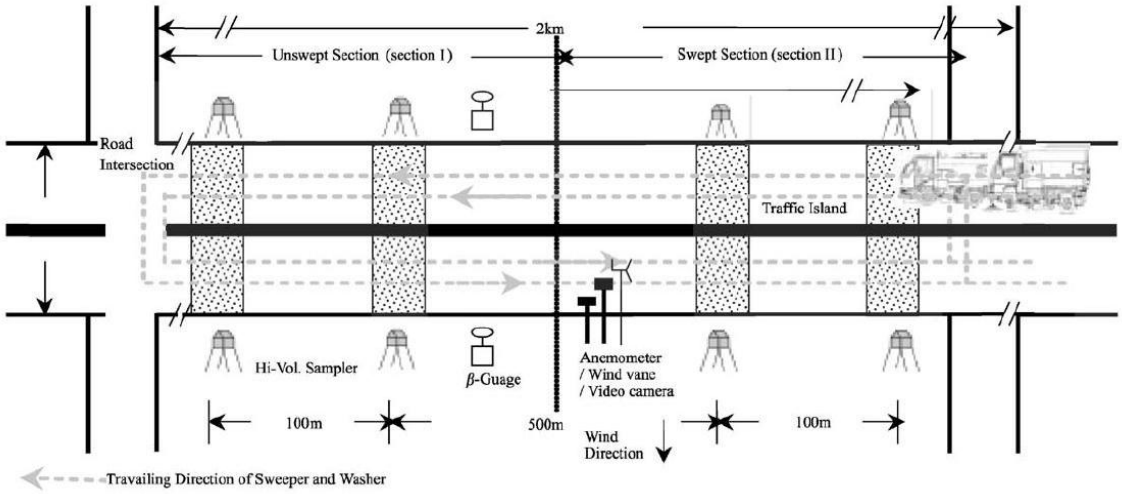


Figura 4-28: Configurazione di spazzamento e lavaggio della strada soggetta a sperimentazione in Giappone (Chang T-M. et al., 2005).

La strada scelta per le misure è a due corsie, orientata in direzione NE a SW e caratterizzata da traffico moderato, valutabile in 68 pcu/min (pcu = private car unit); la valutazione di tale intensità di traffico viene effettuata secondo la metodologia US EPA del 1996 (US EPA, 1996), appunto in pcu, definita secondo la formula:

pcu/min = 4 x (numero di camion al minuto) +
1 x (numero di auto al minuto) +
0,2 x (numero di motocicli al minuto)

Sono previste delle zone di spazzamento e lavaggio intervallate ad altre zone dove non viene effettuato nessun trattamento, come indicato nella Figura 4-28.

Le operazioni di pulizia vengono ovviamente effettuate in giorni non piovosi (escludendo anche i due giorni successivi alla precipitazione) con misurazioni in continuo del carico di sabbia (diametro inferiore a 75 µm) raccolta dalle macchine adibite alla pulizia e della concentrazione in aria ambiente di PM_{10}.

I risultati della sperimentazione con la misura dell'andamento delle concentrazioni rilevate, sia per la zona spazzata e lavata, sia per la zona non soggetta a trattamento, vengono riportati nella Figura 4-29.

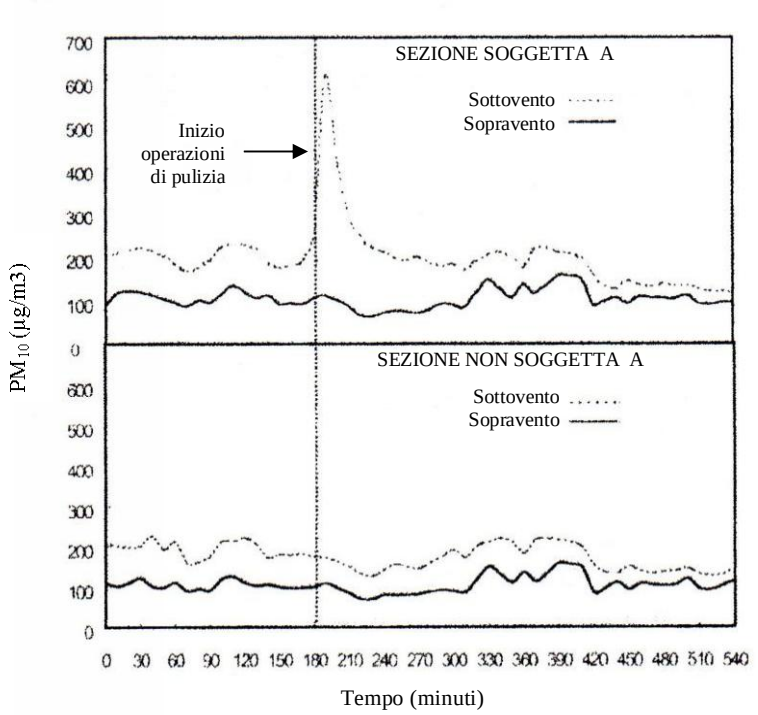


Figura 4-29: Andamento delle concentrazioni di PM_{10} rilevate durante lo spazzamento e lavaggio (grafico sopra) con confronto delle concentrazioni nelle zone adiacenti non soggette a trattamento (parte sottostante del grafico). Le condizioni di prova si riferiscono a un volume di traffico medio di 68 pcu/min e intensità media del vento di 0.7 m/s (Chou, C-M. et al., 2007).

Si può rilevare un considerevole picco di concentrazione a seguito dell'inizio dell'operazione di pulizia per un ovvio sollevamento di polveri dal manto stradale; esso comunque è seguito da una repentina diminuzione, che si realizza in modo più graduale del picco di salita, portando il valore di concentrazione entro il 70% del valore massimo in 30-40 minuti dopo spazzamento. Si nota inoltre che la diminuzione avviene ad opera del sistema di lavaggio, operazione seguente al preventivo spazzamento. Dal grafico risulta evidente come vi sia una durata limitata dei benefici derivanti dalle operazioni di spazzamento e lavaggio.

Un importante risultato ottenuto nello stesso studio è l'evidenza di una correlazione tra l'efficienza di raccolta della frazione sabbiosa per mezzo del sistema RAVS (η_s) e l'efficienza di riduzione della concentrazione di PM_{10} in aria ambiente (η_r), come riportato nella Figura 4-30.

Dalla figura è evidente come la concentrazione di PM_{10} possa essere in qualche modo relazionata e quindi controllata attraverso le operazioni di pulizia e quindi di rimozione delle particelle sabbiose (con riferimento alla granulometria inferiore a 75 µg/m3) dalle superfici pavimentate. Ecco quindi il legame tra la concentrazione di particolato e la frazione dello stesso che è depositato sulle superfici; una diminuzione del contenuto di sabbia può portare ad una diminuzione della concentrazione ambiente di PM_{10}. È importante ricordare in questa sede che la quantità di particolato risospeso da un segmento dato varia linearmente con lo specifico volume di traffico.

Un'ultima importante osservazione può essere fatta a commento del grafico riportato in Figura 4-30. Appare evidente come non vi sia una sostanziale risposta del sistema, in termini di variazione della concentrazione di PM_{10} (valori positivi di η_r), per valori di η_s inferiori a 15%. Questo implica che un sistema S/W in realtà non potrà avere successo in termini di misura di riduzione della concentrazione di particolato atmosferico qualora le efficienze di rimozione della sabbia depositata che vengono realizzate, siano basse. Gli specifici valori numerici percentuali indicati e la relativa curva di relazione sono caratteristici del sistema di pulizia implementato e quindi il grafico quivi riportato, è identificativo del sistema di pulizia RAVS + lavaggio, descritto nello studio.

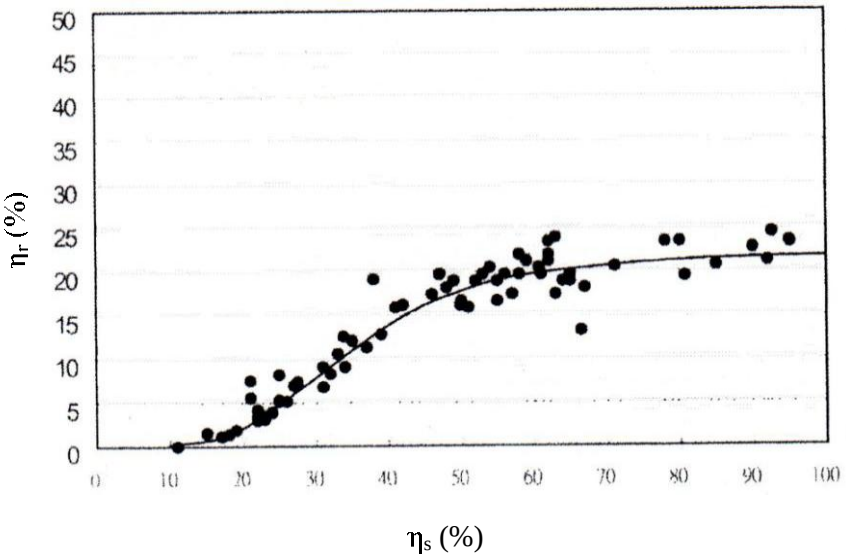


Figura 4-30: Correlazione sperimentale fra efficienza di raccolta della frazione sabbiosa per mezzo del sistema RAVS (ηs) e l'efficienza di riduzione della concentrazione di PM_{10} in aria ambiente (ηr). Le condizioni di prova si riferiscono a un volume di traffico compreso fra 15 e 156 pcu/min, intensità del vento tra 0.1 e 3.2 m/s e carico di sabbia compreso fra 0.63 e 8.0 g/m2. (Chou, C-M. et al., 2007)

La seconda esperienza riportata è quella realizzata da un gruppo di ricercatori spagnoli (Amato et al., 2009b), su di una strada caratterizzata da un traffico medio di 19000 veicoli/giorno. Si tratta di una strada a tre corsie di transito a senso unico, dotata inoltre di una corsia riservata per il transito degli autobus e di una corsia per il parcheggio di autovetture, come mostrato in Figura 4-31.

In questa esperienza sono state effettuate misure in continuo di PM_{10}, NO, NO_2, NO_x, velocità del vento e direzione, prevedendo due punti di misura, uno sopravento e uno sottovento.

Il programma di spazzamento e lavaggio viene effettuato con i mezzi schematizzati nella Figura 4-32. Il programma prevede il lavaggio notturno della strada al fine di non intralciare la circolazione e le operazioni vengono effettuate per alcuni giorni consecutivi oppure a giorni alterni secondo diverse tempistiche (per eventuali dettagli si rimanda all'articolo citato).

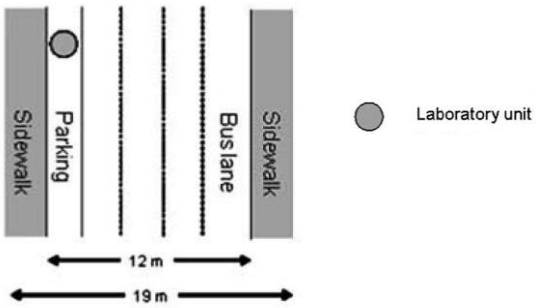


Figura 4-31: Configurazione di spazzamento e lavaggio della strada soggetta a sperimentazione in Spagna (Amato et al., 2009b).

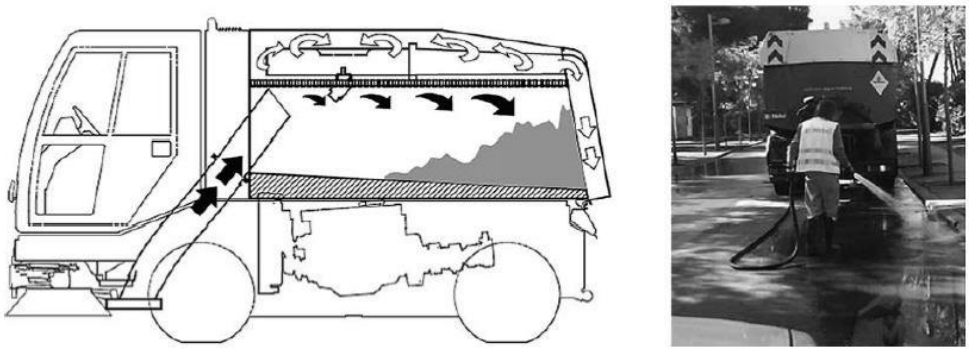


Figura 4-32: Mezzi di spazzamento (a sinistra) e lavaggio della strada (destra) soggetta a sperimentazione in Spagna (Amato et al., 2009b).

I risultati dell'esperienza dimostrano una diminuzione dei livelli di concentrazione di PM_{10} in corrispondenza dei giorni di trattamento, lungo la strada oggetto dell'intervento; nella stazione di sottovento la diminuzione della concentrazione media giornaliera è di 8.8 $\mu g/m^3$, mentre per la stazione sopravento tale diminuzione è limitata a 3.7 $\mu g/m^3$. Nonostante tali risultati positivi vanno evidenziate due criticità: in primo luogo a fronte di una diminuzione della concentrazione media giornaliera si riscontrano dei picchi di concentrazione più elevati. In secondo luogo, parte del beneficio misurato è da imputare all'effetto di condizioni meteorologiche favorevoli nella dispersione degli inquinanti. Tale frazione può essere correttamente valutata considerando le concentrazioni rilevate nelle stazioni di background che non risultano essere influenzate dalle operazioni di pulizia oggetto di studio. Scorporando i benefici determinati dalle particolari condizioni meteo (che determinano un abbassamento della concentrazione di 3.7-4.9 $\mu g/m^3$), è possibile determinare i benefici in termini di effetto imputabili alle sole operazioni di pulizia, variabili tra 4-5 $\mu g/m^3$ (7-10%) per il tratto di strada interessato.

Sarebbe stato interessante valutare, anche in questo caso, la correlazione tra efficienza di raccolta della frazione sabbiosa per mezzo del sistema RAVS (η_s) e l'efficienza di riduzione della concentrazione di PM_{10} in aria ambiente (η_r).

Da quanto scientificamente evidenziato le operazioni di spazzamento e lavaggio delle strade possono presentare alcuni vantaggi in termini di ausilio nell'abbattimento delle concentrazioni

di particolato. Nello specifico caso del Comune di Verona va ricordato che nell'anno 2006 con contributo provinciale di 210403.43 euro sono stati effettuati circa 70 lavaggi con frequenza bisettimanale nel periodo luglio/settembre 2006 mediante motrici allestite con cisterna della capacità di 7000 litri con sistema di lavaggio a bassa pressione e a gravità e con autoarticolato con cisterna da litri 28000 e con spazzatrici con sistema aspirante con filtri per abbattimento polveri sulle spazzole con portata di 5000 kg. Questo servizio è stato effettuato sia nelle direttrici ad alta densità di traffico sia nelle strade interne di penetrazione ai quartieri delle Circoscrizioni mediante il quale sono stati distribuiti quotidianamente sulle strade circa 80000 litri di acqua e raccolte dalle spazzatrici a bordo strada circa 20000 kg. di polveri miste a rifiuti. Nell'anno successivo con fondi del Comune (per un importo complessivo di 210403.43 euro) sono stati effettuati alcuni lavaggi nei seguenti periodi:
novembre/dicembre 2007 : 18 interventi
febbraio/marzo 2008: 20 interventi
febbraio/maggio 2009: 44 interventi
In questa sede appare molto difficile dare una valutazione dell'efficacia delle misure attuate nello specifico caso del Comune di Verona, in quanto non è stato implementato un correlato sistema di campionamento nei siti soggetti a pulizia. Come evidenziato dalle indicazioni scientifiche quivi riportate, l'efficienza dell'abbattimento è strettamente funzionale e dipendente dalle condizioni al contorno. Ciò implica una forte dipendenza dalla conformazione della strada, dai cicli di lavaggio adottati, dai mezzi che nello specifico effettuano il lavaggio e da molti altri fattori indicati nel citato paragrafo. Per tali motivi in questa sede non è possibile fare delle valutazioni di efficacia nel caso specifico, in quanto tali condizioni al contorno e le modalità di attuazione dell'intervento (tempi, zona di intervento, ecc.) non sono state definite. A tal proposito appare quindi importante prevedere per il futuro, l'attuazione di un sistema di misura correlato alle specifiche operazioni di pulizia per il Comune di Verona, in modo da poter accuratamente rilevare l'efficacia delle stesse su campo nello specifico contesto di applicazione.

4.3.4.5 Inquinamento nelle gallerie stradali e sistemi di ventilazione

Un altro aspetto da considerare in termini di inquinamento indotto dalla presenza di strade e quindi da traffico veicolare, è quello dell'accumulo di inquinanti all'interno di galleria. È esperienza comune, infatti, come vi sia un certo ristagno di inquinanti e un notevole aumento della polverosità che può portare, oltre a dei costi aggiuntivi di pulizia continua della struttura stradale, delle pareti e della segnaletica, anche a delle conseguenze in termini di esposizione delle persone in transito ad una certa concentrazione di inquinanti.
La modalità per il controllo degli inquinanti all'interno dei tunnel stradali è rappresentata dai sistemi di ventilazione.
Ad eccezione di tunnel di lunghezza contenuta (minore di 300 m), vengono infatti richiesti sistemi di ventilazione meccanica in modo da diminuire le concentrazioni a livelli ritenuti

accettabili (El-Fadel and Hashisho, 2001). Usualmente i sistemi di ventilazione vengono implementati con l'obiettivo primario, nella progettazione, di ridurre le concentrazioni di monossido di carbonio (CO) a livelli accettabili di sicurezza, in quanto questo assicura la diluizione delle altre specie inquinanti presenti. Numerose e varie sono le configurazioni di ventilazione atte a tale scopo, di tipo longitudinale, semi-trasversale e completamente trasversale. La scelta della tipologia di sistema di ventilazione si basa essenzialmente sia sulla lunghezza del tunnel (Tabella 4-8), che in base alla conformazione propria dello stesso, sul costo del sistema di ventilazione che in alcuni casi può essere di una certa entità. Insieme ai criteri indicati, per la scelta del sistema di ventilazione, va considerato in fase di scelta, anche il volume di traffico atteso nella strada di interesse (Müller and Steltmann, 2005).

Tabella 4-7: Tempo medio di esposizione ad una certa concentrazione di Monossido di Carbonio (CO), nei tunnels (1 ppm CO = 1.165 mg/m^3) (El-Fadel and Hashisho, 2001).

Durata di esposizione (min)	**Concentrazione massima di CO (ppm)**
15	120
30	65
45	45
60	35
15	120
30	65
45	45
60	35

Tabella 4-8: Classificazione dei tunnel e tipologia di ventilazione in funzione della lunghezza (El-Fadel and Hashisho, 2001).

Classificazione del tunnel	**Tipologia di ventilazione**	**Lunghezza del tunnel (m)**
Corto	Naturale	< 300
-	Longitudinale	< 600
-	Semi-trasversale	<1500
Lungo	Completamente trasversale	> 1500

4.3.4.5.1 Sistemi a ventilazione naturale

Nel caso di sistema a ventilazione naturale lo scambio d'aria è indotto dal vento e dall'effetto pistone creato dai veicoli in movimento all'interno del tunnel. La differenza di pressione tra il fronte e il retro dei mezzi in movimento determina una forza che agisce lungo la stessa direzione del movimento del flusso stradale. L'integrazione di queste forze con le forze di moto del traffico determinano appunto il cosiddetto "effetto pistone", il quale induce l'ingresso di aria fresca di ricambio e, allo stesso modo, la fuoriuscita dell'aria inquinata attraverso il portale di uscita.

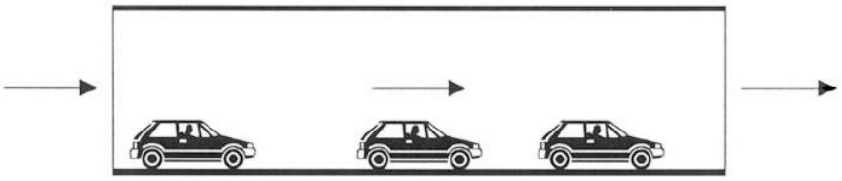


Figura 4-33: Sistema di ventilazione naturale (El-Fadel and Hashisho, 2001).

Il tasso di scambio d'aria aumenta all'aumentare della velocità dei veicoli, determinando quindi una diminuzione della concentrazione degli inquinanti. Da quanto enunciato appare evidente come affinché il sistema a ventilazione naturale sia efficiente, i due sensi di marcia devono essere realizzati in modo separato; in caso contrario le spinte risultanti tenderanno ad eliminarsi l'un l'altra, specialmente nel caso in cui le condizioni di guida siano le stesse in entrambe le direzioni.

4.3.4.5.2 Sistemi a ventilazione longitudinale

I sistemi a ventilazione longitudinale vengono usualmente utilizzati per tunnel di lunghezza inferiore ai 600 m. Con questo tipo di sistema di ventilazione la presenza di aria fresca di ricambio viene indotta in alcuni specifici punti nel tunnel; essa è basata su una tipologia di circolazione rettilinea orizzontale oppure attraverso un sistema con un apposito pozzo centrale (Figura 4-34).

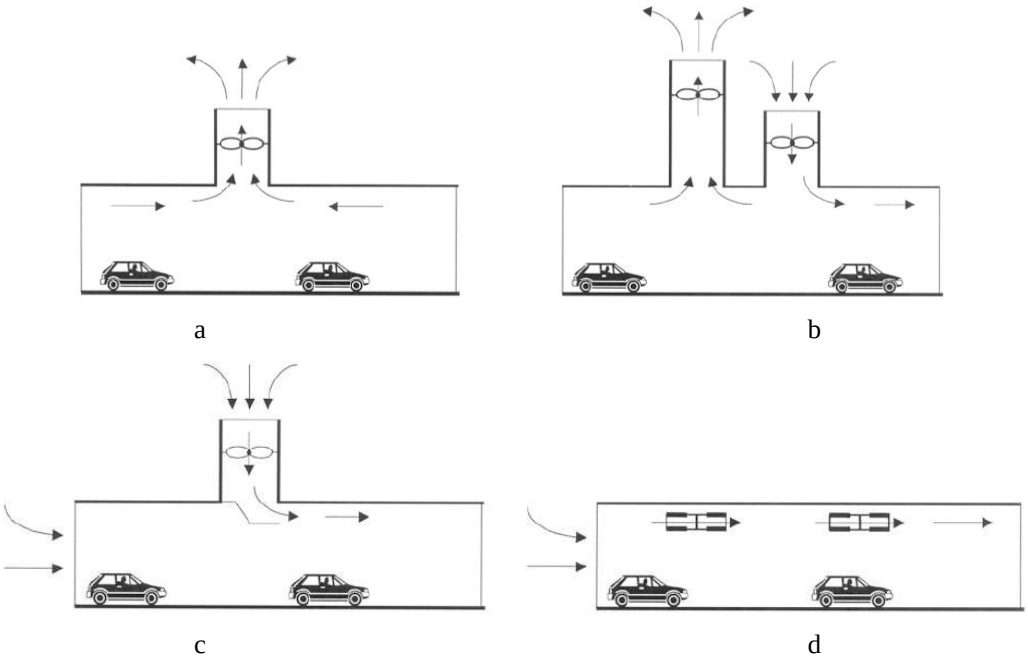


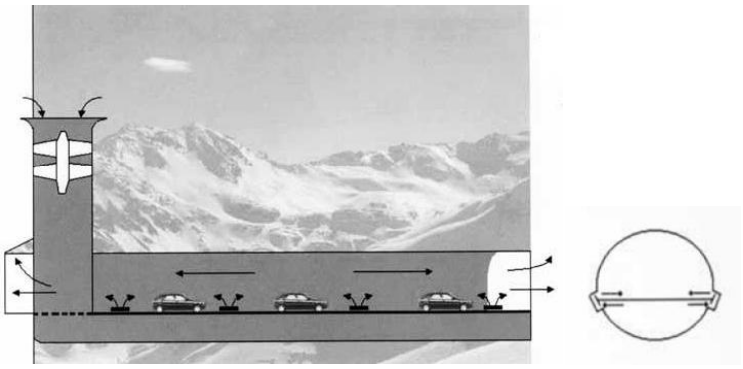
Figura 4-34: Sistema di ventilazione longitudinale: a) Tipologia a espulsione mediante pozzo centrale, b) tipologia a esplusione ed immissione attraverso pozzi verticali, c) tipologia ad immissione con boccaglio, d) tipologia assiale (El-Fadel and Hashisho, 2001).

Il sistema longitudinale diretto o a getto include il sistema assiale, riportato alla lettera d) della Figura 4-34, dove i ventilatori possono essere installati nel centro o in fondo nella parte sommitale, e il sistema a boccaglio, alla lettera c) della Figura 4-34, dove l'aria di ricambio

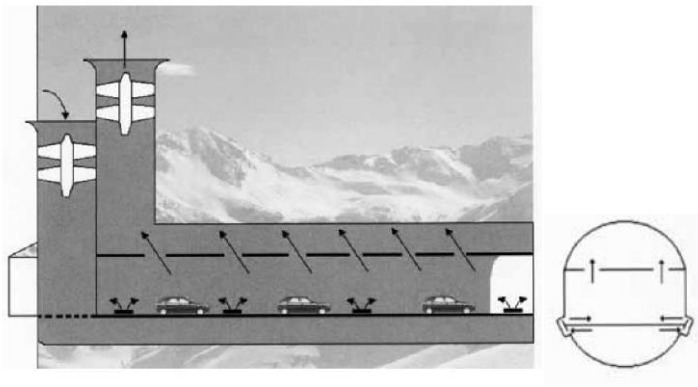
viene iniettata in direzione longitudinale in specifici punti lungo il tunnel. Nel sistema a pozzo centrale i ventilatori vengono installati in apposite costruzioni di servizio e attraverso i quali può avvenire l'iniezione e l'estrazione dell'aria; va considerato che le efficienze di questa configurazione diminuiscono nel caso di condizioni meteorologiche sfavorevoli. L'accumulo e l'elevata concentrazione di inquinanti con riferimento all'aria esausta e alle condizioni dell'aria fresca in ingresso, può portare anche ad uno sbilancio economico di funzionamento del sistema longitudinale, tale da richiedere l'implementazione di un sistema semi-trasversale.

4.3.4.5.3 Sistemi a ventilazione trasversale

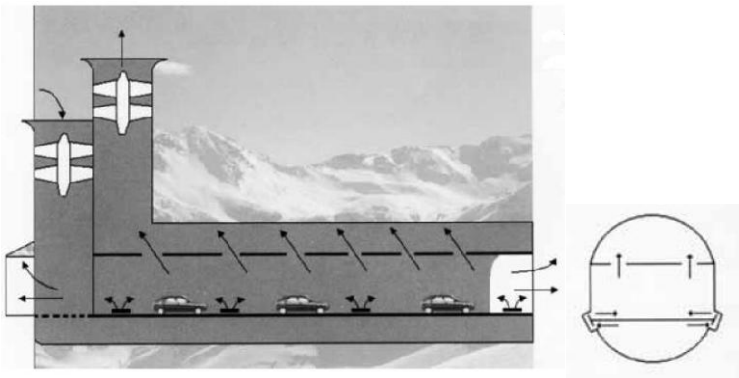
I sistemi a ventilazione trasversale vengono riportati nella Figura 4-35.



a



b



c

Figura 4-35: Sistemi di ventilazione: a) Semi-trasversale, b) Completamente trasversale, c) combinato semi-pienamente trasversale (Müller and Steltmann, 2005).

I sistemi semi-trasversali vengono usualmente progettati con la finalità di iniezione di un certo quantitativo d'aria necessario alla diluizione del carico di inquinanti presenti nel tunnel; una volta effettuata la diluizione voluta, l'aria esausta esce attraverso i portali di ingresso e di uscita in eguali proporzioni. Tale quantitativo d'aria controllato viene inserita nel tunnel attraverso una apposita conduttura separata. Rispetto al sistema longitudinale, tale sistema realizza una minore velocità di flusso longitudinale poiché l'aria può uscire attraverso entrambi i portali. Vi può essere un inconveniente nell'utilizzo di tale sistema, determinato dalla diminuzione dell'area della sezione trasversale.
Con il sistema di ventilazione completamente trasversale l'aria fresca è fornita in ciascun punto della strada nella esatta quantità in cui essa viene estratta, nel medesimo punto. Come si può notare dalla Figura 4-35 b), l'aria esausta inquinata viene estratta in modo continuo in una apposita zona posta nella parte sommitale del tunnel; da qui viene collettata attraverso un sistema unico ed inviata ad un apposito camino di eventuale trattamento ed espulsione. In una variante particolare denominata a "ventilazione trasversale ridotta", il flusso di aria indotto in uscita attraverso lo specifico canale superiore viene imposto più basso rispetto a quello fornito; l'aria in eccesso, in questo modo, viene espulsa attraverso i portali.

4.3.4.5.4 Concentrazioni di inquinanti nei tunnel stradali

La concentrazione specifica di inquinanti all'interno di gallerie è fortemente dipendente dalle sue caratteristiche (gradiente, geometria, sistema di ventilazione), dalle caratteristiche dei veicoli in transito (età, combustibile, tipologia del motore e classe del veicolo) e dai fattori operativi (velocità, condizioni di traffico stop and go, temperatura, manutenzione del tunnel, sua pulizia).
Nella valutazione delle concentrazioni di inquinanti rilevati all'interno di tunnel stradali è possibile fare riferimento ad alcune specifiche campagne di misura condotte su alcuni tunnel. In una sperimentazione condotta a Bologna e finalizzata alla valutazione dell'inquinamento indotto da autobus in transito attraverso un tunnel di lunghezza pari a 400 m, privo di sistemi di ventilazione, sono stati organizzati una serie di viaggi di bus dotati di diversa alimentazione; tali sistemi sono stati inoltre modellati attraverso un apposito sistema di simulazione. I risultati relativi agli inquinanti di interesse nello studio (particolato e IPA) vengono riportati nella Figura 4-36 (Zanini et al., 2006).
In una analoga e recente sperimentazione condotta ad Hong Kong (Mak and Hung, 2008) è stata effettuata una analisi delle concentrazioni di CO ed NO_2 all'interno di un tunnel stradale di lunghezza pari a 1430 m dotato di un sistema di ventilazione; il sistema è costituito da due tunnel gemelli in parallelo, indipendenti l'uno dall'altro, ciascuno per ogni senso di marcia. La metodologia di campionamento è del tipo "ad inseguimento di mezzi" (car chasing). In altre parole viene prevista la raccolta dei dati di qualità dell'aria in continuo caricando l'attrezzatura necessaria su di un'auto che percorre il tunnel oggetto dello studio. Poiché la qualità dell'aria all'interno del tunnel è fortemente dipendente dalle velocità di traffico medio,

tale metodologia risulta essere particolarmente utile; l'auto adibita alla raccolta delle misure andrà a seguire il veicolo che la precede conducendo alla stessa velocità. I dati misurati vengono confrontati con quelli dei tre punti di campionamento fissi installati all'interno del tunnel e con i valori stimati attraverso un modello di simulazione. In questa sede vengono riportati i risultati riferibili ai campionamenti serali (Figura 4-37); per maggiori dettagli si rimanda allo specifico studio.

Dai grafici appare evidente l'aumento della concentrazione verso l'uscita a causa dell'effetto pistone dovuto al transito dei veicoli, tanto da determinare alcuni possibili problemi di qualità dell'aria all'uscita del tunnel. È evidente la presenza di una relazione lineare della concentrazione in funzione della distanza progressiva.

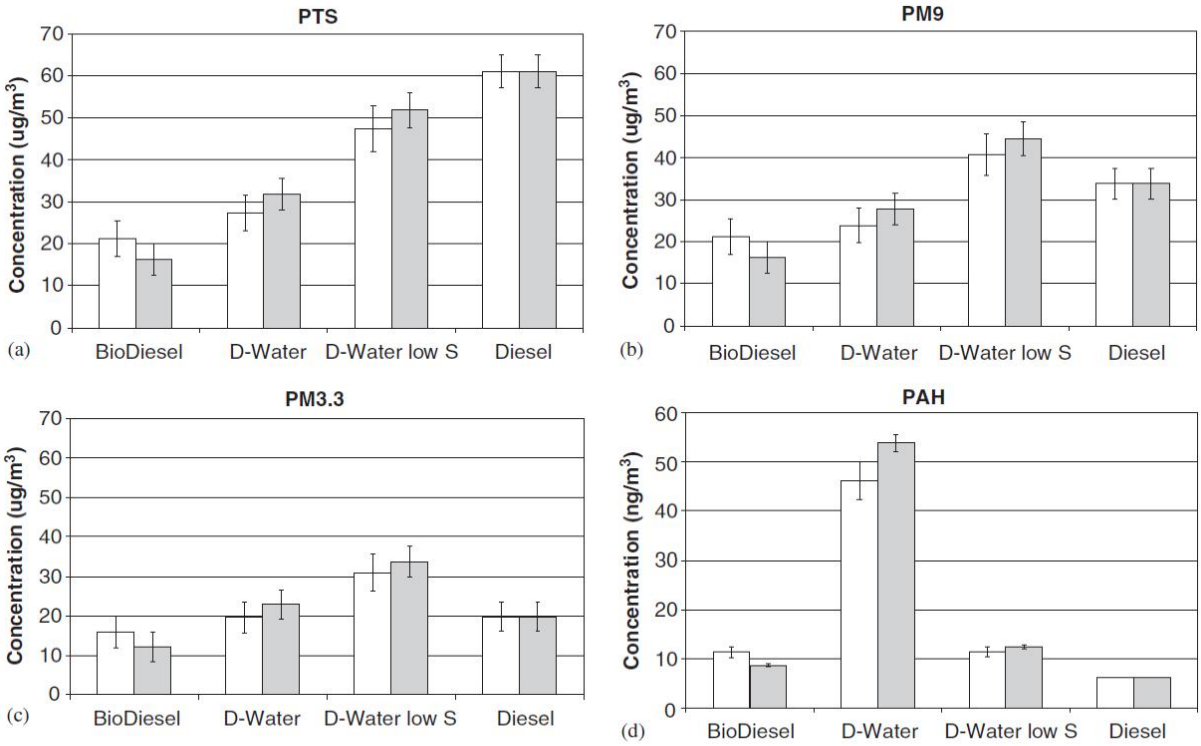


Figura 4-36: Concentrazioni rilevate all'interno di un tunnel soggetto a transiti di autobus a diversa alimentazione: confronto con le misure dirette (in bianco) con i risultati della simulazione (grigio) (Zanini et al., 2006).

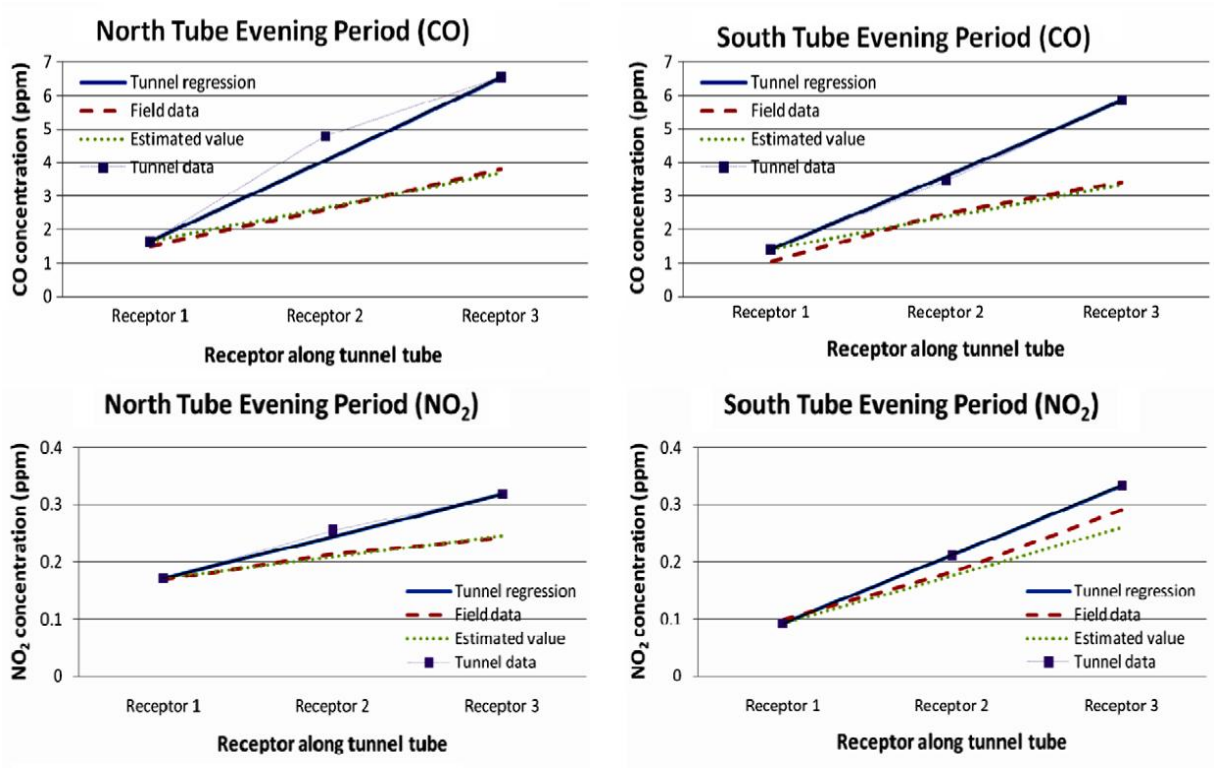


Figura 4-37: Concentrazioni di CO ed NO2 rilevate all'interno di un tunnel oggetto di una sperimentazione ad Hong Kong: in blu la regressione lineare dei tre punti di campionamento fissi all'interno del tunnel (recettore 1, 2 e 3), in verde puntinato il valore stimato mediante apposito modello previsionale, in rosso le misure su campo attraverso la metodologia "car chasing" (Mak and Hung, 2008) (1 ppm NO_2 = 1880 µg/m^3; 1 ppm CO = 1165mg/m^3).

Di notevole interesse, infine, uno studio avente come obiettivo la valutazione dell'esposizione personale condotta su alcuni soggetti in auto, con riferimento a diverse condizioni di ventilazione (aria condizionata con ricircolo, aria condizionata con ingresso di aria dall'esterno, ventilazione naturale), nel caso di guida in tunnel stradale. Gli inquinanti monitorati sono NO e CO. In tale studio si rileva che le concentrazioni maggiori vengono misurate all'uscita dal tunnel e non quando si è all'interno dello stesso. Le misure indoor condotte in auto evidenziano una certa stazionarietà nel momento in cui si transita attraverso il tunnel, mentre vi è un repentino aumento appena all'uscita dallo stesso, rimanendo a livelli considerevoli per un certo tempo non trascurabile; tale incremento è imputabile ad un certo effetto di accumulo di inquinante all'interno del veicolo. A verifica di quanto supposto nello studio, sono state eseguite in parallelo alcune misure di campionamento di qualità dell'aria attraverso apparecchiature fisse, poste all'uscita del tunnel, rilevando delle concentrazioni tipicamente superiori del 30% rispetto a quelle di ingresso (Chang and Chung, 2003).

Una menzione particolare va fatta per il particolato atmosferico. Infatti, all'interno dei tunnel, a differenza degli altri inquinanti, esso svolge un duplice impatto negativo: in termini di impatto sulla salute da esposizione e in termini di diminuzione della visibilità. Le emissioni di particolato nei tunnel consistono principalmente in particolato primario da emissione degli scarichi dei veicoli in transito derivanti da combustione incompleta dei motori, in particolato

da consumo di pneumatici e rottura degli stessi e anche da reazioni che coinvolgono le specie gassose HCs, NO_x ed SO_2.

Nella Tabella 4-9 vengono riassunte alcune indicazioni finalizzate alla minimizzazione e al controllo degli inquinanti nei tunnel stradali.

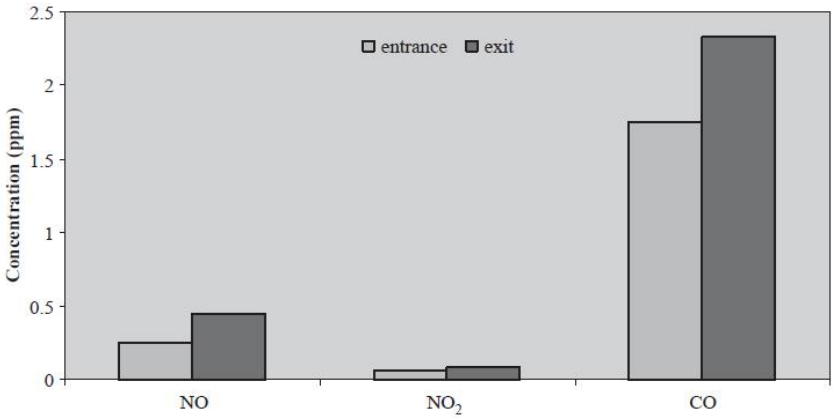


Figura 4-38: Concentrazioni di NO, NO_2 e CO rilevate all'ingresso e all'uscita di un tunnel (Chang and Chung, 2003).

Tabella 4-9: Sommario di alcune misure di controllo dei livelli di inquinante all'interno di tunnel (El-Fadel and Hashisho, 2001).

Categoria	Parametro	Misura di riduzione
Caratteristiche del tunnel e condizioni operative	Geometria	• Costruzione di un sistema di separazione (muro o pannelli) per la divisione del tunnel in due sensi di marcia, in modo tale da aumentare il cosiddetto "effetto pistone".
	Ventilazione	• Modificare il sistema di ventilazione. • Aumentare l'efficienza del sistema di ventilazione presente.
	Caratteristiche del tunnel	• Prevedere appositi programmi di pulizia della polvere e del particolato deposto sulle pareti del tunnel, il quale può essere rimesso in circolazione in aria a causa del flusso determinato dal transito dei veicoli o a seguito dell'aumento della velocità del vento. • Prevedere regolari ispezioni e manutenzioni del sistema di ventilazione e di illuminazione del tunnel.
Caratteristiche del parco veicoli e condizioni operative	Età e combustibile Tipologia di motore	• Proibire il transito ai vecchi veicoli diesel • Proibire o limitare il transito ai veicoli pesanti ad alimentazione diesel.
	Quantità di combustibile	• Imporre l'utilizzo di combustibili a basso tenore di zolfo. • Controllo della frazione aromatica del combustibile.
	Velocità	• Sviluppare un efficace sistema di gestione del traffico

	Traffico "Stop and go"	e distribuzione dello stesso, che tenga in considerazione i picchi di flusso attraverso il tunnel. • Installazione di misuratori di inquinanti all'interno del tunnel i quali siano collegati ad un sistema di avviso ai passeggeri prima che gli stessi entrino nel tunnel.
	Ispezione, manutenzione e standard di emissione	• Sviluppare un sistema obbligatorio efficace per l'ispezione e manutenzione dei veicoli, un apposito programma di manutenzione; controllo degli standard di qualità dell'aria all'interno del tunnel. • Restrizioni nel transito nel caso di veicoli non catalitici.

Fra le azioni innovative finalizzate alla diminuzione dell'inquinamento all'interno dei tunnel stradali vi è l'applicazione di una pittura fotocatalitica sulla volta di un tunnel, nel Traforo Umberto I a Roma.

La Galleria in oggetto, è lunga circa 348 m, larga 17 m e alta 9 m; l'intervento di sistemazione è durato circa un mese. Al fine di ottimizzare l'azione della pittura fotocatalitica è stato installato un impianto di illuminazione specifico. L'opera è oltretutto un ottimo esempio di partnership tra il pubblico e il privato: l'intervento, fortemente voluto dal Comune di Roma, è stato finanziato da Italcementi e Calci Idrate Marcellina.

Figura 4-39: Zona dell'intervento tunnel (Italcementi, 2009).

Nell'agosto 2007 la galleria è stata sottoposta a lavori di restauro per un mese, durante i quali 9000 m² di volta sono stati rivestiti con apposita vernice cementizia ed è stato installato un impianto di illuminazione finalizzato all'ottimizzazione dell'azione della pittura fotocatalitica. Prima e dopo la ristrutturazione della galleria è stata fatta una campagna di monitoraggio per rilevare la variazione del livello di inquinamento. Nello specifico sono state eseguite due campagne di monitoraggio, prima e dopo i lavori di ristrutturazione della galleria, per un periodo di tempo pari a tre settimane per ciascuna campagna.

Sono stati monitorati:

- valori NO_x (NO, NO_2);

- condizioni meteoclimatiche (temperatura, umidità relativa, pressione atmosferica e velocità del vento) e anche le condizioni di luce all'interno e all'esterno della galleria (UVA, UVB, RAD, Lux);
- numero di veicoli/ora.

Inoltre, per poter effettuare un confronto tra i vari valori medi di NO_x calcolati in diversi punti della galleria, sono stati elaborati anche i dati ufficiali dell'ARPA Lazio relativi all'area circostante la galleria.

All'interno della galleria, i parametri principali da prendere in considerazioni per la variazione del livello di inquinamento, sono stati il volume del traffico e la velocità del vento. Considerando i valori assoluti calcolati a livello numerico, è stata rilevata una riduzione di NO_x superiore al 20%. In particolare, al centro della galleria dopo i lavori di ristrutturazione, sono stati calcolati i seguenti valori:

- una riduzione del 25% dei valori di NO;
- una riduzione del 23% dei valori di NO_x;
- una riduzione del 19% dei valori di NO_2.

Tuttavia, dato che i valori di inquinamento registrati nella città di Roma nella seconda campagna (settembre-ottobre 2007) erano superiori ai corrispondenti valori di luglio 2007 (secondo l'ARPA), è stato calcolato che l'effetto reale di disinquinamento indotto dal sistema (vernice + impianto di illuminazione) fosse maggiore dei valori sopra citati (del 20-25%).

Alla luce di quanto sopra, in base all'approccio statistico applicato alla valutazione dei dati, la riduzione del livello di inquinamento al centro della galleria risulta essere maggiore del 50% (gli abbattimenti calcolati vanno dal 51% al 64%). Inoltre, un altro importante effetto derivato dalla degradazione fotocatalitica dei gas inquinanti, è la riduzione dei picchi di inquinamento (valori singoli) osservati per tutti i gas NO_x, confermati anche dal calcolo statistico della varianza per la popolazione di dati. Il trattamento fotocatalitico della volta permette quindi di ridurre il livello di inquinamento con prestazioni di poco inferiori a quelle ottenibili all'esterno.

Un mirato approfondimento potrebbe tradurre le efficienze di rimozione in quantità di inquinante rimosse annualmente e in riduzione dell'esposizione della persona a tale inquinante.

Figura 4-40: Foto del tunnel "Umberto I" a Roma, soggetto ad intervento (www.italcementi.it).

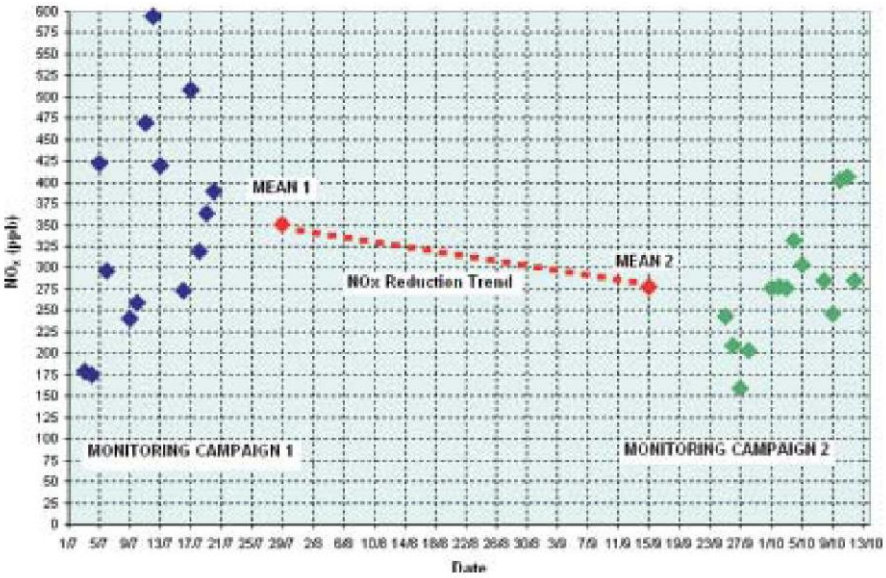


Figura 4-41: Grafico dei risultati della campagna sul tunnel "Umberto I" a Roma (Italcementi, 2009).

In ragione di quando evidenziato è possibile dare alcune indicazioni circa l'implementazione di opportuni sistemi di ventilazione delle gallerie e circa le misure atte al contenimento degli inquinanti, nonché su eventuali criticità che possono sfuggire nell'implementazione su territorio.

A tal proposito, anche attraverso il confronto con i Comuni, si è evidenziata una criticità nel tunnel della SS434 all'altezza di San Giovanni Lupatoto, dovuta ad una lunghezza considerevole e una concomitante assenza di sistemi di ventilazione. Tale circostanza suggerisce di implementare un sistema idoneo a favorire una adeguata ventilazione come da indicazione della Tabella 4-8. Dal momento che la lunghezza del tunnel in oggetto è di poco inferiore ad 1 km di lunghezza (912 m), sulla base dei criteri evidenziati in Tabella 4-8, risulta opportuno prevedere un sistema di ventilazione di tipo semi-trasversale.

Inoltre, da quanto evidenziato sopra, in presenza di tunnel con un'unica direzione di marcia si riscontra un aumento dell'effetto "pistone di ventilazione". Ciò consiglia di prevedere per il tunnel in esame, un setto o parete di separazione fra le due carreggiate corrispondenti ai due sensi di marcia.

Non va comunque trascurato l'effetto negativo che, in caso di detta suddivisione, deriva dalla concentrazione di inquinanti in uscita da ciascun tunnel per ogni senso di marcia, come evidenziato dagli specifici studi quivi menzionati e descritti (Figura 4-38).

Analoghe considerazioni si applicano al caso di gallerie la cui esecuzione è in corso di progettazione. Particolare attenzione andrà posta alla valutazione degli effetti a carico della qualità dell'aria a seguito della costruzione della collegamento stradale per il completamento dell'anello circonvallatorio a nord della città di Verona (comunemente detto "Traforo delle Torricelle"). Nell'ambito di tale valutazione andranno in particolare valutati con attenzione:

1. le emissioni di inquinanti valutabili sulla base dei flussi di traffico attesi, nella loro articolazione temporale (diurna/notturna, settimanale, stagionale) e in base alla tipologia dei veicoli in transito;
2. gli effetti di accumulo degli inquinanti derivanti dalla conformazione della sede stradale, con particolare riguardo ai tratti in galleria e ai tratti in trincea;
3. gli effetti di incremento del rischio per la salute della popolazione residente nelle vicinanze del tracciato, con particolare riguardo alle strutture che ospitano fasce di popolazione più vulnerabile (asili, scuole, case di cura, case per anziani) e alle zone poste in prossimità degli sbocchi delle gallerie o dei condotti di aerazione nonché ai bordi dei tratti in trincea.

4.3.5 Predisposizione e utilizzo di strumenti di previsione della qualità dell'aria a supporto dell'adozione di misure (a breve, a medio e lungo termine).

4.3.5.1 Premessa

Le misurazioni della qualità dell'aria, anche in ragione del notevole impegno di risorse che normalmente richiedono, vanno accuratamente pianificate, organizzate, gestite e valorizzate attraverso una approfondita analisi dei dati. In particolare, devono essere principalmente effettuate nelle aree in cui vi sia il rischio di superamento dei limiti. Tale rischio, peraltro, deve essere valutato con una adeguata analisi basata su elementi oggettivi. La rete di rilevamento fissa va quindi predisposta in modo tale da offrire il quadro della qualità dell'aria nelle zone del territorio provinciale maggiormente esposte agli effetti dell'inquinamento, che possono essere identificate sulla base dell'ubicazione delle fonti di emissione più significative. Per le altre zone del territorio con minore quantità complessiva di emissione e quindi più bassa priorità di intervento sarà necessario prevedere, come peraltro già fatto nel passato, campagne di misura organizzate in modo tale da consentire un giudizio di massima sul grado di inquinamento. Naturalmente la frequenza e la dislocazione spaziale delle campagne di misura influenzano l'accuratezza dello scenario che si può ottenere; in alternativa o come complemento sono utili le stime della qualità dell'aria tramite l'utilizzo di modelli di dispersione degli inquinanti.

Le concentrazioni rilevate devono essere quindi rese rappresentative di intere aree. In tal caso si può far ricorso all'interpretazione dei dati con l'ausilio di tecniche di stima e l'eventuale adozione di modelli matematici. Tale analisi dovrebbe consentire di giungere ad una migliore determinazione della qualità dell'aria in ogni punto del territorio provinciale. Per questo scopo vanno considerati sia i dati meteorologici sia quelli emissivi. Dall'inventario delle emissioni si deducono le emissioni in atmosfera e la loro localizzazione sul territorio; esso contiene le informazioni necessarie per la determinazione delle fonti emissive maggiormente responsabili dell'inquinamento atmosferico e consente quindi l'individuazione dei provvedimenti di riduzione delle emissioni e, al contempo, la spazializzazione del carico

inquinante. A questi elementi si deve poi aggiungere il contributo di inquinamento prodotto dal trasporto su scala regionale degli inquinanti o altri fenomeni naturali non sempre facilmente quantificabili.

Prevedere l'utilizzo in maniera operativa e generalizzata dei modelli di dispersione degli inquinanti per valutazioni di breve-medio termine su scala sovracomunale comporta quindi una fase di acquisizione di dati meteorologici, territoriali ed emissivi omogenei; questo rappresenta la condizione necessaria per l'approntamento di una catena modellistica operativa. La scelta del modello di dispersione di inquinanti da utilizzare sarà poi eseguita anche in funzione della tipologia e accuratezza della base dati disponibile. A titolo di esempio e senza pretesa di completezza, si citano come modelli numerici riconosciuti per il calcolo della dispersione di inquinanti dalla scala locale a quella provinciale: ISC, AERMOD, AUSTAL, CALPUFF. Si noti anche che, in ambiti territoriali più ristretti (es. l'area urbana), la simulazione di particolari fenomeni di inquinamento al fine di individuarne l'estensione sul territorio può fornire risultati attendibili e può essere utilizzata per valutare l'efficacia di provvedimenti di riduzione delle emissioni.

La modellazione statistica o numerica trova evidentemente un limite oggettivo in presenza di morfologia complessa, dove è necessaria una grande mole di dati di vario tipo. Le stesse limitazioni riducono la rappresentatività di indagini e campionamenti e la conseguente interpretazione dei dati.

Lo studio e la gestione della qualità dell'aria possono avvalersi anche di un valido aiuto costituito dai modelli di simulazione. I riferimenti tecnici normativi da utilizzare nella scelta delle metodologie sono essenzialmente i seguenti:

- Norma UNI 10796: Valutazione della dispersione in atmosfera di reflui aeriformi - Guida ai criteri di selezione dei modelli matematici.
- Norma UNI 10964: Guida alla selezione dei modelli matematici per la previsione di impatto sulla qualità dell'aria.

I modelli matematici pongono in relazione, risolvendo sistemi di equazioni dinamiche con opportune parametrizzazioni dei processi fisico-chimici, le grandezze meteorologiche, le emissioni e la concentrazione degli inquinanti. In generale modelli di questo tipo possono essere sviluppati per la descrizione di episodi di inquinamento su scala regionale. Dal punto di vista operativo le principali limitazioni per il loro utilizzo su tale scala consistono nelle considerevoli risorse di calcolo necessarie e nella mole di dati in ingresso richiesti, quali un inventario delle emissioni disaggregato nello spazio e nel tempo, contenente tutte le specie chimiche coinvolte nei processi di inquinamento, i campi meteorologici comprensivi di tutte le grandezze che controllano la dispersione, le condizioni iniziali ed al contorno. Lo sviluppo di modelli deterministici che trattano in modo completo l'insieme dei processi atmosferici legati alla formazione, trasporto deposizione e rimozione dell'aerosol atmosferico è pertanto

un settore in continua evoluzione, anche in ragione della sempre crescente disponibilità di risorse di calcolo e al progresso nella comprensione dei processi fisici.
In fase di implementazione del modello è necessario precisare, oltre alle schematizzazioni fisiche ed agli strumenti di calcolo, l'insieme delle informazioni necessarie (variabili di ingresso, dati al contorno). La qualità dei risultati ottenuti è strettamente connessa con la quantità e qualità delle informazioni a disposizione. In ogni caso è opportuno basarsi su informazioni derivanti da conoscenze pregresse in relazione al problema specifico, nonché sui risultati di eventuali misure sperimentali, al fine di aumentare la certezza del risultato. La simulazione dei processi di dispersione in atmosfera richiede una sufficiente conoscenza del campo di moto, nonché delle condizioni di stabilità atmosferica tramite modelli che risolvono numericamente le equazioni che governano i moti atmosferici, utilizzando opportune parametrizzazioni per i processi di microscala non simulati. In ogni caso la complessità dei fenomeni meteorologici e l'ampio spettro di scale che occorre risolvere per una simulazione dettagliata dei moti atmosferici rendono oggi impossibile una simulazione adeguata a tutte le scale.
Occorre perciò utilizzare modelli che risolvano specifiche scale del moto, eventualmente ricorrendo al cosiddetto procedimento di "nesting" che consiste nello sviluppo in cascata di modelli a scala più piccola entro le griglie di calcolo di modelli a scala più grande. Tali modelli effettuano una previsione sulla evoluzione delle condizioni meteorologiche sulla base di determinate condizioni iniziali e al contorno. In sequenza possono essere adottati i cosiddetti modelli diagnostici, che effettuano l'integrazione con i dati raccolti da reti di stazioni fisse o nell'ambito di alcune campagne di misura. Questi permettono di stimare il valore della grandezza da valutare, in un determinato punto della regione, in termini di una media pesata dei valori della variabile noti nei punti di misura.
È pertanto complesso prevedere l'utilizzo generalizzato dei modelli di dispersione degli inquinanti su scala provinciale; è sensato utilizzare queste tecniche per la determinazione delle concentrazioni di lungo periodo. D'altra parte, in ambiti territoriali più ristretti, la simulazione di particolari fenomeni di inquinamento al fine di individuarne l'estensione sul territorio dà risultati attendibili e può essere utilizzata per predire l'efficacia di provvedimenti di riduzione delle emissioni. La modellazione statistica o numerica trova evidentemente un limite oggettivo in presenza di morfologia complessa, dove è necessaria una grande mole di dati di vario tipo. Lo stesso dicasi per la rappresentatività di indagini e campionamenti con relativa interpretazione dei dati ed eventuale stima obiettiva.
Questo quadro può apparire a prima vista puramente teorico; tuttavia la crescente disponibilità e flessibilità di risorse per il monitoraggio non solo delle variabili che caratterizzano i fenomeni ambientali, e in particolare atmosferici, ma anche dei processi relativi alle sorgenti di inquinanti (emissioni da sorgenti fisse, traffico, varie attività economiche, ecc.) rende sempre più fattibile, ed economicamente sempre meno onerosa, la realizzazione di sistemi che integrino ed elaborino con continuità, anche in tempo reale, le informazioni disponibili, da

diverse fonti e con modalità diverse, sullo stato della qualità dell'aria e sulla sua evoluzione, e consentano una visualizzazione della situazione da parte di chi è preposto all'adozione di misure e di politiche finalizzate alla tutela della qualità dell'aria. A queste si aggiungono appunto gli strumenti di simulazione delle concentrazioni mediante modelli numerici implementati in codici su sistemi di calcolatori. Tali modelli riproducono l'evoluzione delle variabili rappresentative della qualità dell'aria (emissioni, concentrazioni degli inquinanti, effetti sulla salute) a partire dalle condizioni iniziali e al contorno, così come determinabili sulla base di una serie di informazioni in ingresso (dati meteorologici aggiornati, condizioni del traffico e di altre attività responsabili di emissioni, distribuzione ed esposizione della popolazione, ecc.).

Va tuttavia sottolineato che la crescente, e sempre meno costosa, disponibilità di tali risorse non deve indurre ad un loro uso poco ponderato: gli strumenti affinati che si rendono via via disponibili richiedono anche una accurata valutazione di, tempi, modi e costi in relazione agli obiettivi e, in ultima analisi, ai benefici attesi.

Inoltre una valorizzazione ottimale delle varie risorse (di monitoraggio e di simulazione) richiede un loro uso integrato supportato da una organizzazione accurata ed efficiente, onde evitare che il venir meno di un segmento pregiudichi il buon esito di tutta una intera procedura articolata (si pensi, nel caso presente, alla mancata disponibilità dell'inventario delle emissioni INEMAR prima e durante l'elaborazione del presente PQA, che ha per esempio pregiudicato l'utilizzo su tutta l'area in esame e per tutte le emissioni, della modellazione di cui sopra, inizialmente pianificata).

Tali sistemi possono essere integrati con altri sistemi di monitoraggio e controllo già esistenti. A tal proposto si riportano due esempi.

4.3.5.2 Il Sistema Integrato per la gestione della Mobilità e della Sicurezza del Comune di Verona

Un primo esempio è offerto dal sistema di monitoraggio e controllo del traffico recentemente implementato dal Comune di Verona.

Presso il Centro di Responsabilità Mobilità e Traffico è stata allestita la Centrale per il controllo del traffico, con la quale vengono monitorati e gestiti tutti i complessi sistemi telematici utilizzati per il governo della viabilità e della sicurezza stradale. La Centrale è strutturata in modo tale da operare direttamente sul campo attraverso numerose postazioni informatiche ciascuna delle quali è in grado di interagire in tempo reale con i sistemi periferici disposti su strada.

Inoltre integra sia i sistemi telematici, che per primi sono stati realizzati dal settore Mobilità, come il controllo elettronico degli accessi alla ZTL, sia tutti i nuovi sistemi alcuni ancora in avanzato stato di completamento.

Tutto si basa sul Sistema Integrato per la gestione della Mobilità e della Sicurezza realizzato allo scopo di integrare in un'unica piattaforma integrata i diversi sottosistemi che sono già stati installati e anche quelli che via via in futuro verranno implementati.
Grazie ad esso, la Centrale per il controllo del traffico può operare con i seguenti strumenti:

1. Sottosistema di centralizzazione semaforica (Urban Traffic Control): il sottosistema consente di coordinare a livello centralizzato i flussi di traffico mediante regolatori semaforici di nuova generazione tecnologicamente avanzati (coordinamenti di direzione, scenari ad attivazione automatica, programmazione a calendario, ecc.).;
2. Sottosistema di monitoraggio del traffico (Automatic Vehicle Classification): essenziale per il monitoraggio e la gestione della rete è l'installazione e l'utilizzo di stazioni di misura che 24 ore su 24 registrano nelle principali vie d'accesso alla città tutto il traffico veicolare sia in ingresso sia in uscita, conteggiando i transiti e suddividendoli per classe (moto, auto, furgoni, tir, ecc.);
3. Sottosistema di pannelli a messaggio variabile (Variable Message System): comprende diverse famiglie di strumenti utilizzati per fornire all'utenza in tempo reale informazioni sullo stato di servizio della rete:
    - Indirizzamento ai parcheggi: fornisce attraverso tabelle elettroniche la disponibilità di posti nei principali parcheggi cittadini;
    - Comunicazioni di servizio all'utenza: è costituito dai pannelli a messaggio variabile disposti agli ingressi della città con la funzione di avvisare di eventi o limitazioni legate alla circolazione stradale nel centro abitato;
    - Avvisi locali per gli accessi alla ZTL: è uno dei sistemi più apprezzati e cioè piccoli pannelli disposti ai varchi d'accesso alla ZTL con la funzione di aumentare la percezione da parte degli utenti della presenza del varco elettronico e della possibilità di accedere liberamente nelle fasce orarie consentite per tutti;
4. Sottosistema di controllo accessi a zone a traffico limitato (Automatic Vehicle Identification): è il sistema di controllo degli accessi alla ZTL (Zona a Traffico Limitato) realizzato dal 2005 che ha la funzione di deterrente nei confronti della pressione veicolare di attraversamento nella piccola area delimitata dall'ansa dell'Adige.
5. Sottosistema per la videosorveglianza del traffico (Closed Circuit Television): si compone di telecamere digitali poste in corrispondenza dei principali incroci semaforizzati allo scopo di osservare dalla Centrale lo stato del traffico, le congestioni e gli eventuali incidenti per darne immediata comunicazione all'utenza attraverso i pannelli informativi.

Il sistema include un modulo aggiuntivo "Qualità dell'Aria", sviluppato da ARIANET di Milano. Questo modulo fornisce nei punti di misura ai varchi della ZTL, sulla base delle informazioni sul numero e sulla categoria dei veicoli in transito, una stima delle emissioni, e una simulazione delle concentrazioni dei vari inquinanti sulla base delle condizioni meteo. In

linea di principio il modulo può essere esteso fino a comprendere ulteriori aree coperte da nodi del sistema di controllo del traffico.

4.3.5.3 Il sistema NINFA

Un ulteriore esempio è offerto dal già esistente e collaudato modello NINFA (Network dell´Italia del Nord per previsioni di smog Fotochimico e Aerosol) gestito dal Servizio IdroMeteoClima dell'Agenzia Regionale Prevenzione e Ambiente della regione Emilia Romagna.

NINFA si basa sulla versione regionale del modello di trasporto chimico Chimere (Bessagnet et al., 2004), abbinata al modello meteorologico LAMI. Il sistema, implementato e gestito da ARPA-SIM, produce ogni giorno mappe di concentrazione di PM_{10}, ozono ed NO_2, per il giorno precedente (analisi) e le successive 72 ore (previsione).

Il modello chimico Chimere è un modello euleriano di trasporto chimico, progettato sia per produrre previsioni quotidiane di ozono, polveri ed altri inquinanti, sia per realizzare simulazioni di lungo termine per l'analisi di scenari emissivi. Può essere implementato su domini di integrazione molto diversi, dalla scala continentale (qualche migliaio di chilometri) alla scala regionale (100-200 km), con una risoluzione orizzontale compresa tra 100 e 1-2 km. Chimere riproduce i principali fenomeni che riguardano gli inquinanti atmosferici: emissione, diffusione, trasporto, reazioni chimiche, deposizioni. Nel sistema NINFA, il dominio di integrazione di Chimere copre l'intero Nord Italia: ciò consente al modello di tenere conto delle circolazioni a scala locale nella Pianura Padana, che influenzano pesantemente il trasporto e la dispersione di inquinanti. La scelta di una risoluzione orizzontale di 10 km permette di utilizzare inventari di emissione e dati meteorologici omogenei nell'intero dominio, e aiuta a mantenere tempi di calcolo ragionevolmente brevi.

Il modello meteorologico LAMI[a] è la versione italiana del modello non-idrostatico ad area limitata Lokal Modell. Implementato e gestito da ARPA-SIM, il modello produce due volte al giorno previsioni meteorologiche per tutta l'Italia, con una risoluzione orizzontale di 7 km. Per generare i file di input necessari al modello Chimere, ARPA-SIM ha realizzato un'opportuna interfaccia: valori orari di temperatura, vento, pressione, umidità dell'aria, copertura nuvolosa, flussi superficiali e umidità del suolo sono passati direttamente a Chimere, mentre il contenuto d'acqua delle nubi, l'altezza di rimescolamento e la velocità d'attrito sono ricalcolati mediante schemi parametrici. Per la simulazione di analisi (relativa al giorno precedente), NINFA usa i campi prodotti dal ciclo di assimilazione di LAMI, mentre per le previsioni (relative alle successive 72 ore) utilizza i campi previsti da LAMI nella sua corsa delle ore 0 (ora di Greenwich).

I dati sulle emissioni si basano sull'Inventario Nazionale relativo all'anno 2000, elaborato dal Centro Tematico Nazionale Atmosfera Clima Emissioni (www.inventaria.sinanet.apat.it).

[a] http://cosmo-model.cscs.ch/public/various/operational/arpa/operationalAppsARPA.htm

Esso copre il Nord Italia con una risoluzione di 5 km e descrive le emissioni di particolato, composti organici volatili, ammoniaca, ossidi di azoto e di zolfo, monossido di carbonio, da tutte le sorgenti antropiche (industriali, trasporti, civili, ecc.). Le emissioni di particolato distinguono due classi granulometriche (< 2.5 μg e comprese tra 2.5 e 10 μg), mentre i composti organici volatili sono ripartiti in 199 specie in base ai profili di speciazione suggeriti da UK-NAEI; per le emissioni biogeniche, viene invece utilizzato l'inventario realizzato dagli stessi sviluppatori di Chimere, e disponibile sul sito web del modello. Il contributo delle emissioni biogeniche e delle sorgenti emissive puntuali (centrali termoelettriche, grossi impianti industriali,…) tiene conto anche di alcune grandezze meteorologiche come stabilità atmosferica e temperatura.

Le concentrazioni di inquinanti ai bordi del dominio di integrazione di Chimere sono fornite dal sistema modellistico per la qualità dell'aria PREV'AIR (www.prevair.org). Anche PREV'AIR è basato su Chimere, tuttavia utilizza i campi meteorologici prodotti dal modello MM5. Tale sistema è gestito in modalità operativa quotidiana da INERIS (www.ineris.fr), su un dominio che copre gran parte dell'Europa con una risoluzione di 50 km. I due sistemi modellistici (NINFA a scala regionale e PREV'AIR a scala continentale) sono quindi piuttosto simili, e possono essere integrati fra loro senza introdurre grosse inconsistenze: nell'implementazione operativa, NINFA usa come condizioni al contorno i campi tridimensionali di concentrazione di 23 specie gassose e di 47 specie di aerosol prodotti da PREV'AIR.

4.3.5.4 Osservazioni

I due esempi citati sono stati scelti per la prossimità all'area di interesse e per la collaudata operatività. Estensioni e adattamenti degli stessi, o eventuali nuovi strumenti possono esser progettati, installati e gestiti in maniera operativa a seconda degli obiettivi e delle risorse disponibili.

Occorre quindi anzitutto valutare a quali politiche lo strumento è finalizzato, sia per quanto riguarda i tempi (ossia se alle gestione di misure a breve, a medio o a lungo termine) sia gli ambiti territoriali (scalo cale, intercomunale, provinciale, regionale o sovraregionale). A seconda di queste opzioni, gli strumenti possono richiedere implementazioni molto diverse (risoluzione spaziale, dettaglio delle simulazioni dei processi, ecc.).

Inoltre è indispensabile definire i ruoli dei diversi soggetti coinvolti, ed in particolare:

a. chi sono i destinatari finali dei risultati del modello e come i risultati del sistema possono esser veicolati, anche per l'adozione di misure conseguenti;

b. chi può svolgere il ruolo di gestore operativo dello stesso;

c. quali sono i dati in ingresso necessari alla effettuazione delle simulazioni e quali sono i canali attraverso i quali i dati confluiscono al sistema di acquisizione.

È evidente che si tratta di un investimento su uno strumento tecnologicamente avanzato per il supporto alle decisioni, e come tale richiede la valutazioni dei costi di progettazione,

implementazione, collaudo, esercizio e aggiornamento, nonché la disponibilità di personale qualificato sia per lo sviluppo e l'aggiornamento, sia per l'esercizio.

4.3.6 Indicazioni per lo sfruttamento della risorsa geotermica

Per quanto riguarda la valutazione delle potenzialità dello sfruttamento della risorsa geotermica si rileva come nel documento "Fonti rinnovabili di energia – Potenzialità ed applicazioni in Provincia di Verona" (ARPAV, 2004) vengano indicate alcune aree che potrebbero presentare un interessante potenziale. Tali aree idrotermali di Verona possono essere divise in tre parti: l'area benacense, l'area di Sant'Ambrogio di Valpolicella e Pescantina e l'area pedemontana.
In realtà, come indicato nello stesso rapporto quivi citato, "i dati esistenti e le aree individuate sul territorio danno informazioni incomplete e parziali delle potenzialità di utilizzo della risorsa geotermica" . Infatti, "le profondità differenti dei punti di campionamento, l'assenza di perforazioni in zone potenzialmente interessanti, le diverse falde interessate all'emungimento di acqua calda e l'assenza di dati precisi relativi alle caratteristiche geometriche dei pozzi esistenti sono tutte variabili che non permettono una precisa stima del potenziale geotermico dell'area."
Per tali motivi appare evidente come sia necessaria una stima preventiva della risorsa anche attraverso appositi sondaggi attentamente progettati in modo da fornire una chiara panoramica dell'entità della risorsa in oggetto prima di un effettivo investimento ai fini di uno sfruttamento della stessa.

4.3.7 Ruolo del cittadino

Le decisioni che vengono prese per riuscire a diminuire le concentrazioni di inquinanti nell'aria, molto spesso coinvolgono attivamente e in maniera sempre maggiore i cittadini che vivono all'interno di un Comune. Basti pensare alle limitazioni di traffico in città o al divieto dell'uso della legna (come in Lombardia) in situazioni critiche di superamento dei limiti di concentrazione di taluni inquinanti in atmosfera.
Il singolo cittadino quindi può, attraverso i suoi comportamenti e le sue azioni (e i suoi investimenti), contribuire alla riduzione dell'inquinamento atmosferico.
Le azioni proposte dalle amministrazioni pubbliche hanno alcune difficoltà oggettive a considerare l'analisi costi-benefici (€/grammo di inquinante rimosso) derivante dall'applicazione di un provvedimento atto a ridurre l'inquinamento atmosferico. Sarebbe però utile che, con riferimento ai margini decisionali del cittadino, sia sviluppata una analisi per mettere a disposizione informazioni circa la soluzione più o meno vantaggiosa dal punto di vista dell'analisi costi-benefici.
Se ad esempio si confrontano due noti provvedimenti per la riduzione del PM_{10} come l'applicazione di un filtro antiparticolato alle auto Euro 0 e di un elettrofiltro a una stufa a

legna, è possibile stabilire quale sia la priorità da seguire. Attuando un'analisi economica di base, considerando in prima approssimazione solamente i costi di investimento e di manutenzione dei due dispositivi è possibile comparare in prima approssimazione le due soluzioni (Figura 4-42) (Paternoster L., 2010). Procedendo quindi ad un'analisi economica più accurata che tenga conto di tutte le voci economicamente rilevanti, è possibile attuare un confronto fra le varie soluzioni a disposizione del cittadino in modo tale da individuare quanto sia vantaggiosa per il cittadino una soluzione piuttosto che un'altra. Si tratterebbe di generare un grafico del tipo di Figura 4-43.

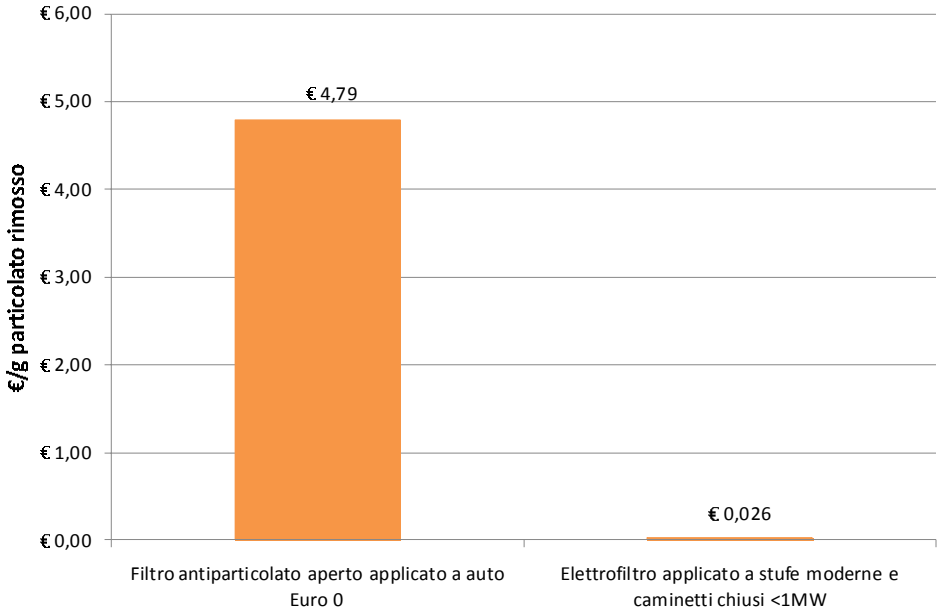


Figura 4-42: Costo per grammo di PM_{10} rimosso con le due soluzioni: elettrofiltro e filtro antiparticolato.

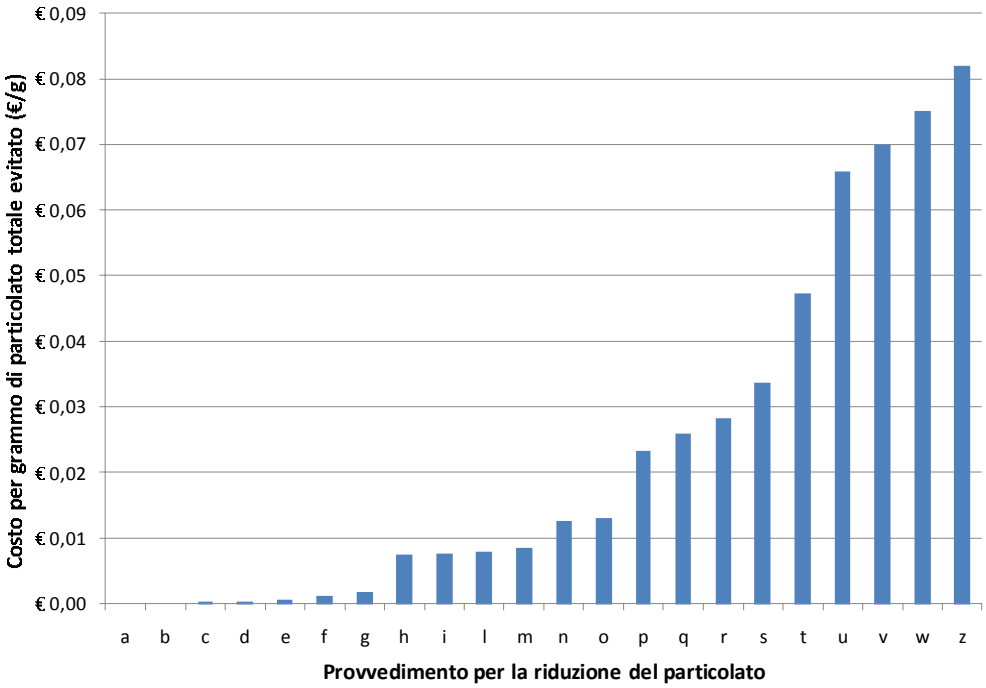


Figura 4-43: Confronto finale tra ipotetiche opzioni di provvedimenti per la riduzione del particolato PM_{10}, a disposizione del cittadino.

4.3.8 Esempio di esposizione giornaliera

L'informazione a disposizione di un decisore che deve affrontare il problema della gestione della qualità dell'aria può essere fruibile a vari livelli, in funzione del dettaglio del quadro conoscitivo di riferimento.

Un primo livello può essere quello caratterizzato dalla conoscenza del quadro emissivo degli inquinanti; il limite di questo livello è che l'informazione non consente di collegare direttamente i flussi emissivi all'impatto sulla salute, in quanto quest'ultimo è determinato dalle concentrazioni in atmosfera; queste dipendono dalle emissioni, ma di mezzo ci sono tutti i processi, non banali, che determinano la dispersione dei vari inquinanti emessi in atmosfera. All'interno di questi processi i più difficili da valutare sono quelli che trasferiscono contaminati outdoor all'interno di ambienti chiusi (abitati).

Di conseguenza, un secondo livello può essere quello caratterizzato dalla conoscenza di un quadro della distribuzione delle concentrazioni in aria outdoor (nello spazio e nel tempo) relazionato alle emissioni e completato da informazioni sulla dislocazione della popolazione sul territorio; si passa cioè da un bilancio emissivo ad uno immissivo: Il limite di questo livello è ancora la non perfetta corrispondenza tra concentrazione in aria ambiente e impatto sulla salute, dato che la popolazione non permane 24 ore al giorno nello stesso ambiente (interno o esterno).

Un terzo livello può essere quello caratterizzato da una informazione calibrata sull'esposizione della popolazione alle diverse concentrazioni di inquinanti atmosferici (outdoor e indoor), tenendo conto delle abitudini di vita; questo livello può essere raggiunto

alla fine di un lungo percorso funzionale ad una dettagliata conoscenza del territorio in esame e delle abitudini di vita della popolazione.

Nel caso in oggetto il presente PQA si colloca al primo livello. Per comprendere l'importanza del concetto di esposizione, che non si è potuto sviluppare integralmente nell'ambito del presente PQA, si è ritenuto utile riportare comunque di seguito un caso di studio rappresentativo.

Secondo l'Organizzazione Mondiale della Sanità (WHO, 2006) l'inquinamento atmosferico indoor è responsabile per il 2,7% del carico globale di malattie. Infatti, su scala mondiale la cottura e il riscaldamento indoor con combustibili da biomassa o con carbone produce significative emissioni di inquinanti dannosi alla salute, soprattutto quando tali combustioni avvengono in maniera non ottimale. Ci sono prove scientifiche che l'esposizione all'inquinamento atmosferico indoor può portare a gravi problemi alle vie respiratorie nei bambini sotto i cinque anni e a malattie polmonari croniche. Più in generale, la qualità dell'aria indoor può essere influenzata da contaminanti microbici (muffe, batteri), dai gas (tra cui il monossido di carbonio, il radon, composti organici volatili), dal particolato, ecc..

Le misure convenzionali di PM_{10} dalle stazioni fisse danno una visione di sintesi della esposizione degli esseri umani: l'esposizione indoor può infatti variare significativamente e influenzare l'esposizione complessiva.

L'inquinamento indoor, anche se è stato dimostrato che non è trascurabile (WHO, 2006) è regolato da una normativa molto frammentaria quando si riferisce all'ambiente domestico. Al riguardo, fino a un decennio fa, le uniche Linee Guida per la qualità dell'aria indoor erano quelle presenti in Belgio. Tali Linea Guida sono state introdotte per l'edilizia residenziale e hanno riguardato il tasso di ventilazione da garantire per la tutela della salute delle persone che vivono all'interno degli edifici. Oggi la letteratura è più articolata. A titolo di esempio, nella Tabella 4-10 sono presentati i valori limite di soglia (TLH) indicati dall'ASHRAE (2004, 2007).

Tabella 4-10: Valore limite per quanto riguarda la concentrazione di PM in ambiente indoor.

	Valori ASHRAE	Tempo
PM_{10}	50 $\mu g\ m^{-3}$	1 anno
PM_{10}	150 $\mu g\ m^{-3}$	24 h
$PM_{2.5}$	15 $\mu g\ m^{-3}$	1 anno
$PM_{2.5}$	65 $\mu g\ m^{-3}$	24 h

Attraverso l'analisi delle misurazioni di particelle, in diverse condizioni che caratterizzano la vita umana, il presente paragrafo vuole essere un contributo alla comprensione del significato della esposizione umana in ambienti indoor. L'importanza è legata al fatto che, nelle aree urbane, quasi l'80% del tempo di vita degli abitanti è trascorso in ambienti indoor. Per questo

motivo, alcune misurazioni sono state effettuate, a cura dell'Università degli Studi di Trento, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, in ufficio, cucina, soggiorno e camera da letto di ambienti rappresentativi di una città dell'Italia settentrionale. Ulteriori misure outdoor hanno consentito calcolare l'esposizione globale di una persona virtuale, che spende il suo tempo secondo una giornata tipo (nel presente lavoro si è ipotizzato come mezzo di trasporto la bicicletta).

Il principale strumento utilizzato per le misurazioni, è un conta-particelle GRIMM modello 1.108. Questo apparecchio misura 15 classi granulometriche: da 0.3 a 20 µm. I valori presi in considerazione per il caso di studio sono PM_{10}, $PM_{2.5}$ e PM_1. La durata delle misurazioni è stata scelta tenendo in considerazione l'obiettivo della valutazione dell'esposizione quotidiana di una persona che spende il suo tempo nei seguenti ambienti:

- camera da letto: 8 ore.
- cucina: 3 ore per colazione, pranzo e cena;
- soggiorno: 3 ore;
- ufficio: 4 ore la mattina e 4 ore nel pomeriggio;

In particolare, il caso di studio è stato correlato ad una persona che vive in un bilocale e utilizza una bicicletta (2 ore al giorno) come principale mezzo di trasporto (è stata ipotizzata, una distanza di 30 minuti per il tragitto casa-lavoro).

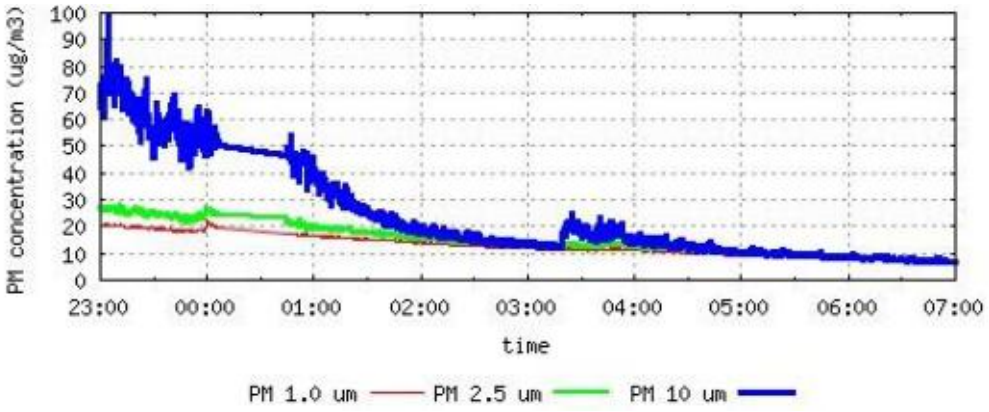


Figura 4-44: Dinamica del particolato durante la notte (caso di studio).

Durante la notte si nota come ci sia una netta deposizione di tutte le frazioni del particolato (Figura 4-44). Le particelle più grossolane (PM_{10}) tendono naturalmente a depositarsi più velocemente delle particelle più fini ($PM_{2.5}$ e PM_1) che tendono a rimanere su valori costanti. Verso le 3:30 del mattino una persona si è alzata per bere e quindi si nota un piccolo innalzamento delle polveri, dovuto ad una perturbazione dell'ambiente (risospensione di polveri). Le polveri poi tendono nuovamente a depositarsi (assenza di attività).

Nella Figura 4-45 sono presentate le dinamiche del particolato riguardo le misure effettuate durante la preparazione della colazione. In questi periodi sono stati accesi i fornelli per preparare latte, caffè e thé. Il periodo di campionamento e la durata della colazione è stato di

un'ora circa. Si nota come ci sia stato un incremento del particolato più grossolano (PM_{10}) quando sono iniziate le attività, invece il particolato più fine è rimasto stabile.

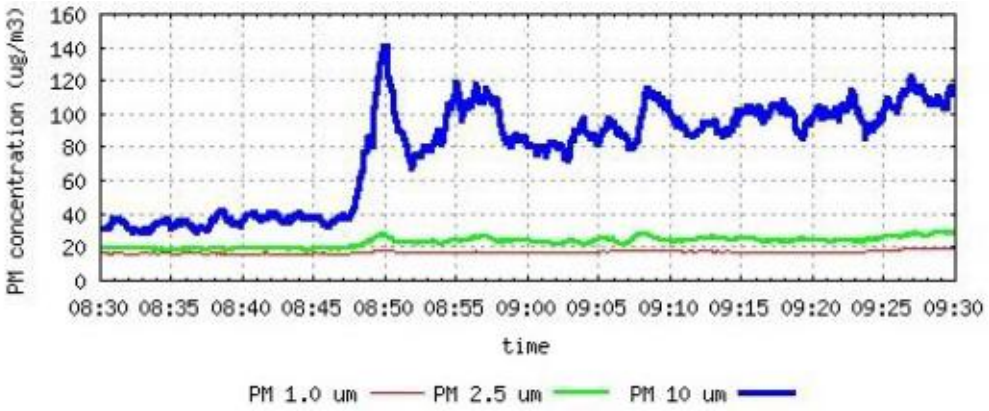


Figura 4-45: Dinamica del particolato durante la preparazione della colazione (caso di studio).

Nella Figura 4-46 sono presentate le dinamiche del particolato riguardo le misure effettuate durante la preparazione del pranzo. Il periodo di campionamento e la durata del pranzo sono stati di un'ora e mezza circa. Durante questo periodo è stata cucinata una bistecca con verdure saltate in padella. Il picco registrato è quello di fine cottura della bistecca in cui si è sviluppata la classica "nuvola da cucina" (la bistecca era cotta, non si era bruciata). Ulteriori misure hanno evidenziato come il rapporto $PM_{2.5}$ / PM_{10} possa essere ancora più critico, anche se parzialmente influenzato, nel caso specifico, dal vapore generato).

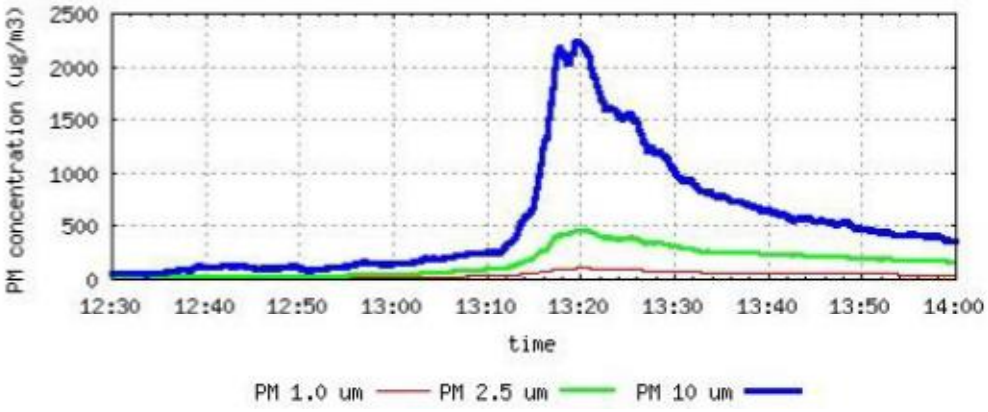


Figura 4-46: Dinamica del particolato durante la preparazione del pranzo (caso di studio).

Nella Figura 4-47 sono invece presentate le dinamiche del particolato riguardanti le misure effettuate durante la preparazione della cena. Si è cucinata pasta al pomodoro con soffritto di cipolla. Il punto di minimo che si individua verso le 19:50 è dovuto all'apertura delle finestre per far uscire il fastidioso aroma di cipolla. La cena poi si è protratta fino alle 21.

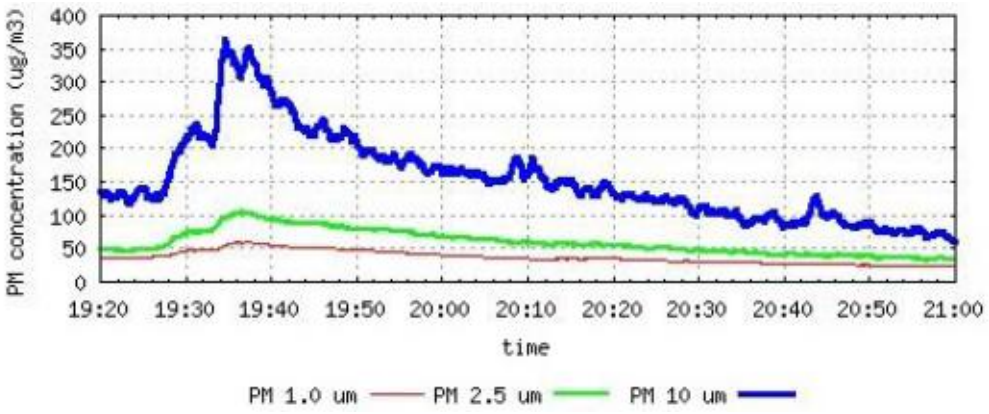


Figura 4-47: Dinamica del particolato durante la preparazione della cena (caso di studio).

Dopo la cena gli occupanti sono rimasti a casa, sul divano a vedere un film. Si nota come cessate le attività di produzione delle polveri (in cucina) ci sia un sostanziale deposito del materiale particolato. Nella Figura 4-48 sono presentate le dinamiche del particolato durante il periodo dopo cena.

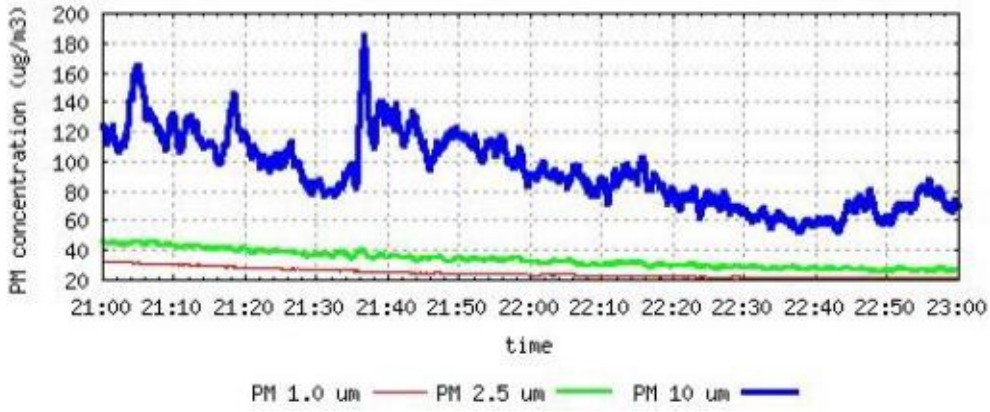


Figura 4-48: Dinamica del particolato durante il periodo dopo cena (caso di studio).

In Figura 4-49 e Figura 4-50 sono presentate le dinamiche del particolato misurate nell'ufficio campione, tenedo conto della divisione del tempo di lavoro in 2 periodi: mattina (Figura 4-49) e pomeriggio (Figura 4-50). In entrambi i casi la frammentazione della curva di PM_{10} è dovuta a diversi motivi: uso delle stampante, entrata e uscita delle persone, ecc.; intorno alle ore 11:00 e alle ore 16:00 la pausa – caffè ha avuto degli effetti sui valori di PM_{10}. La descrescita progressiva dei valori di particolato in entrambi i casi dipende anche dell'orario di fine lavoro degli occupanti dell'ufficio.

Per quanto riguarda i valori di particolato ai quali è esposta la persona di riferimento durante il suo spostamento con la bici (casa-ufficio), periodo di circa 2 ore al girono, si è fatto riferimento ai valori dell'aria outdoor indicati dall'Agenzia di Protezione per l'Ambiente della zona.

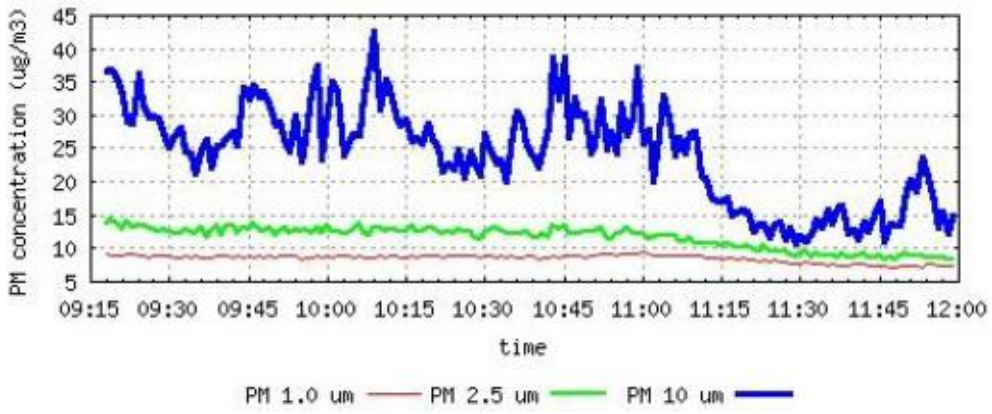


Figura 4-49: Dinamica del particolato durante il periodo di lavoro in ufficio (mattina).

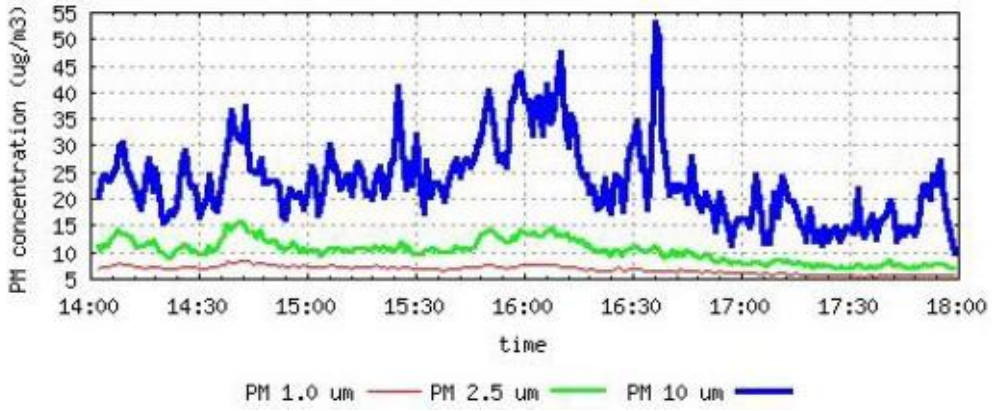


Figura 4-50: Dinamica del particolato durante il periodo di lavoro in ufficio (pomeriggio).

Le concentrazioni medie per ogni periodo del giorno, i valori pesati sui periodi analizzati e quelli outdoor sono riportati in Tabella 4-11. È evidente la differenza tra l'esposizione costruita sulla base delle abitudini della persona virtuale e quella che risulta facendo riferimento ai valori misurati dalla centralina più prossima presente sul territorio. In Figura 4-51 sono riportate le percentuali di esposizione che tengono conto dei vari contributi pesati: il periodo trascorso outdoor pesa solo il 5% del totale. Tuttavia non va dimenticato che, soprattutto per il particolato atmosferico, una parte consistente delle concentrazioni indoor dipende dall'inquinamento proveniente dall'esterno dell'edificio. Questi esemplificazioni rendono una prima idea di come sia importante attivare azioni strutturali che permettano un miglioramento complessivo della qualità dell'aria. Le azioni emergenziali, spesso correlate a misure esterne, in realtà potrebbero essere meno significative ai fini del contenimento dell'esposizione agli inquinanti da parte del singolo individuo, in quanto, come evidenziato, la percentuale di esposizione indoor ha un peso determinante.

Inoltre, si deduce che il posizionamento di centraline permanenti per la misura della qualità dell'aria outdoor, integrative rispetto a quelle previste dalla normativa, è argomento da trattare con una accurata e serena valutazione costi – benefici, in quanto lo sforzo aggiuntivo potrebbe non essere ripagato da nuove informazioni più utili di quelle ottenibili con una serie di monitoraggi effettuati con stazioni mobili secondo uno schema ben pianificato e organizzato.

Tabella 4-11: Concentrazioni medie (µg/m^3) per il periodo di riferimento oggetto di studio.

	$PM_{1.0}$	$PM_{2.5}$	PM_{10}
Notte	12.40	14.10	33.20
Ufficio – mattina	8.51	11.55	24.26
Ufficio – pomer.	6.76	9.37	22.18
Uso bicicletta	9.80	11.00	23.40
Colazione	17.00	22.68	77.96
Pranzo	43.56	152.91	539.05
Cena	66.79	89.89	154.92
Sala / soggiorno	24.63	33.37	93.34
Valori pesati sul giorno	15.88	24.34	64.59
Valori outdoor	9.80	11.00	23.40

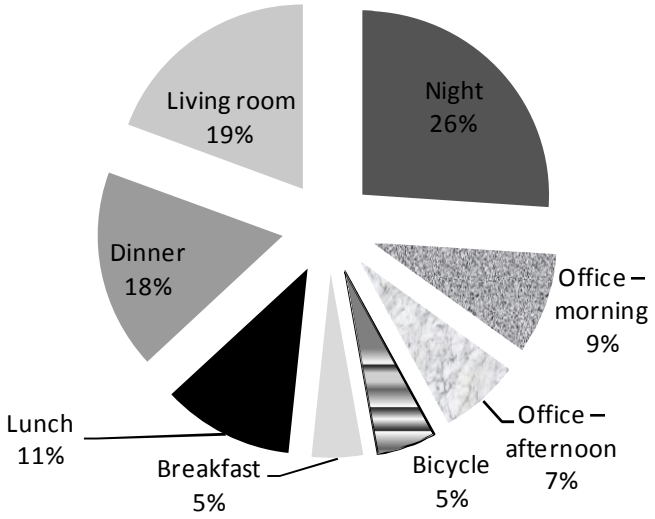


Figura 4-51: Percentuali di esposizione.

4.4 VALUTAZIONE DELL'INQUINAMENTO PROVENIENTE DA AREE ESTERNE PROVINCIALI

In questo paragrafo vengono considerate a titolo di esempio alcune fonti emissive localizzate ai confini dell'area oggetto di studio. Per quanto riguarda i grandi emettitori posti in prossimità della zona di studio, si segnala infatti la necessità di approfondimenti la cui importanza è dimostrata dalle seguenti considerazioni.

Stabilimento Cementi Rossi a Fumane (VR)

Volendo isolare un parametro sintetico significativo dallo Studio di Impatto Ambientale (SIA) dell'impianto relativo al progetto di modifica esaminato dalle autorità competenti, ma

contenente anche alcuni elementi descrittivi dello stato attuale dell'impianto, si può notare come l'emissione autorizzata di ossidi di azoto (NO_x) per l'impianto reale, sia attualmente pari a 3473.2 t/anno. Tale valore autorizzato rappresenta un quantitativo pari a circa l'81% di quanto emesso da tutte le fonti del Comune di Verona, per gli NO_x (4290 t/anno) (cfr. Tabella 5-31). L'emissione autorizzata di 3473.2 t/anno di ossidi di azoto da un camino posto ad una altezza di 30 m comporta oltre ad una criticità di tipo globale, una criticità locale evidenziata dalla modellistica applicata nel SIA, con un massimo di concentrazione al suolo stimato pari a 1251.9 µg/m^3, a fronte di un valore da garantire per la qualità dell'aria di 200 µg/m^3, come somma di tutti i contributi. Ovviamente i valori di emissioni in esercizio sono inferiori ai valori autorizzati e quindi l'impatto reale è inferiore a quanto indicato. Si segnala altresì che nello Studio di Impatto Ambientale viene indicata una riduzione per gli NO_x, pari al 27,2%, conseguente alla eventuale realizzazione della nuova configurazione dell'impianto in oggetto. L'impatto sul territorio dipende comunque non solo dai flussi emissivi degli inquinanti rilasciati, ma anche dalle modalità di diluizione. Nel caso in oggetto, la progettazione della nuova configurazione tiene conto di questo aspetto.
Ai fini dell'interesse di questo studio è importante evidenziare la necessità di uno sviluppo di modellazione in merito alla formazione di particolato secondario di cui gli ossidi di azoto sono precursori. I meccanismi di formazione interessano tempi e quindi aree più ampie di quelle locali. Il territorio dei 18 Comuni oggetto del presente documento potrebbe essere interessato da tale contributo.

Motorcity – Vigasio (VR)
La documentazione ricevuta (SIA dell'opera), che attualmente è sottoposta a procedura di VIA, ai fini dello sviluppo del presente elaborato, evidenzia come tale intervento presenti un impatto potenziale estremamente rilevante sulla qualità dell'aria prima di tutto come attrattore di traffico. D'altra parte lo stesso documento, evidenzia una criticità locale come si può vedere dalle mappe di concentrazione riportate nel citato documento.
Tenendo conto delle quantità di NO_x emessi su base annua, anche in questo caso deve essere approfondito il ruolo dell'opera, sia tal quale in termini di rischio per la salute, sia nel contribuire alla formazione di particolato secondario.

In considerazione della rilevanza significativa delle emissioni segnalate è importante che venga implementata una modellazione che tenga conto del ruolo del particolato secondario su scala più ampia di quella dei 18 Comuni.

Quelli riportati sono due tra gli esempi di sorgenti emissive rilevanti posizionate in prossimità dell'area oggetto dello studio. In generale, comunque, ci si può trovare di fronte a sorgenti più complesse, come quelle del polo siderurgico di Oppeano, in cui la sovrapposizione di sorgenti emissive, non solo industriali, rende complessa la verifica dell'impatto integrato. Per aree di

questo tipo dovrebbe essere sviluppata una modellazione di dispersione integrata in modo da verificare l'incidenza di ulteriori autorizzazioni o la presenza di attuali criticità.

Capitolo 5
Schede dei Comuni

5 INDICE CAPITOLO 5

5 INDICE CAPITOLO 5 5-3

INDICE DELLE FIGURE 5-4

INDICE DELLE TABELLE 5-5

5 SCHEDE DEI COMUNI 5-7

5.1 BUSSOLENGO 5-8
5.2 BUTTAPIETRA 5-12
5.3 CASTEL D'AZZANO 5-16
5.4 CASTELNUOVO DEL GARDA 5-20
5.5 GREZZANA 5-24
5.6 LAVAGNO 5-28
5.7 NEGRAR 5-32
5.8 PESCANTINA 5-36
5.9 SAN GIOVANNI LUPATOTO 5-40
5.10 SAN MARTINO BUON ALBERGO 5-44
5.11 SAN PIETRO IN CARIANO 5-48
5.12 SANT'AMBROGIO DI VALPOLICELLA 5-52
5.13 SOMMACAMPAGNA 5-56
5.14 SONA 5-60
5.15 VALEGGIO SUL MINCIO 5-64
5.16 VERONA 5-68
5.17 VILLAFRANCA DI VERONA 5-72
5.18 ZEVIO 5-76

INDICE DELLE FIGURE

FIGURA 5-1: EMISSIONI PRO CAPITE PER IL COMUNE DI BUSSOLENGO. 5-10
FIGURA 5-2: EMISSIONI PRO CAPITE PER IL COMUNE DI BUTTAPIETRA. 5-14
FIGURA 5-3: EMISSIONI PRO CAPITE PER IL COMUNE DI CASTEL D'AZZANO. 5-18
FIGURA 5-4: EMISSIONI PRO CAPITE PER IL COMUNE DI CASTELNUOVO DEL GARDA. 5-22
FIGURA 5-5: EMISSIONI PRO CAPITE PER IL COMUNE DI GREZZANA. 5-26
FIGURA 5-6: EMISSIONI PRO CAPITE PER IL COMUNE DI LAVAGNO. 5-30
FIGURA 5-7: EMISSIONI PRO CAPITE PER IL COMUNE DI NEGRAR. 5-34
FIGURA 5-8: EMISSIONI PRO CAPITE PER IL COMUNE DI PESCANTINA. 5-38
FIGURA 5-9: EMISSIONI PRO CAPITE PER IL COMUNE DI SAN GIOVANNI LUPATOTO. 5-42
FIGURA 5-10: EMISSIONI PRO CAPITE PER IL COMUNE DI SAN MARTINO BUON ALBERGO. 5-46
FIGURA 5-11: EMISSIONI PRO CAPITE PER IL COMUNE DI SAN PIETRO IN CARIANO. 5-50
FIGURA 5-12: EMISSIONI PRO CAPITE PER IL COMUNE DI SANT'AMBROGIO DI VALPOLICELLA. 5-54
FIGURA 5-13: EMISSIONI PRO CAPITE PER IL COMUNE DI SOMMACAMPAGNA. 5-58
FIGURA 5-14: EMISSIONI PRO CAPITE PER IL COMUNE DI SONA. 5-62
FIGURA 5-15: EMISSIONI PRO CAPITE PER IL COMUNE DI VALEGGIO SUL MINCIO. 5-66
FIGURA 5-16: EMISSIONI PRO CAPITE PER IL COMUNE DI VERONA. 5-70
FIGURA 5-17: EMISSIONI PRO CAPITE PER IL COMUNE DI VILLAFRANCA DI VERONA. 5-74
FIGURA 5-18: EMISSIONI PRO CAPITE PER IL COMUNE DI ZEVIO. 5-78

INDICE DELLE TABELLE

TABELLA 5-1: EMISSIONI TOTALI ANNUE, RIPARTIZIONE PERCENTUALE TRA I DIVERSI SETTORI E EMISSIONI PRO CAPITE PER IL COMUNE DI BUSSOLENGO. 5-9
TABELLA 5-2: AZIONI POSSIBILI PER IL COMUNE DI BUSSOLENGO. 5-11
TABELLA 5-3: EMISSIONI TOTALI ANNUE, RIPARTIZIONE PERCENTUALE TRA I DIVERSI SETTORI E EMISSIONI PRO CAPITE PER IL COMUNE DI BUTTAPIETRA. 5-13
TABELLA 5-4: AZIONI POSSIBILI PER IL COMUNE DI BUTTAPIETRA. 5-15
TABELLA 5-5: EMISSIONI TOTALI ANNUE, RIPARTIZIONE PERCENTUALE TRA I DIVERSI SETTORI E EMISSIONI PRO CAPITE PER IL COMUNE DI CASTEL D'AZZANO. 5-17
TABELLA 5-6: AZIONI POSSIBILI PER IL COMUNE DI CASTEL D'AZZANO. 5-19
TABELLA 5-7: EMISSIONI TOTALI ANNUE, RIPARTIZIONE PERCENTUALE TRA I DIVERSI SETTORI E EMISSIONI PRO CAPITE PER IL COMUNE DI CASTELNUOVO DEL GARDA. 5-21
TABELLA 5-8: AZIONI POSSIBILI PER IL COMUNE DI CASTELNUOVO DEL GARDA. 5-23
TABELLA 5-9: EMISSIONI TOTALI ANNUE, RIPARTIZIONE PERCENTUALE TRA I DIVERSI SETTORI E EMISSIONI PRO CAPITE PER IL COMUNE DI GREZZANA. 5-25
TABELLA 5-10: AZIONI POSSIBILI PER IL COMUNE DI GREZZANA. 5-27
TABELLA 5-11: EMISSIONI TOTALI ANNUE, RIPARTIZIONE PERCENTUALE TRA I DIVERSI SETTORI E EMISSIONI PRO CAPITE PER IL COMUNE DI LAVAGNO. 5-29
TABELLA 5-12: AZIONI POSSIBILI PER IL COMUNE DI LAVAGNO. 5-31
TABELLA 5-13: EMISSIONI TOTALI ANNUE, RIPARTIZIONE PERCENTUALE TRA I DIVERSI SETTORI E EMISSIONI PRO CAPITE PER IL COMUNE DI NEGRAR. 5-33
TABELLA 5-14: AZIONI POSSIBILI PER IL COMUNE DI NEGRAR. 5-35
TABELLA 5-15: EMISSIONI TOTALI ANNUE, RIPARTIZIONE PERCENTUALE TRA I DIVERSI SETTORI E EMISSIONI PRO CAPITE PER IL COMUNE DI PESCANTINA. 5-37
TABELLA 5-16: AZIONI POSSIBILI PER IL COMUNE DI PESCANTINA 5-39
TABELLA 5-17: EMISSIONI TOTALI ANNUE, RIPARTIZIONE PERCENTUALE TRA I DIVERSI SETTORI E EMISSIONI PRO CAPITE PER IL COMUNE DI SAN GIOVANNI LUPATOTO. 5-41
TABELLA 5-18: AZIONI POSSIBILI PER IL COMUNE DI SAN GIOVANNI LUPATOTO. 5-43
TABELLA 5-19: EMISSIONI TOTALI ANNUE, RIPARTIZIONE PERCENTUALE TRA I DIVERSI SETTORI E EMISSIONI PRO CAPITE PER IL COMUNE DI SAN MARTINO BUON ALBERGO. 5-45
TABELLA 5-20: AZIONI POSSIBILI PER IL COMUNE DI SAN MARTINO BUON ALBERGO. 5-47
TABELLA 5-21: EMISSIONI TOTALI ANNUE, RIPARTIZIONE PERCENTUALE TRA I DIVERSI SETTORI E EMISSIONI PRO CAPITE PER IL COMUNE DI SAN PIETRO IN CARIANO. 5-49
TABELLA 5-22: AZIONI POSSIBILI PER IL COMUNE DI SAN PIETRO IN CARIANO. 5-51
TABELLA 5-23 - EMISSIONI TOTALI ANNUE, RIPARTIZIONE PERCENTUALE TRA I DIVERSI SETTORI E EMISSIONI PRO CAPITE PER IL COMUNE DI SANT'AMBROGIO DI VALPOLICELLA. 5-53
TABELLA 5-24: AZIONI POSSIBILI PER IL COMUNE DI SANT'AMBROGIO DI VALPOLICELLA. 5-55
TABELLA 5-25: EMISSIONI TOTALI ANNUE, RIPARTIZIONE PERCENTUALE TRA I DIVERSI SETTORI E EMISSIONI PRO CAPITE PER IL COMUNE DI SOMMACAMPAGNA. 5-57
TABELLA 5-26: AZIONI POSSIBILI PER IL COMUNE DI SOMMACAMPAGNA. 5-59
TABELLA 5-27: EMISSIONI TOTALI ANNUE, RIPARTIZIONE PERCENTUALE TRA I DIVERSI SETTORI E EMISSIONI PRO CAPITE PER IL COMUNE DI SONA. 5-61
TABELLA 5-28: AZIONI POSSIBILI PER IL COMUNE DI SONA. 5-63
TABELLA 5-29: EMISSIONI TOTALI ANNUE, RIPARTIZIONE PERCENTUALE TRA I DIVERSI SETTORI E EMISSIONI PRO CAPITE PER IL COMUNE DI VALEGGIO SUL MINCIO. 5-65

TABELLA 5-30: AZIONI POSSIBILI PER IL COMUNE DI VALEGGIO SUL MINCIO..... 5-67
TABELLA 5-31: EMISSIONI TOTALI ANNUE, RIPARTIZIONE PERCENTUALE TRA I DIVERSI SETTORI E EMISSIONI PRO CAPITE PER IL COMUNE DI VERONA..... 5-69
TABELLA 5-32: AZIONI POSSIBILI PER IL COMUNE DI VERONA..... 5-71
TABELLA 5-33: EMISSIONI TOTALI ANNUE, RIPARTIZIONE PERCENTUALE TRA I DIVERSI SETTORI E EMISSIONI PRO CAPITE PER IL COMUNE DI VILLAFRANCA DI VERONA..... 5-73
TABELLA 5-34: AZIONI POSSIBILI PER IL COMUNE DI VILLAFRANCA DI VERONA..... 5-75
TABELLA 5-35: EMISSIONI TOTALI ANNUE, RIPARTIZIONE PERCENTUALE TRA I DIVERSI SETTORI E EMISSIONI PRO CAPITE PER IL COMUNE DI ZEVIO..... 5-77
TABELLA 5-36: AZIONI POSSIBILI PER IL COMUNE DI ZEVIO..... 5-79

5 SCHEDE DEI COMUNI

Per ciascun Comune, è stata predisposta una scheda riassuntiva, contenente una breve descrizione del territorio attraverso alcuni parametri essenziali ed una sintesi dei risultati delle elaborazioni riguardanti la stima delle emissioni.

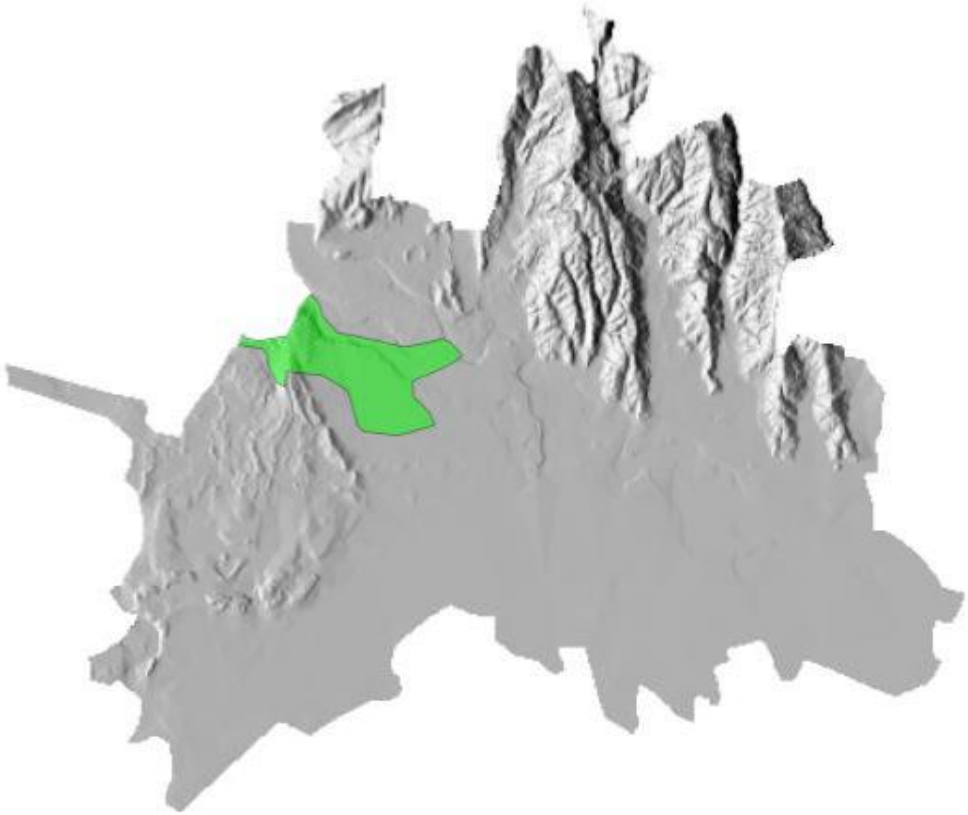
In particolare sono state riportate le emissioni totali per ciascun inquinante suddivise nei diversi macrosettori di attività. Questi valori, come descritto nei paragrafi precedenti, sono ottenuti dall'analisi dei dati di emissione forniti a livello locale e, dove l'informazione era carente o insufficiente, dal dato dell'inventario ISPRA disaggregato. Questo approccio misto è dovuto al fatto che un inventario completo delle emissioni non è attualmente disponibile, perché ancora in fase di realizzazione, con un percorso incompatibile con le esigenze dell'attuale documento.

Inoltre sono state elaborate delle schede specifiche su ogni Comune, con l'elenco delle azioni possibili già presentate nel capitolo 3.1 e di cui si è fornito un possibile indicatore, onde valutarne l'efficacia. Per ciascuna azione si sono stimate l'accessibilità alle informazioni necessarie per la valutazione dell'efficacia e l'efficacia stessa, nell'ottica del miglioramento della qualità dell'aria, tenendo conto delle peculiarità del territorio e delle caratteristiche delle emissioni locali.

A tal proposito va ricordato che, secondo quanto indicato nell'Allegato A alla convenzione, "*ogni Comune implementa, alla luce della propria realtà territoriale e delle proprie risorse, le azioni specifiche contenute nel proprio piano*". È importante, infatti, che i Comuni sviluppino, in funzione delle proprie risorse e pianificazione degli interventi, la priorità degli stessi in ragione dei propri obiettivi.

Tuttavia, per una corretta interpretazione dei risultati e una adeguata contestualizzazione nel quadro dello studio e dei diversi processi rilevanti per la qualità dell'aria nelle aree in esame, è indispensabile la lettura integrale dell'intera relazione.

5.1 BUSSOLENGO

Comune di BUSSOLENGO			
Dati generali			
Abitanti	16986	Superficie [km^2]	24.28
Area climatologica	pianura	edificata	20.3%
Stazioni meteorologiche di riferimento	Castelnuovo del Garda	agricola	76.8%
Stazioni di qualità dell'aria di riferimento	Verona Corso Milano Verona Cason	boschiva	0.6%
		acque	2.3%
Localizzazione			
			
Fonti emissive analizzate *			
Numero di aziende	15	Lunghezza della rete stradale extraurbana [km]	279.66
Numero di allevamenti	14	Distanza globale percorsa annualmente [km]	$9.13 \cdot 10^8$

* sulla base dei dati pervenuti

Tabella 5-1: Emissioni totali annue, ripartizione percentuale tra i diversi settori e emissioni pro capite per il Comune di Bussolengo.

Emissioni totali annue [t/a]						
	Industria	Riscaldamento	Traffico	Agricoltura /allevamenti	Altro	Totale
Ossidi di zolfo (SO_x)	0.71	3.49	2.70	0.00	0.15	7.05
Ossidi di azoto (NO_x)	7.85	20.00	356.69	0.04	47.16	431.74
Monossido di carb. (CO)	112.96	9.34	1153.04	1.01	80.69	1357.04
Metano (CH_4)	808.38	1.27	11.20	230.84	114.18	1165.87
Ammoniaca (NH_3)	0.03	0.00	12.14	168.83	0.01	181.01
Polveri sottili (PM_{10})	18.23	0.24	28.89	3.60	3.92	54.88
Ripartizione percentuale delle emissioni						
	Industria	Riscaldamento	Traffico	Agricoltura /allevamenti	Altro	Totale
Ossidi di zolfo (SO_x)	10.1%	49.5%	38.4%	0.0%	2.1%	100.0%
Ossidi di azoto (NO_x)	1.8%	4.6%	82.6%	0.0%	10.9%	100.0%
Monossido di carb. (CO)	8.3%	0.7%	85.0%	0.1%	5.9%	100.0%
Metano (CH_4)	69.3%	0.1%	1.0%	19.8%	9.8%	100.0%
Ammoniaca (NH_3)	0.0%	0.0%	6.7%	93.3%	0.0%	100.0%
Polveri sottili (PM_{10})	33.2%	0.4%	52.6%	6.6%	7.1%	100.0%
Emissioni annue pro capite [kg/(a · ab)]						
	Industria	Riscaldamento	Traffico	Agricoltura /allevamenti	Altro	Totale
Ossidi di zolfo (SO_x)	0.04	0.21	0.16	0.00	0.01	0.42
Ossidi di azoto (NO_x)	0.46	1.18	21.00	0.00	2.78	25.42
Monossido di carb. (CO)	6.65	0.55	67.88	0.06	4.75	79.89
Metano (CH_4)	47.59	0.07	0.66	13.59	6.72	68.63
Ammoniaca (NH_3)	0.00	0.00	0.71	9.94	0.00	10.65
Polveri sottili (PM_{10})	1.07	0.01	1.70	0.21	0.23	3.22

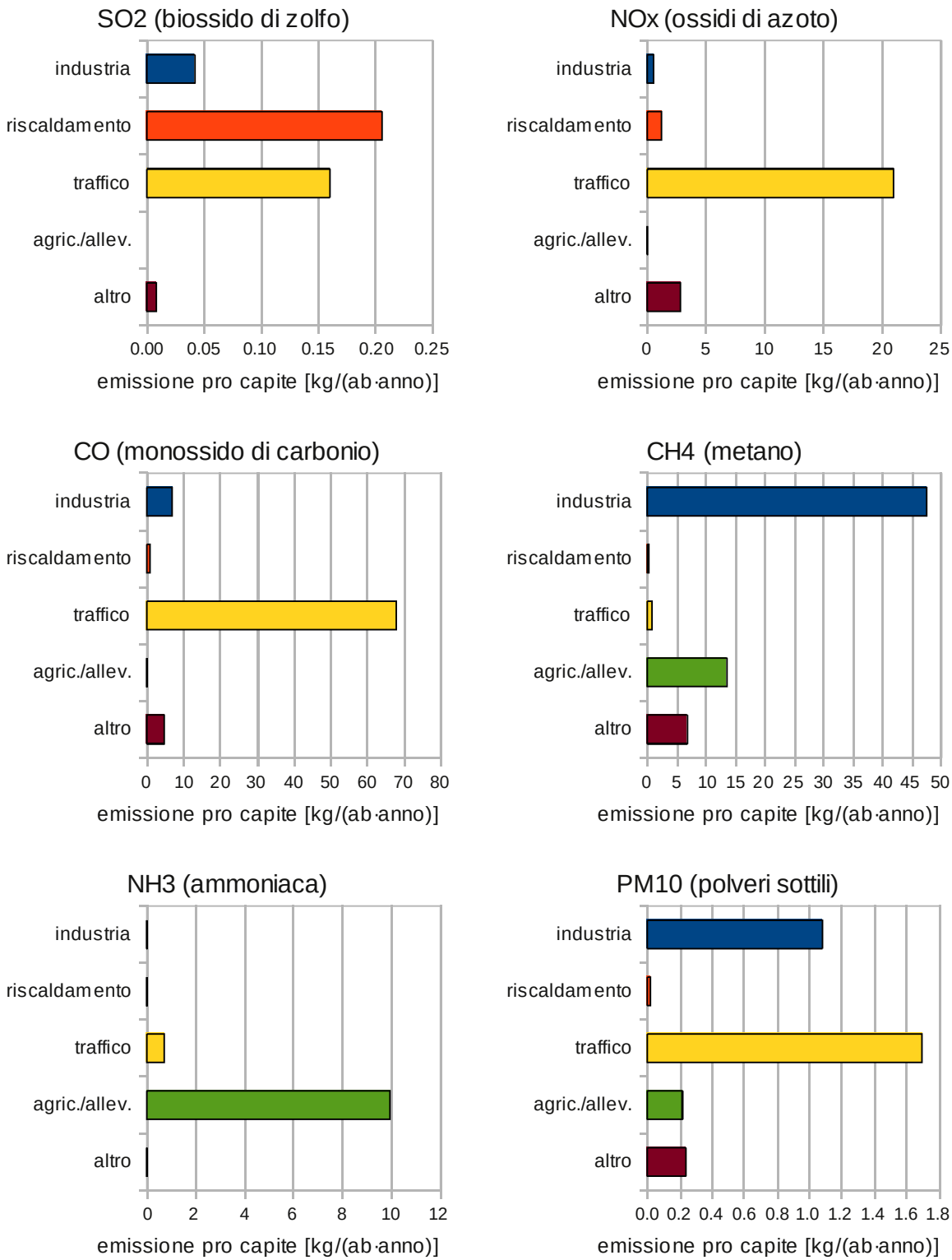


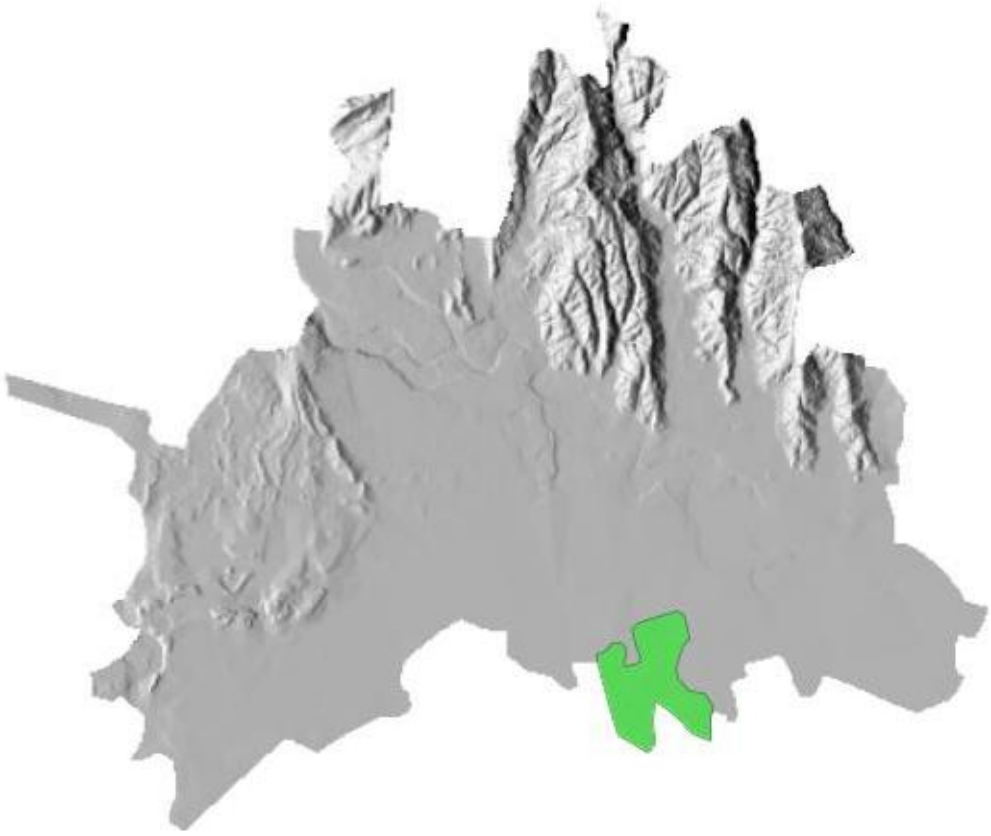
Figura 5-1: Emissioni pro capite per il Comune di Bussolengo.

Tabella 5-2: Azioni possibili per il Comune di Bussolengo.

AZIONE GENERALE	DESCRIZIONE OBIETTIVO	ACCESSIBILITÀ INFORMAZIONI	EFFICACIA
Trasporto urbano sostenibile: riduzione impatto mezzi privati	Passaggio da trasporto privato a trasporto pubblico	bassa	alta
	Adeguamento mezzi trasporto pubblico locale	alta	bassa
	Fluidificazione e regolazione della circolazione	media	media
	Definizione di corsie preferenziali	alta	bassa
	Rinnovo parco auto	media	bassa
	Aumento ZTL	alta	bassa
	Aumento aree pedonali	alta	bassa
	Aumento percorsi ciclo pedonali	alta	bassa
	Incentivazione ciclabilità	bassa	bassa
	Organizzazione di trasporti collettivi per i bambini che vanno a scuola	media	media
Riduzione dell'impatto dei mezzi commerciali	Governo accessi	alta	media
	Trasformazione o sostituzione mezzi commerciali	alta	media
	Limitazione del transito di mezzi pesanti in area urbana	media	alta
Riduzione dell'impatto degli impianti civili	Trasformazione e sostituzione degli impianti	bassa	media
	Miglioramento del rendimento energetico	media	media
	Osservanza di norme di contenimento energetico	bassa	media
	Incentivazione uso di energie rinnovabili	media	media
Riduzione impatto delle attività produttive	Riconversione e trasformazione mezzi di trasporto	media	bassa
	Piattaforme di interscambio merci	media	bassa
	Adozione BAT negli impianti produttivi	alta	alta
Applicazione misure programmate di limitazione traffico	Limitazione alla circolazione veicoli inquinanti	bassa	media
	Blocchi totali del traffico (es. Domeniche ecologiche)	bassa	bassa
Comunicazione e accordi	Comunicazione verso la cittadinanza, operatori economici, imprese	bassa	alta
	Stipula di accordi	media	alta

5.2 BUTTAPIETRA

Comune di BUTTAPIETRA			
Dati generali			
Abitanti	5801	Superficie [km^2]	17.1
Area climatologica	pianura	edificata	10.2%
Stazioni meteorologiche di riferimento	Villafranca di Verona Valeggio sul Mincio	agricola	86.9%
Stazioni di qualità dell'aria di riferimento	San Giovanni Luptatoto Villafranca di Verona	boschiva	0.0%
		acque	3.0%
Localizzazione			



Fonti emissive analizzate *			
Numero di aziende	8	Lunghezza della rete stradale extraurbana [km]	34.79
Numero di allevamenti	21	Distanza globale percorsa annualmente [km]	$7.81 \cdot 10^7$

* sulla base dei dati pervenuti

Tabella 5-3: Emissioni totali annue, ripartizione percentuale tra i diversi settori e emissioni pro capite per il Comune di Buttapietra.

Emissioni totali annue [t/a]						
	Industria	Riscaldamento	Traffico	Agricoltura /allevamenti	Altro	Totale
Ossidi di zolfo (SO_x)	2.7	1.2	0.2	0.0	0.1	4.2
Ossidi di azoto (NO_x)	20.9	6.8	31.3	0.0	22.1	81.1
Monossido di carb. (CO)	93.5	3.2	97.1	1.0	39.1	233.9
Metano (CH_4)	3.1	0.4	1.0	109.2	5.0	118.7
Ammoniaca (NH_3)	1.3	0.0	1.0	99.8	0.0	102.1
Polveri sottili (PM_{10})	11.1	0.1	2.6	3.1	2.0	18.9
Ripartizione percentuale delle emissioni						
	Industria	Riscaldamento	Traffico	Agricoltura /allevamenti	Altro	Totale
Ossidi di zolfo (SO_x)	64.2%	28.5%	5.8%	0.0%	1.5%	100.0%
Ossidi di azoto (NO_x)	25.7%	8.4%	38.5%	0.0%	27.3%	100.0%
Monossido di carb. (CO)	40.0%	1.4%	41.5%	0.4%	16.7%	100.0%
Metano (CH_4)	2.6%	0.4%	0.8%	92.0%	4.2%	100.0%
Ammoniaca (NH_3)	1.2%	0.0%	1.0%	97.8%	0.0%	100.0%
Polveri sottili (PM_{10})	59.1%	0.4%	13.7%	16.3%	10.4%	100.0%
Emissioni annue pro capite [kg/(a · ab)]						
	Industria	Riscaldamento	Traffico	Agricoltura /allevamenti	Altro	Totale
Ossidi di zolfo (SO_x)	0.46	0.21	0.04	0.00	0.01	0.72
Ossidi di azoto (NO_x)	3.60	1.18	5.39	0.01	3.82	14.00
Monossido di carb. (CO)	16.12	0.55	16.75	0.18	6.74	40.34
Metano (CH_4)	0.54	0.07	0.17	18.81	0.85	20.44
Ammoniaca (NH_3)	0.22	0.00	0.18	17.20	0.00	17.60
Polveri sottili (PM_{10})	1.91	0.01	0.44	0.53	0.34	3.23

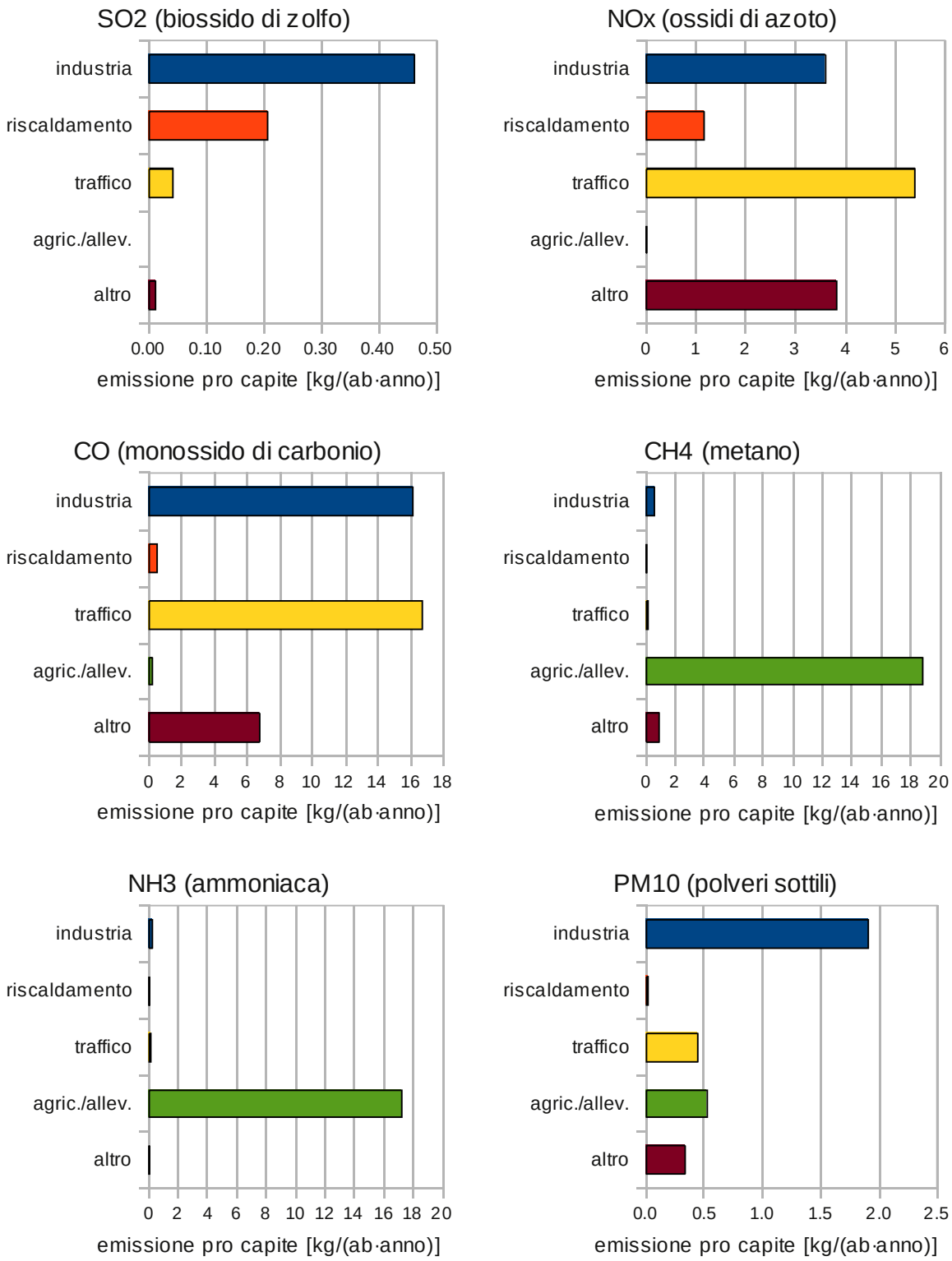
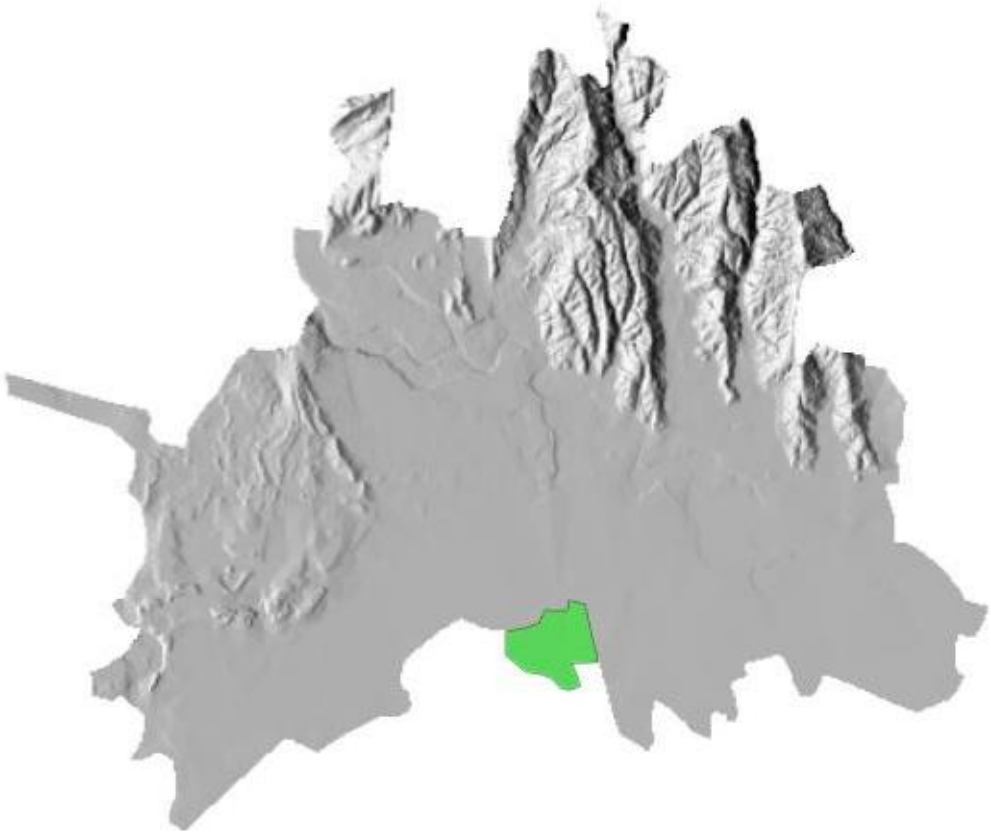


Figura 5-2: Emissioni pro capite per il Comune di Buttapietra.

Tabella 5-4: Azioni possibili per il Comune di Buttapietra.

AZIONE GENERALE	DESCRIZIONE OBIETTIVO	ACCESSIBILITÀ INFORMAZIONI	EFFICACIA
Trasporto urbano sostenibile: riduzione impatto mezzi privati	Passaggio da trasporto privato a trasporto pubblico	bassa	alta
	Adeguamento mezzi trasporto pubblico locale	alta	bassa
	Fluidificazione e regolazione della circolazione	media	bassa
	Definizione di corsie preferenziali	alta	bassa
	Rinnovo parco auto	media	bassa
	Aumento ZTL	alta	bassa
	Aumento aree pedonali	alta	bassa
	Aumento percorsi ciclo pedonali	alta	bassa
	Incentivazione ciclabilità	bassa	bassa
	Organizzazione di trasporti collettivi per i bambini che vanno a scuola	media	bassa
Riduzione dell'impatto dei mezzi commerciali	Governo accessi	alta	media
	Trasformazione o sostituzione mezzi commerciali	alta	media
	Limitazione del transito di mezzi pesanti in area urbana	media	media
Riduzione dell'impatto degli impianti civili	Trasformazione e sostituzione degli impianti	bassa	media
	Miglioramento del rendimento energetico	media	media
	Osservanza di norme di contenimento energetico	bassa	media
	Incentivazione uso di energie rinnovabili	media	media
Riduzione impatto delle attività produttive	Riconversione e trasformazione mezzi di trasporto	media	bassa
	Piattaforme di interscambio merci	media	bassa
	Adozione BAT negli impianti produttivi	alta	media
Applicazione misure programmate di limitazione traffico	Limitazione alla circolazione veicoli inquinanti	bassa	media
	Blocchi totali del traffico (es. Domeniche ecologiche)	bassa	bassa
Comunicazione e accordi	Comunicazione verso la cittadinanza, operatori economici, imprese	bassa	alta
	Stipula di accordi	media	alta

5.3 CASTEL D'AZZANO

Comune di CASTEL D'AZZANO			
Dati generali			
Abitanti	10242	Superficie [km^2]	9.68
Area climatologica	pianura	edificata	27.5%
Stazioni meteorologiche di riferimento	Villafranca di Verona Valeggio sul Mincio	agricola	72.5%
Stazioni di qualità dell'aria di riferimento	San Giovanni Luptatoto Villafranca di Verona	boschiva	0.0%
		acque	0.0%
Localizzazione			
			
Fonti emissive analizzate *			
Numero di aziende	3	Lunghezza della rete stradale extraurbana [km]	23.47
Numero di allevamenti	5	Distanza globale percorsa annualmente [km]	$1.02\ 10^8$

* sulla base dei dati pervenuti

Tabella 5-5: Emissioni totali annue, ripartizione percentuale tra i diversi settori e emissioni pro capite per il Comune di Castel d'Azzano.

Emissioni totali annue [t/a]						
	Industria	Riscaldamento	Traffico	Agricoltura /allevamenti	Altro	Totale
Ossidi di zolfo (SO_x)	4.07	2.10	0.32	0.00	0.10	6.59
Ossidi di azoto (NO_x)	22.09	12.06	40.88	0.02	31.83	106.88
Monossido di carb. (CO)	20.58	5.63	127.00	0.67	41.82	195.70
Metano (CH_4)	2.42	0.76	1.30	36.51	2.30	43.29
Ammoniaca (NH_3)	0.00	0.00	1.34	42.54	0.01	43.89
Polveri sottili (PM_{10})	12.96	0.14	3.37	1.09	2.34	19.9
Ripartizione percentuale delle emissioni						
	Industria	Riscaldamento	Traffico	Agricoltura /allevamenti	Altro	Totale
Ossidi di zolfo (SO_x)	61.8%	31.9%	4.8%	0.0%	1.5%	100.0%
Ossidi di azoto (NO_x)	20.7%	11.3%	38.2%	0.0%	29.8%	100.0%
Monossido di carb. (CO)	10.5%	2.9%	64.9%	0.3%	21.4%	100.0%
Metano (CH_4)	5.6%	1.8%	3.0%	84.3%	5.3%	100.0%
Ammoniaca (NH_3)	0.0%	0.0%	3.0%	96.9%	0.0%	100.0%
Polveri sottili (PM_{10})	65.1%	0.7%	16.9%	5.5%	11.7%	100.0%
Emissioni annue pro capite [kg/(a · ab)]						
	Industria	Riscaldamento	Traffico	Agricoltura /allevamenti	Altro	Totale
Ossidi di zolfo (SO_x)	0.40	0.21	0.03	0.00	0.01	0.65
Ossidi di azoto (NO_x)	2.16	1.18	3.99	0.00	3.11	10.44
Monossido di carb. (CO)	2.01	0.55	12.40	0.07	4.08	19.11
Metano (CH_4)	0.24	0.07	0.13	3.56	0.22	4.22
Ammoniaca (NH_3)	0.00	0.00	0.13	4.15	0.00	4.28
Polveri sottili (PM_{10})	1.27	0.01	0.33	0.11	0.23	1.95

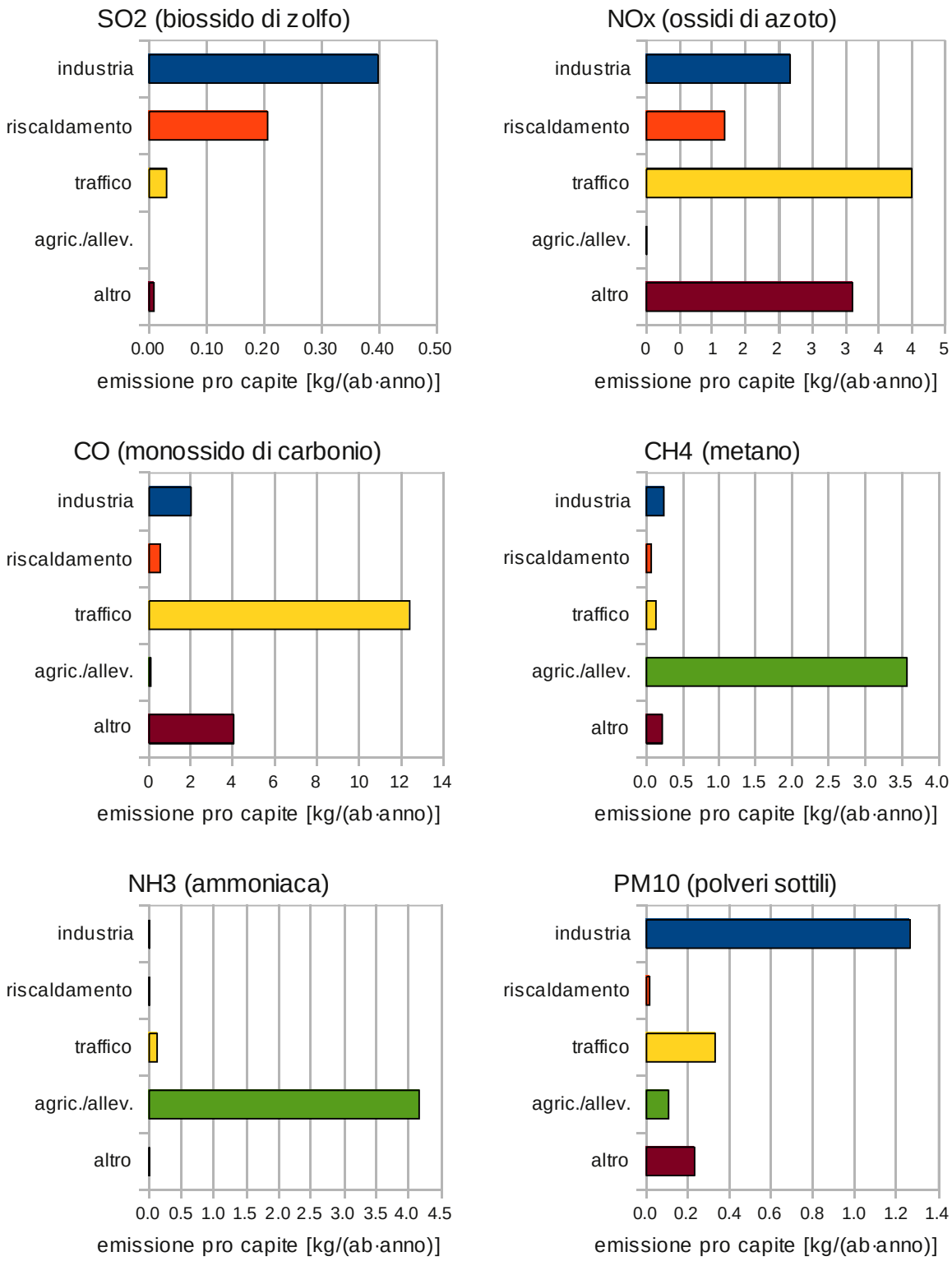
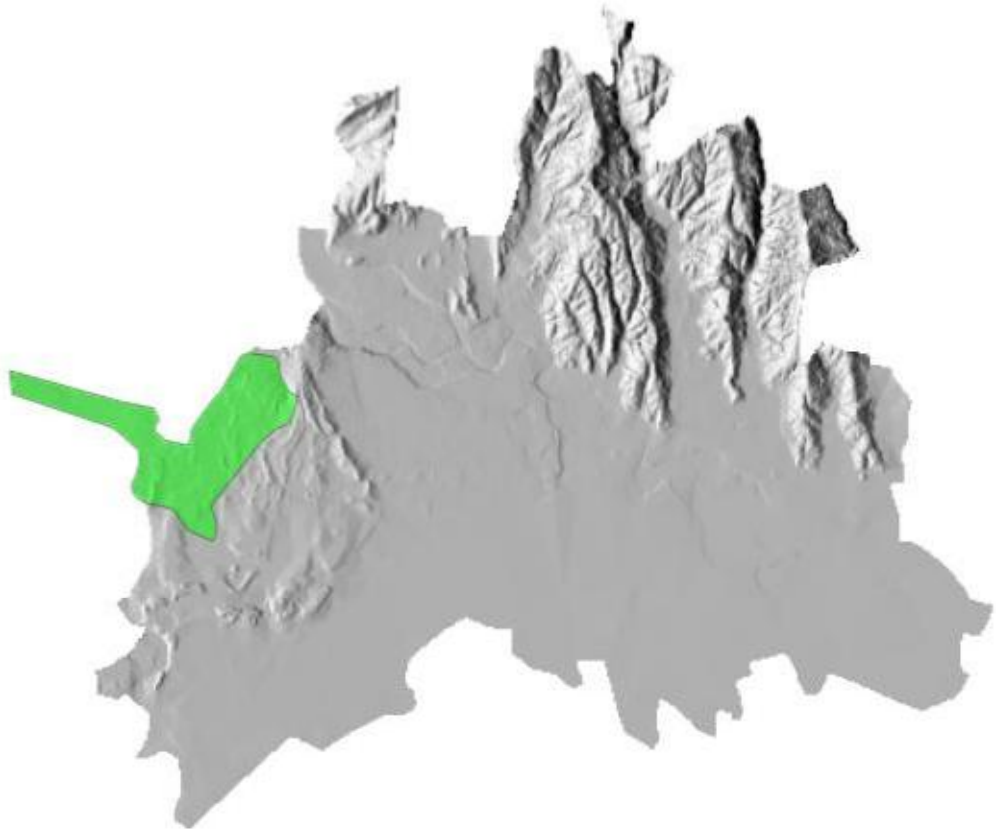


Figura 5-3: Emissioni pro capite per il Comune di Castel d'Azzano.

Tabella 5-6: Azioni possibili per il Comune di Castel d'Azzano.

AZIONE GENERALE	DESCRIZIONE OBIETTIVO	ACCESSIBILITÀ INFORMAZIONI	EFFICACIA
Trasporto urbano sostenibile: riduzione impatto mezzi privati	Passaggio da trasporto privato a trasporto pubblico	bassa	alta
	Adeguamento mezzi trasporto pubblico locale	alta	bassa
	Fluidificazione e regolazione della circolazione	media	media
	Definizione di corsie preferenziali	alta	bassa
	Rinnovo parco auto	media	bassa
	Aumento ZTL	alta	bassa
	Aumento aree pedonali	alta	bassa
	Aumento percorsi ciclo pedonali	alta	bassa
	Incentivazione ciclabilità	bassa	bassa
	Organizzazione di trasporti collettivi per i bambini che vanno a scuola	media	bassa
Riduzione dell'impatto dei mezzi commerciali	Governo accessi	alta	media
	Trasformazione o sostituzione mezzi commerciali	alta	media
	Limitazione del transito di mezzi pesanti in area urbana	media	alta
Riduzione dell'impatto degli impianti civili	Trasformazione e sostituzione degli impianti	bassa	media
	Miglioramento del rendimento energetico	media	media
	Osservanza di norme di contenimento energetico	bassa	media
	Incentivazione uso di energie rinnovabili	media	media
Riduzione impatto delle attività produttive	Riconversione e trasformazione mezzi di trasporto	media	bassa
	Piattaforme di interscambio merci	media	media
	Adozione BAT negli impianti produttivi	alta	alta
Applicazione misure programmate di limitazione traffico	Limitazione alla circolazione veicoli inquinanti	bassa	media
	Blocchi totali del traffico (es. Domeniche ecologiche)	bassa	bassa
Comunicazione e accordi	Comunicazione verso la cittadinanza, operatori economici, imprese	bassa	alta
	Stipula di accordi	media	alta

5.4 CASTELNUOVO DEL GARDA

Comune di CASTELNUOVO DEL GARDA			
Dati generali			
Abitanti	8612	Superficie [km^2]	34.46
Area climatologica	pianura	edificata	8.8%
Stazioni meteorologiche di riferimento	Castelnuovo del Garda	agricola	76.1%
Stazioni di qualità dell'aria di riferimento	Verona Corso Milano Verona Cason	boschiva	0.0%
		acque	15.1%
Localizzazione			
			
Fonti emissive analizzate *			
Numero di aziende	6	Lunghezza della rete stradale extraurbana [km]	101.22
Numero di allevamenti	25	Distanza globale percorsa annualmente [km]	$7.74 \cdot 10^8$

* sulla base dei dati pervenuti

Tabella 5-7: Emissioni totali annue, ripartizione percentuale tra i diversi settori e emissioni pro capite per il Comune di Castelnuovo del Garda.

Emissioni totali annue [t/a]						
	Industria	Riscaldamento	Traffico	Agricoltura /allevamenti	Altro	Totale
Ossidi di zolfo (SO_x)	0.10	1.77	2.23	0.00	0.07	4.17
Ossidi di azoto (NO_x)	5.01	10.14	298.22	0.05	22.48	335.90
Monossido di carb. (CO)	48.96	4.73	986.21	1.40	58.38	1099.68
Metano (CH_4)	43.85	0.64	9.30	654.07	84.56	792.42
Ammoniaca (NH_3)	0.00	0.00	10.39	350.24	0.00	360.63
Polveri sottili (PM_{10})	4.72	0.12	23.90	1.27	2.32	32.33
Ripartizione percentuale delle emissioni						
	Industria	Riscaldamento	Traffico	Agricoltura /allevamenti	Altro	Totale
Ossidi di zolfo (SO_x)	2.3%	42.4%	53.5%	0.0%	1.7%	100.0%
Ossidi di azoto (NO_x)	1.5%	3.0%	88.8%	0.0%	6.7%	100.0%
Monossido di carb. (CO)	4.5%	0.4%	89.7%	0.1%	5.3%	100.0%
Metano (CH_4)	5.5%	0.1%	1.2%	82.5%	10.7%	100.0%
Ammoniaca (NH_3)	0.0%	0.0%	2.9%	97.1%	0.0%	100.0%
Polveri sottili (PM_{10})	14.6%	0.4%	73.9%	3.9%	7.2%	100.0%
Emissioni annue pro capite [kg/(a · ab)]						
	Industria	Riscaldamento	Traffico	Agricoltura /allevamenti	Altro	Totale
Ossidi di zolfo (SO_x)	0.01	0.21	0.26	0.00	0.01	0.49
Ossidi di azoto (NO_x)	0.58	1.18	34.63	0.01	2.61	39.01
Monossido di carb. (CO)	5.68	0.55	114.52	0.16	6.78	127.69
Metano (CH_4)	5.09	0.07	1.08	75.95	9.82	92.01
Ammoniaca (NH_3)	0.00	0.00	1.21	40.67	0.00	41.88
Polveri sottili (PM_{10})	0.55	0.01	2.78	0.15	0.27	3.76

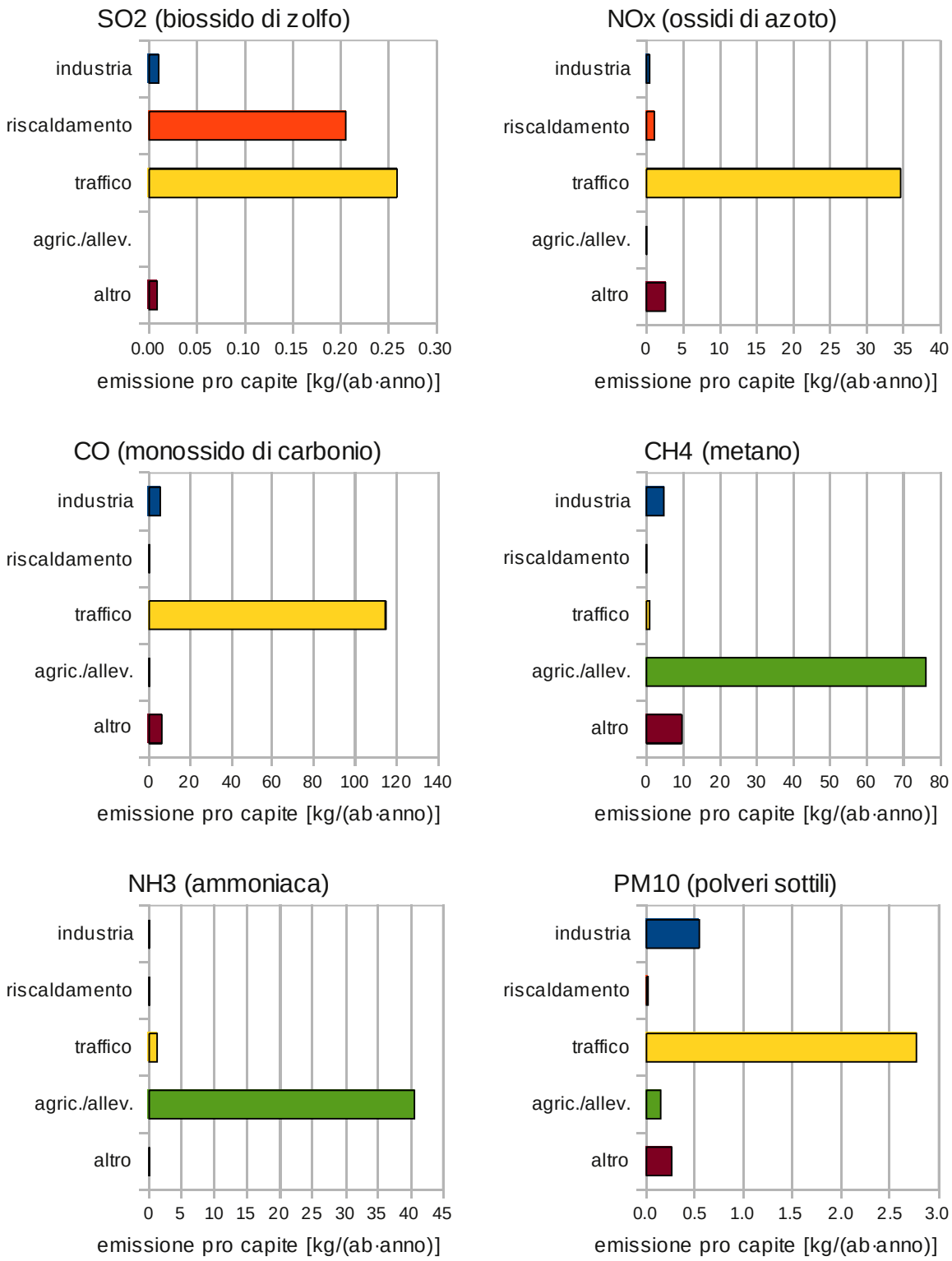
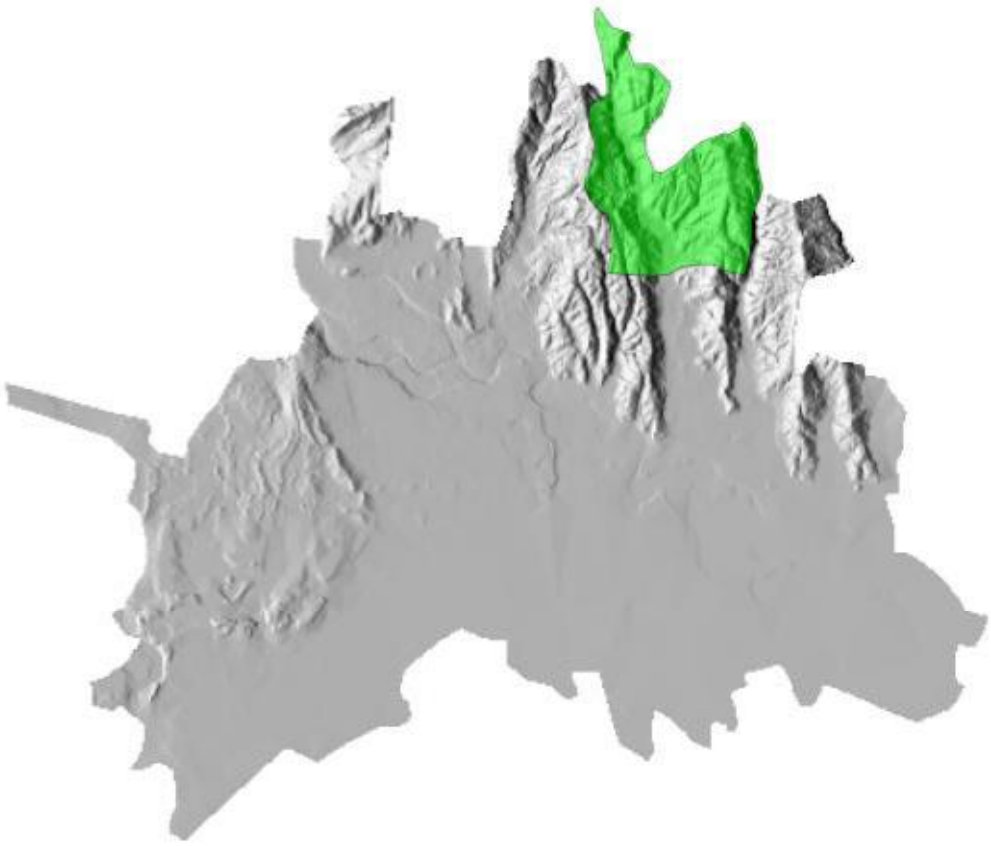


Figura 5-4: Emissioni pro capite per il Comune di Castelnuovo del Garda.

Tabella 5-8: Azioni possibili per il Comune di Castelnuovo del Garda.

AZIONE GENERALE	DESCRIZIONE OBIETTIVO	ACCESSIBILITÀ INFORMAZIONI	EFFICACIA
Trasporto urbano sostenibile: riduzione impatto mezzi privati	Passaggio da trasporto privato a trasporto pubblico	bassa	alta
	Adeguamento mezzi trasporto pubblico locale	alta	media
	Fluidificazione e regolazione della circolazione	media	bassa
	Definizione di corsie preferenziali	alta	bassa
	Rinnovo parco auto	media	bassa
	Aumento ZTL	alta	bassa
	Aumento aree pedonali	alta	bassa
	Aumento percorsi ciclo pedonali	alta	bassa
	Incentivazione ciclabilità	bassa	bassa
	Organizzazione di trasporti collettivi per i bambini che vanno a scuola	media	bassa
Riduzione dell'impatto dei mezzi commerciali	Governo accessi	alta	media
	Trasformazione o sostituzione mezzi commerciali	alta	media
	Limitazione del transito di mezzi pesanti in area urbana	media	alta
Riduzione dell'impatto degli impianti civili	Trasformazione e sostituzione degli impianti	bassa	media
	Miglioramento del rendimento energetico	media	media
	Osservanza di norme di contenimento energetico	bassa	media
	Incentivazione uso di energie rinnovabili	media	media
Riduzione impatto delle attività produttive	Riconversione e trasformazione mezzi di trasporto	media	bassa
	Piattaforme di interscambio merci	media	bassa
	Adozione BAT negli impianti produttivi	alta	media
Applicazione misure programmate di limitazione traffico	Limitazione alla circolazione veicoli inquinanti	bassa	alta
	Blocchi totali del traffico (es. Domeniche ecologiche)	bassa	bassa
Comunicazione e accordi	Comunicazione verso la cittadinanza, operatori economici, imprese	bassa	alta
	Stipula di accordi	media	alta

5.5 GREZZANA

Comune di GREZZANA			
Dati generali			
Abitanti	10045	Superficie [km^2]	49.44
Area climatologica	collina	edificata	6.4%
Stazioni meteorologiche di riferimento	Grezzana	agricola	45.0%
Stazioni di qualità dell'aria di riferimento	Verona Corso Milano Verona Cason Bosco Chiesanuova	boschiva	48.6%
		acque	0.0%
Localizzazione			
			
Fonti emissive analizzate *			
Numero di aziende	20	Lunghezza della rete stradale extraurbana [km]	47.59
Numero di allevamenti	128	Distanza globale percorsa annualmente [km]	$2.41 \cdot 10^8$

* sulla base dei dati pervenuti

Tabella 5-9: Emissioni totali annue, ripartizione percentuale tra i diversi settori e emissioni pro capite per il Comune di Grezzana.

Emissioni totali annue [t/a]						
	Industria	Riscaldamento	Traffico	Agricoltura /allevamenti	Altro	Totale
Ossidi di zolfo (SO_x)	0.29	2.06	0.75	0.00	0.09	3.19
Ossidi di azoto (NO_x)	6.21	11.83	96.50	0.00	31.63	146.17
Monossido di carb. (CO)	48.88	5.52	299.77	0.10	67.90	422.17
Metano (CH_4)	3.72	0.75	3.06	430.11	3.36	441.00
Ammoniaca (NH_3)	0.00	0.00	3.16	535.52	0.01	538.69
Polveri sottili (PM_{10})	9.90	0.14	7.96	24.96	2.91	45.87
Ripartizione percentuale delle emissioni						
	Industria	Riscaldamento	Traffico	Agricoltura /allevamenti	Altro	Totale
Ossidi di zolfo (SO_x)	9.0%	64.6%	23.4%	0.0%	2.9%	100.0%
Ossidi di azoto (NO_x)	4.2%	8.1%	66.0%	0.0%	21.6%	100.0%
Monossido di carb. (CO)	11.6%	1.3%	71.0%	0.0%	16.1%	100.0%
Metano (CH_4)	0.8%	0.2%	0.7%	97.5%	0.8%	100.0%
Ammoniaca (NH_3)	0.0%	0.0%	0.6%	99.4%	0.0%	100.0%
Polveri sottili (PM_{10})	21.6%	0.3%	17.3%	54.4%	6.3%	100.0%
Emissioni annue pro capite [kg/(a · ab)]						
	Industria	Riscaldamento	Traffico	Agricoltura /allevamenti	Altro	Totale
Ossidi di zolfo (SO_x)	0.03	0.21	0.07	0.00	0.01	0.32
Ossidi di azoto (NO_x)	0.62	1.18	9.61	0.00	3.15	14.56
Monossido di carb. (CO)	4.87	0.55	29.84	0.01	6.76	42.03
Metano (CH_4)	0.37	0.07	0.30	42.82	0.33	43.89
Ammoniaca (NH_3)	0.00	0.00	0.31	53.31	0.00	53.62
Polveri sottili (PM_{10})	0.99	0.01	0.79	2.48	0.29	4.56

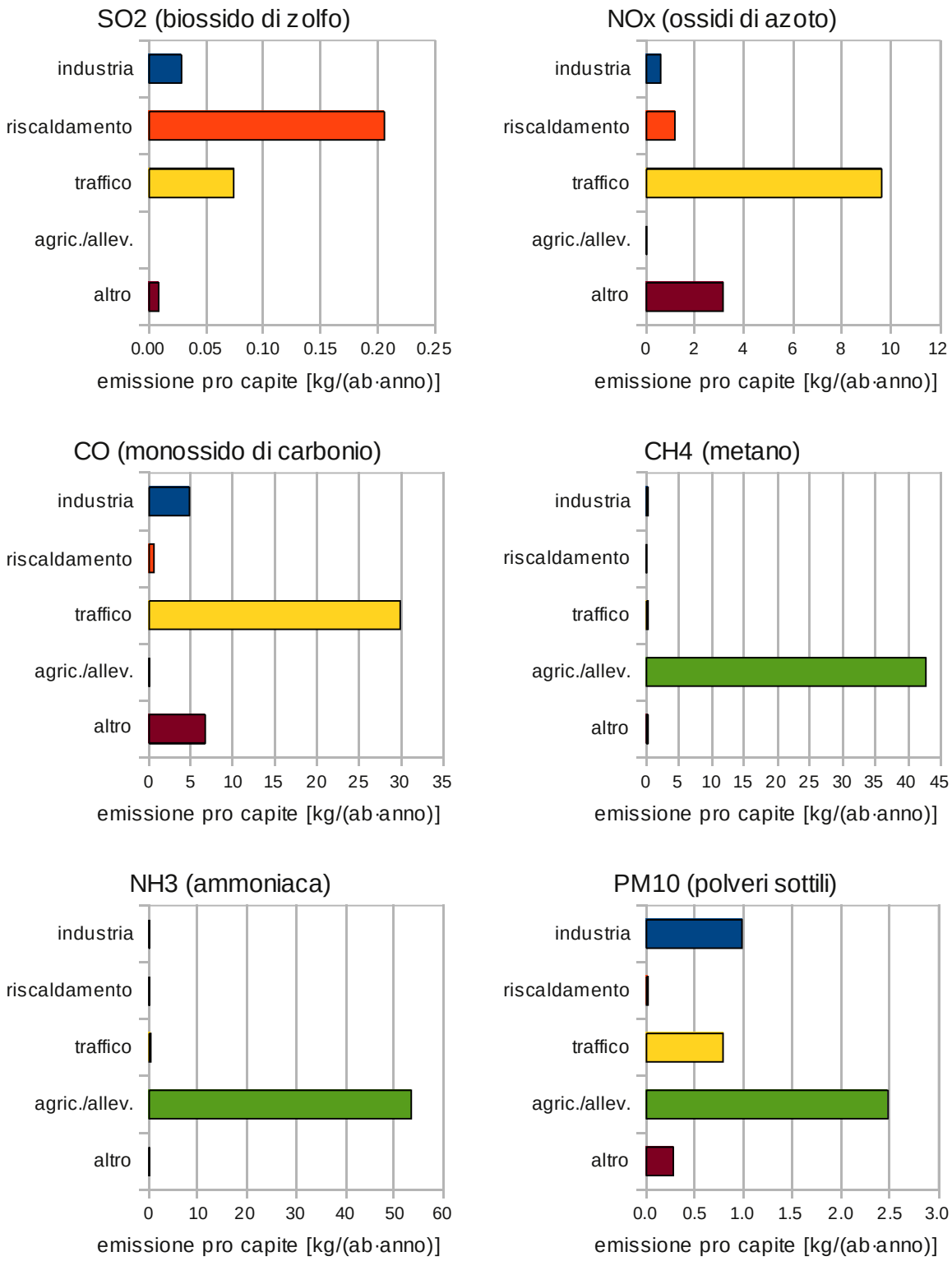
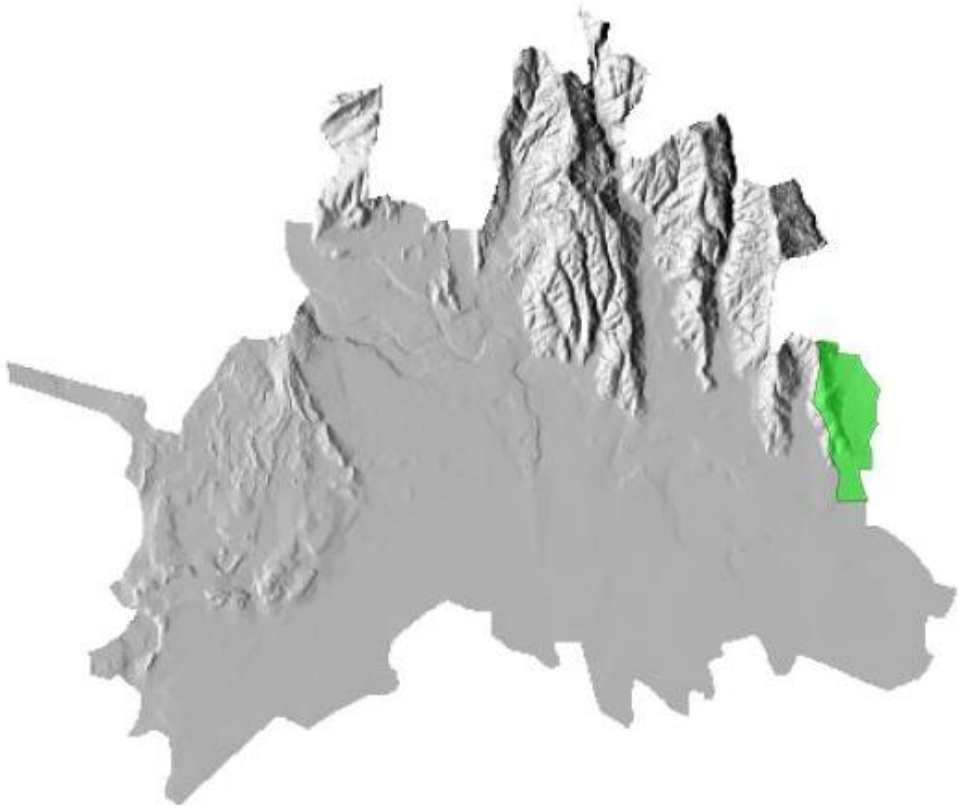


Figura 5-5: Emissioni pro capite per il Comune di Grezzana.

Tabella 5-10: Azioni possibili per il Comune di Grezzana.

AZIONE GENERALE	DESCRIZIONE OBIETTIVO	ACCESSIBILITÀ INFORMAZIONI	EFFICACIA
Trasporto urbano sostenibile: riduzione impatto mezzi privati	Passaggio da trasporto privato a trasporto pubblico	bassa	alta
	Adeguamento mezzi trasporto pubblico locale	alta	bassa
	Fluidificazione e regolazione della circolazione	media	bassa
	Definizione di corsie preferenziali	alta	bassa
	Rinnovo parco auto	media	bassa
	Aumento ZTL	alta	bassa
	Aumento aree pedonali	alta	bassa
	Aumento percorsi ciclo pedonali	alta	bassa
	Incentivazione ciclabilità	bassa	bassa
	Organizzazione di trasporti collettivi per i bambini che vanno a scuola	media	bassa
Riduzione dell'impatto dei mezzi commerciali	Governo accessi	alta	media
	Trasformazione o sostituzione mezzi commerciali	alta	alta
	Limitazione del transito di mezzi pesanti in area urbana	media	alta
Riduzione dell'impatto degli impianti civili	Trasformazione e sostituzione degli impianti	bassa	media
	Miglioramento del rendimento energetico	media	media
	Osservanza di norme di contenimento energetico	bassa	media
	Incentivazione uso di energie rinnovabili	media	media
Riduzione impatto delle attività produttive	Riconversione e trasformazione mezzi di trasporto	media	alta
	Piattaforme di interscambio merci	media	bassa
	Adozione BAT negli impianti produttivi	alta	alta
Applicazione misure programmate di limitazione traffico	Limitazione alla circolazione veicoli inquinanti	bassa	media
	Blocchi totali del traffico (es. Domeniche ecologiche)	bassa	bassa
Comunicazione e accordi	Comunicazione verso la cittadinanza, operatori economici, imprese	bassa	alta
	Stipula di accordi	media	alta

5.6 LAVAGNO

Comune di LAVAGNO			
Dati generali			
Abitanti	5964	Superficie [km^2]	14.63
Area climatologica	pianura	edificata	8.4%
Stazioni meteorologiche di riferimento	Villafranca di Verona Valeggio sul Mincio Verona via Dominutti	agricola	87.9%
Stazioni di qualità dell'aria di riferimento	San Martino Buon Albergo San Bonifacio Verona Corso Milano Verona Cason	boschiva	3.7%
		acque	0.0%
Localizzazione			
			
Fonti emissive analizzate *			
Numero di aziende	1	Lunghezza della rete stradale extraurbana [km]	93.18
Numero di allevamenti	6	Distanza globale percorsa annualmente [km]	$9.15 \cdot 10^8$

* sulla base dei dati pervenuti

Tabella 5-11: Emissioni totali annue, ripartizione percentuale tra i diversi settori e emissioni pro capite per il Comune di Lavagno.

Emissioni totali annue [t/a]						
	Industria	Riscaldamento	Traffico	Agricoltura /allevamenti	Altro	Totale
Ossidi di zolfo (SO_x)	0.41	1.22	2.71	0.00	0.03	4.37
Ossidi di azoto (NO_x)	4.37	7.02	357.59	0.01	7.87	376.86
Monossido di carb. (CO)	26.88	3.28	1155.18	0.32	26.98	1212.64
Metano (CH_4)	1.11	0.44	11.23	31.04	1.08	44.90
Ammoniaca (NH_3)	0.00	0.00	12.17	76.17	0.00	88.34
Polveri sottili (PM_{10})	3.05	0.08	28.97	4.32	0.91	37.33
Ripartizione percentuale delle emissioni						
	Industria	Riscaldamento	Traffico	Agricoltura /allevamenti	Altro	Totale
Ossidi di zolfo (SO_x)	9.3%	28.0%	62.0%	0.0%	0.7%	100.0%
Ossidi di azoto (NO_x)	1.2%	1.9%	94.9%	0.0%	2.1%	100.0%
Monossido di carb. (CO)	2.2%	0.3%	95.3%	0.0%	2.2%	100.0%
Metano (CH_4)	2.5%	1.0%	25.0%	69.1%	2.4%	100.0%
Ammoniaca (NH_3)	0.0%	0.0%	13.8%	86.2%	0.0%	100.0%
Polveri sottili (PM_{10})	8.2%	0.2%	77.6%	11.6%	2.4%	100.0%
Emissioni annue pro capite [kg/(a · ab)]						
	Industria	Riscaldamento	Traffico	Agricoltura /allevamenti	Altro	Totale
Ossidi di zolfo (SO_x)	0.07	0.21	0.45	0.00	0.01	0.74
Ossidi di azoto (NO_x)	0.73	1.18	59.96	0.00	1.32	63.19
Monossido di carb. (CO)	4.51	0.55	193.69	0.05	4.52	203.32
Metano (CH_4)	0.19	0.07	1.88	5.20	0.18	7.52
Ammoniaca (NH_3)	0.00	0.00	2.04	12.77	0.00	14.81
Polveri sottili (PM_{10})	0.51	0.01	4.86	0.72	0.15	6.25

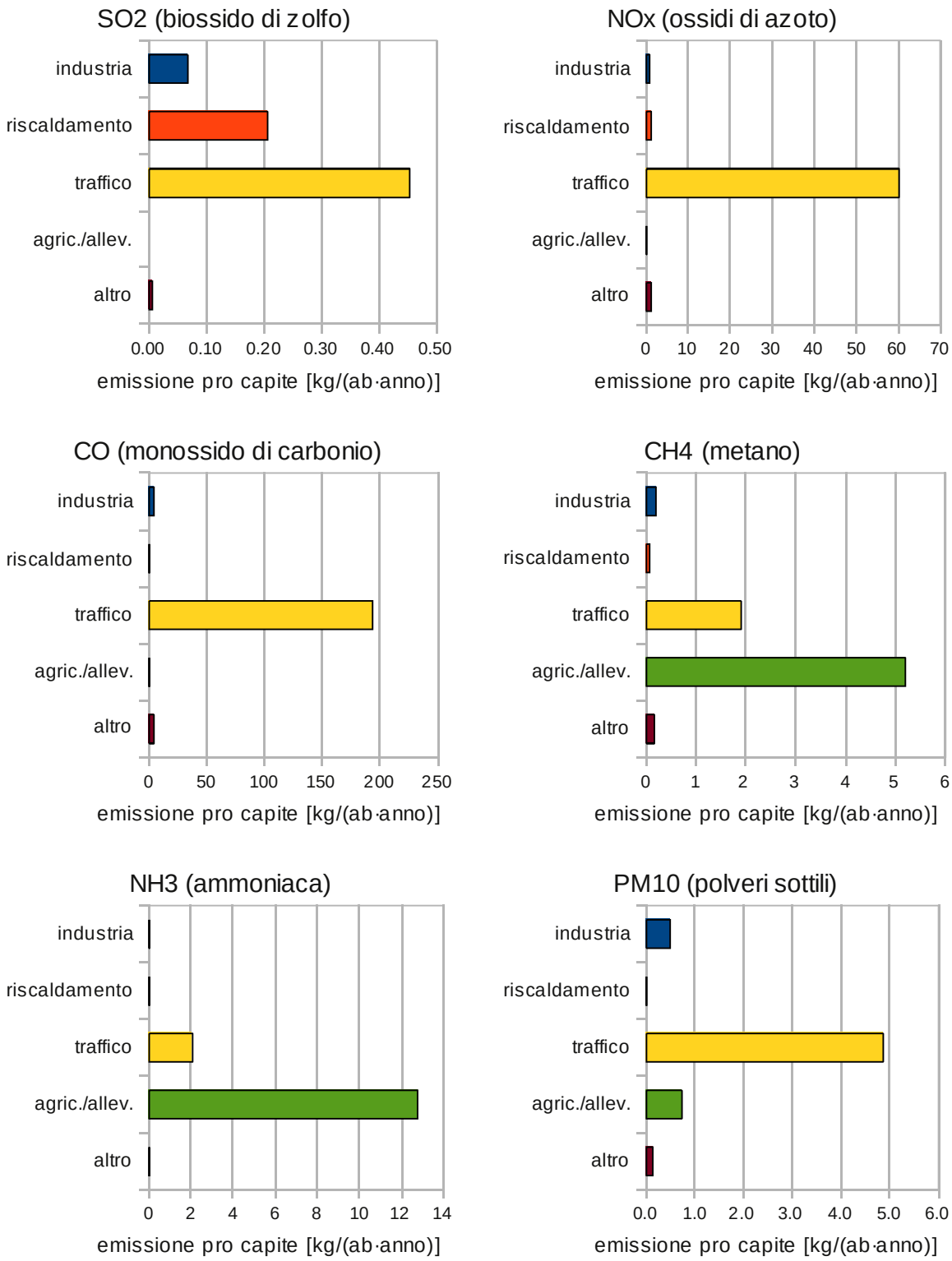
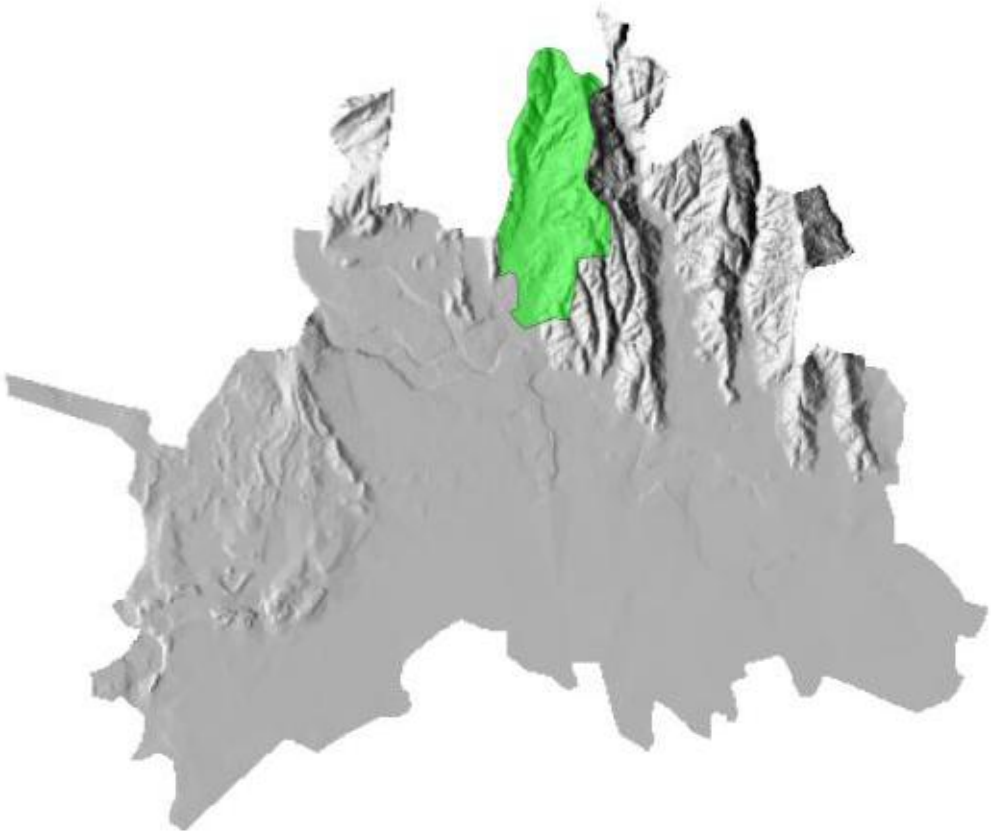


Figura 5-6: Emissioni pro capite per il Comune di Lavagno.

Tabella 5-12: Azioni possibili per il Comune di Lavagno.

AZIONE GENERALE	DESCRIZIONE OBIETTIVO	ACCESSIBILITÀ INFORMAZIONI	EFFICACIA
Trasporto urbano sostenibile: riduzione impatto mezzi privati	Passaggio da trasporto privato a trasporto pubblico	bassa	alta
	Adeguamento mezzi trasporto pubblico locale	alta	bassa
	Fluidificazione e regolazione della circolazione	media	media
	Definizione di corsie preferenziali	alta	bassa
	Rinnovo parco auto	media	bassa
	Aumento ZTL	alta	bassa
	Aumento aree pedonali	alta	bassa
	Aumento percorsi ciclo pedonali	alta	bassa
	Incentivazione ciclabilità	bassa	bassa
	Organizzazione di trasporti collettivi per i bambini che vanno a scuola	media	bassa
Riduzione dell'impatto dei mezzi commerciali	Governo accessi	alta	media
	Trasformazione o sostituzione mezzi commerciali	alta	media
	Limitazione del transito di mezzi pesanti in area urbana	media	alta
Riduzione dell'impatto degli impianti civili	Trasformazione e sostituzione degli impianti	bassa	media
	Miglioramento del rendimento energetico	media	media
	Osservanza di norme di contenimento energetico	bassa	media
	Incentivazione uso di energie rinnovabili	media	media
Riduzione impatto delle attività produttive	Riconversione e trasformazione mezzi di trasporto	media	bassa
	Piattaforme di interscambio merci	media	bassa
	Adozione BAT negli impianti produttivi	alta	alta
Applicazione misure programmate di limitazione traffico	Limitazione alla circolazione veicoli inquinanti	bassa	alta
	Blocchi totali del traffico (es. Domeniche ecologiche)	bassa	bassa
Comunicazione e accordi	Comunicazione verso la cittadinanza, operatori economici, imprese	bassa	alta
	Stipula di accordi	media	alta

5.7 NEGRAR

Comune di NEGRAR			
Dati generali			
Abitanti	16184	Superficie [km^2]	40.32
Area climatologica	collina	edificata	10.5%
Stazioni meteorologiche di riferimento	Marano di Valpolicella Grezzana	agricola	49.1%
Stazioni di qualità dell'aria di riferimento	Verona Corso Milano Verona Cason	boschiva	40.5%
		acque	0.0%
Localizzazione			
			
Fonti emissive analizzate *			
Numero di aziende	3	Lunghezza della rete stradale extraurbana [km]	89.00
Numero di allevamenti	31	Distanza globale percorsa annualmente [km]	$2.93 \cdot 10^8$

* sulla base dei dati pervenuti

Tabella 5-13: Emissioni totali annue, ripartizione percentuale tra i diversi settori e emissioni pro capite per il Comune di Negrar.

Emissioni totali annue [t/a]						
	Industria	Riscaldamento	Traffico	Agricoltura /allevamenti	Altro	Totale
Ossidi di zolfo (SO_x)	0.29	3.32	0.91	0.00	0.13	4.65
Ossidi di azoto (NO_x)	4.73	19.06	117.10	0.00	40.99	181.88
Monossido di carb. (CO)	39.90	8.90	363.78	0.04	76.58	489.20
Metano (CH_4)	3.20	1.21	3.72	64.73	3.28	76.14
Ammoniaca (NH_3)	0.00	0.00	3.83	93.30	0.01	97.14
Polveri sottili (PM_{10})	6.24	0.23	9.66	4.57	3.51	24.21
Ripartizione percentuale delle emissioni						
	Industria	Riscaldamento	Traffico	Agricoltura /allevamenti	Altro	Totale
Ossidi di zolfo (SO_x)	6.3%	71.4%	19.5%	0.0%	2.8%	100.0%
Ossidi di azoto (NO_x)	2.6%	10.5%	64.4%	0.0%	22.5%	100.0%
Monossido di carb. (CO)	8.2%	1.8%	74.4%	0.0%	15.7%	100.0%
Metano (CH_4)	4.2%	1.6%	4.9%	85.0%	4.3%	100.0%
Ammoniaca (NH_3)	0.0%	0.0%	3.9%	96.0%	0.0%	100.0%
Polveri sottili (PM_{10})	25.8%	0.9%	39.9%	18.9%	14.5%	100.0%
Emissioni annue pro capite [kg/(a · ab)]						
	Industria	Riscaldamento	Traffico	Agricoltura /allevamenti	Altro	Totale
Ossidi di zolfo (SO_x)	0.02	0.21	0.06	0.00	0.01	0.30
Ossidi di azoto (NO_x)	0.29	1.18	7.24	0.00	2.53	11.24
Monossido di carb. (CO)	2.47	0.55	22.48	0.00	4.73	30.23
Metano (CH_4)	0.20	0.07	0.23	4.00	0.20	4.70
Ammoniaca (NH_3)	0.00	0.00	0.24	5.77	0.00	6.01
Polveri sottili (PM_{10})	0.39	0.01	0.60	0.28	0.22	1.50

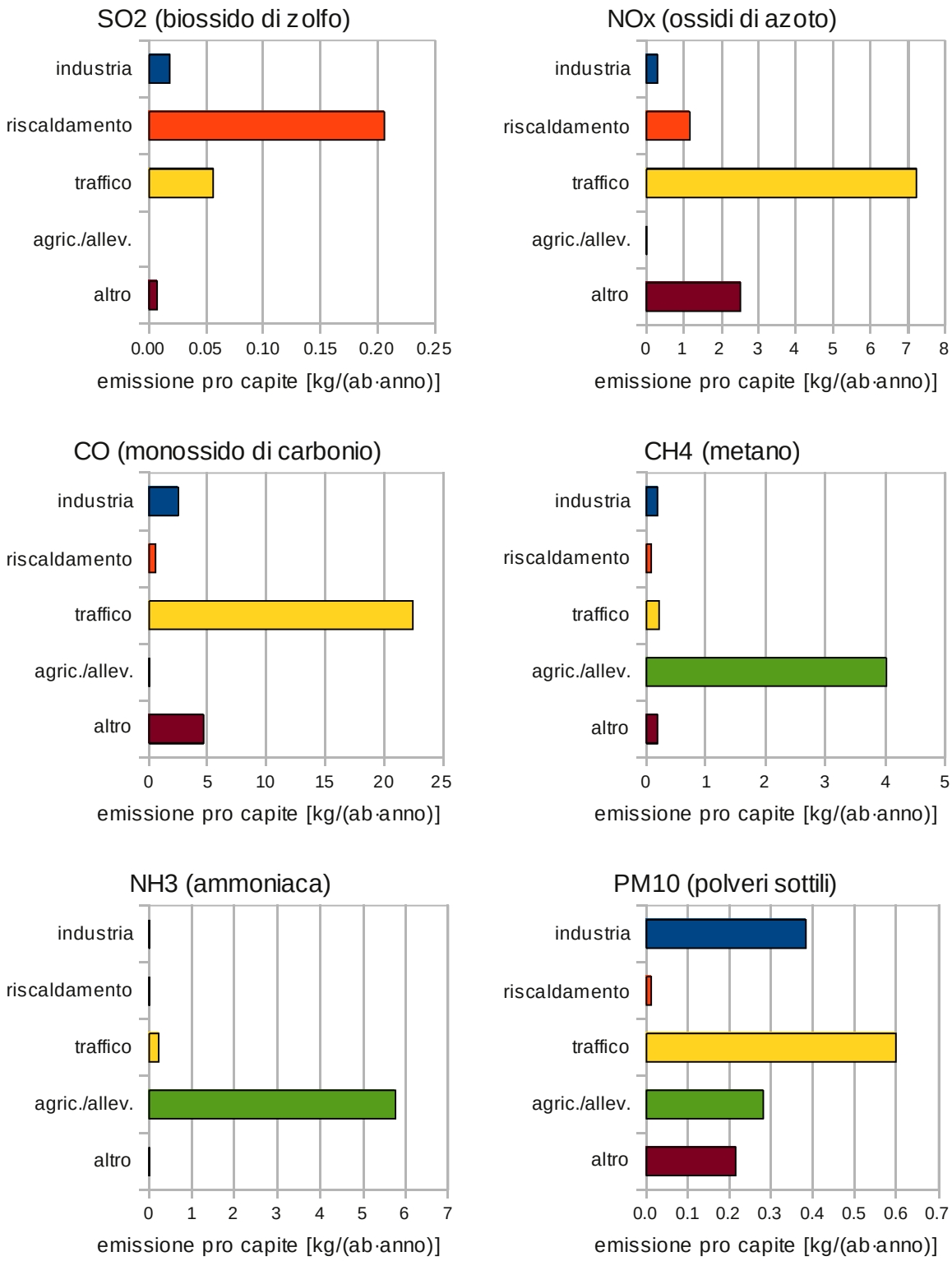
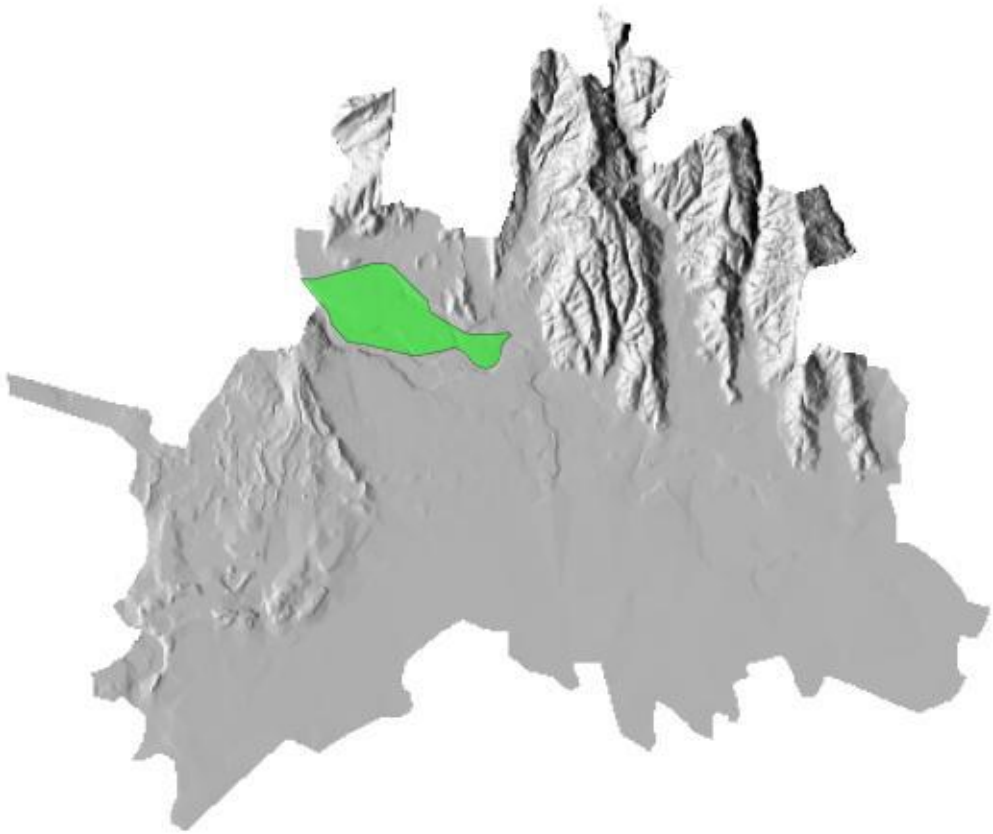


Figura 5-7: Emissioni pro capite per il Comune di Negrar.

Tabella 5-14: Azioni possibili per il Comune di Negrar.

AZIONE GENERALE	DESCRIZIONE OBIETTIVO	ACCESSIBILITÀ INFORMAZIONI	EFFICACIA
Trasporto urbano sostenibile: riduzione impatto mezzi privati	Passaggio da trasporto privato a trasporto pubblico	bassa	alta
	Adeguamento mezzi trasporto pubblico locale	alta	bassa
	Fluidificazione e regolazione della circolazione	media	media
	Definizione di corsie preferenziali	alta	media
	Rinnovo parco auto	media	bassa
	Aumento ZTL	alta	bassa
	Aumento aree pedonali	alta	bassa
	Aumento percorsi ciclo pedonali	alta	bassa
	Incentivazione ciclabilità	bassa	bassa
	Organizzazione di trasporti collettivi per i bambini che vanno a scuola	media	bassa
Riduzione dell'impatto dei mezzi commerciali	Governo accessi	alta	media
	Trasformazione o sostituzione mezzi commerciali	alta	media
	Limitazione del transito di mezzi pesanti in area urbana	media	alta
Riduzione dell'impatto degli impianti civili	Trasformazione e sostituzione degli impianti	bassa	media
	Miglioramento del rendimento energetico	media	media
	Osservanza di norme di contenimento energetico	bassa	media
	Incentivazione uso di energie rinnovabili	media	media
Riduzione impatto delle attività produttive	Riconversione e trasformazione mezzi di trasporto	media	bassa
	Piattaforme di interscambio merci	media	bassa
	Adozione BAT negli impianti produttivi	alta	media
Applicazione misure programmate di limitazione traffico	Limitazione alla circolazione veicoli inquinanti	bassa	media
	Blocchi totali del traffico (es. Domeniche ecologiche)	bassa	bassa
Comunicazione e accordi	Comunicazione verso la cittadinanza, operatori economici, imprese	bassa	alta
	Stipula di accordi	media	alta

5.8 PESCANTINA

Comune di PESCANTINA			
Dati generali			
Abitanti	12414	Superficie [km^2]	19.67
Area climatologica	collina	edificata	24.4%
Stazioni meteorologiche di riferimento	Castelnuovo del Garda	agricola	73.7%
Stazioni di qualità dell'aria di riferimento	Verona Corso Milano Verona Cason	boschiva	0.0%
		acque	1.9%
Localizzazione			
			
Fonti emissive analizzate *			
Numero di aziende	0	Lunghezza della rete stradale extraurbana [km]	90.34
Numero di allevamenti	30	Distanza globale percorsa annualmente [km]	$3.15 \cdot 10^8$

* sulla base dei dati pervenuti

Tabella 5-15: Emissioni totali annue, ripartizione percentuale tra i diversi settori e emissioni pro capite per il Comune di Pescantina.

Emissioni totali annue [t/a]						
	Industria	Riscaldamento	Traffico	Agricoltura /allevamenti	Altro	Totale
Ossidi di zolfo (SO_x)	0.63	2.55	0.98	0.00	0.12	4.28
Ossidi di azoto (NO_x)	7.17	14.62	126.1	0.01	37.88	185.78
Monossido di carb. (CO)	25.14	6.82	391.71	0.16	60.46	484.29
Metano (CH_4)	5.00	0.93	4.00	251.59	1800.00	2061.52
Ammoniaca (NH_3)	52.68	0.00	4.13	578.56	52.69	688.06
Polveri sottili (PM_{10})	3.00	0.17	10.40	27.96	1.00	42.53
Ripartizione percentuale delle emissioni						
	Industria	Riscaldamento	Traffico	Agricoltura /allevamenti	Altro	Totale
Ossidi di zolfo (SO_x)	14.7%	59.7%	22.9%	0.0%	2.7%	100.0%
Ossidi di azoto (NO_x)	3.9%	7.9%	67.9%	0.0%	20.4%	100.0%
Monossido di carb. (CO)	5.2%	1.4%	80.9%	0.0%	12.5%	100.0%
Metano (CH_4)	0.2%	0.0%	0.2%	12.2%	87.3%	100.0%
Ammoniaca (NH_3)	7.7%	0.0%	0.6%	84.1%	7.7%	100.0%
Polveri sottili (PM_{10})	7.1%	0.4%	24.4%	65.7%	2.4%	100.0%
Emissioni annue pro capite [kg/(a · ab)]						
	Industria	Riscaldamento	Traffico	Agricoltura /allevamenti	Altro	Totale
Ossidi di zolfo (SO_x)	0.05	0.16	0.06	0.00	0.01	0.28
Ossidi di azoto (NO_x)	0.58	0.90	7.79	0.00	2.34	11.61
Monossido di carb. (CO)	2.02	0.42	24.20	0.01	3.74	30.39
Metano (CH_4)	0.40	0.06	0.25	15.55	111.22	127.48
Ammoniaca (NH_3)	4.24	0.00	0.26	35.75	3.26	43.51
Polveri sottili (PM_{10})	0.24	0.01	0.64	1.73	0.06	2.68

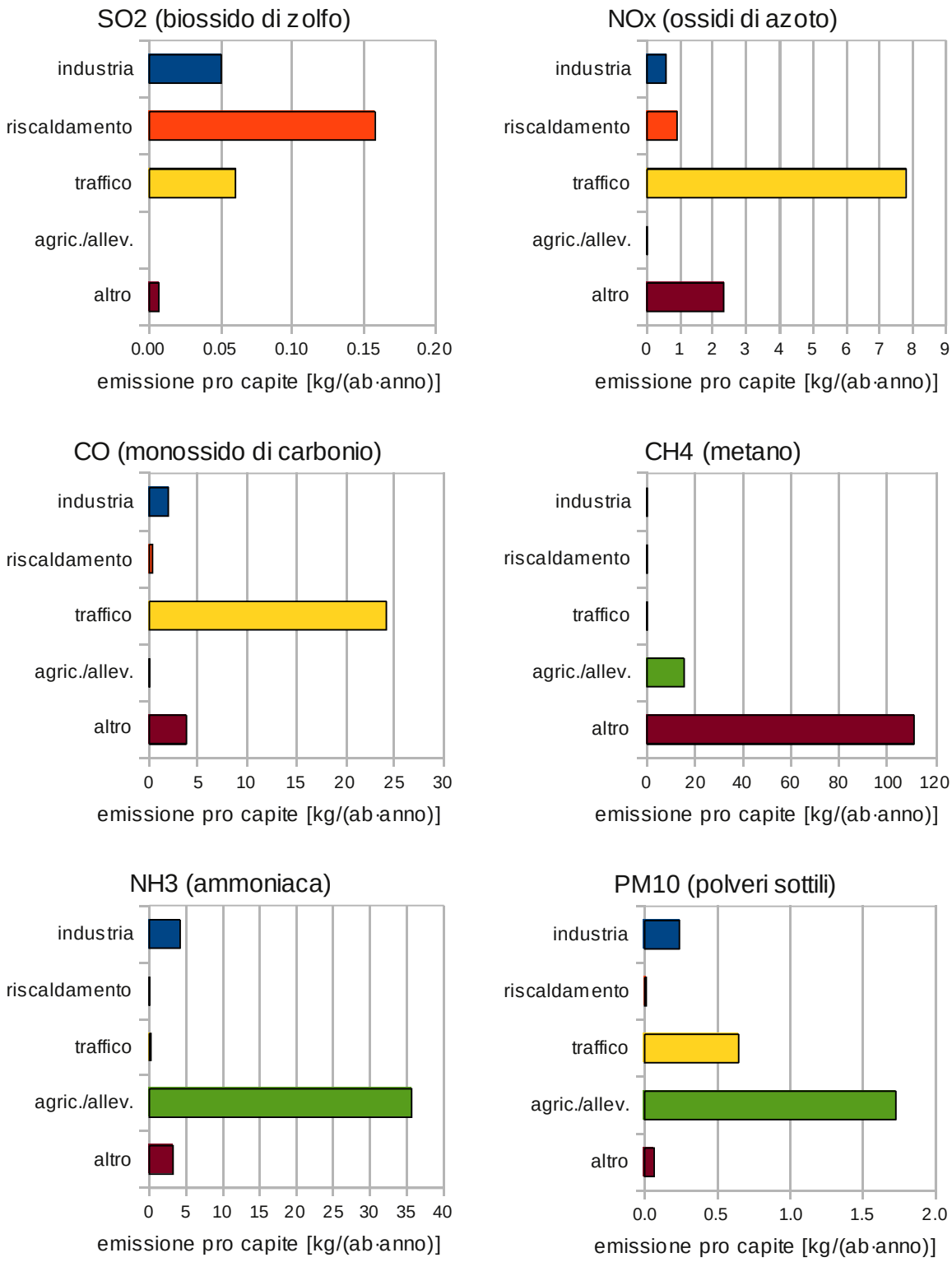


Figura 5-8: Emissioni pro capite per il Comune di Pescantina.

Tabella 5-16: Azioni possibili per il Comune di Pescantina.

AZIONE GENERALE	DESCRIZIONE OBIETTIVO	ACCESSIBILITÀ INFORMAZIONI	EFFICACIA
Trasporto urbano sostenibile: riduzione impatto mezzi privati	Passaggio da trasporto privato a trasporto pubblico	bassa	alta
	Adeguamento mezzi trasporto pubblico locale	alta	bassa
	Fluidificazione e regolazione della circolazione	media	bassa
	Definizione di corsie preferenziali	alta	bassa
	Rinnovo parco auto	media	bassa
	Aumento ZTL	alta	bassa
	Aumento aree pedonali	alta	bassa
	Aumento percorsi ciclo pedonali	alta	bassa
	Incentivazione ciclabilità	bassa	bassa
	Organizzazione di trasporti collettivi per i bambini che vanno a scuola	media	bassa
Riduzione dell'impatto dei mezzi commerciali	Governo accessi	alta	media
	Trasformazione o sostituzione mezzi commerciali	alta	media
	Limitazione del transito di mezzi pesanti in area urbana	media	alta
Riduzione dell'impatto degli impianti civili	Trasformazione e sostituzione degli impianti	bassa	media
	Miglioramento del rendimento energetico	media	media
	Osservanza di norme di contenimento energetico	bassa	media
	Incentivazione uso di energie rinnovabili	media	media
Riduzione impatto delle attività produttive	Riconversione e trasformazione mezzi di trasporto	media	bassa
	Piattaforme di interscambio merci	media	bassa
	Adozione BAT negli impianti produttivi	alta	alta
Applicazione misure programmate di limitazione traffico	Limitazione alla circolazione veicoli inquinanti	bassa	media
	Blocchi totali del traffico (es. Domeniche ecologiche)	bassa	bassa
Comunicazione e accordi	Comunicazione verso la cittadinanza, operatori economici, imprese	bassa	alta
	Stipula di accordi	media	alta

5.9 SAN GIOVANNI LUPATOTO

Comune di SAN GIOVANNI LUPATOTO			
Dati generali			
Abitanti	21298	Superficie [km^2]	19.03
Area climatologica	pianura	edificata	34.0%
Stazioni meteorologiche di riferimento	Villafranca di Verona Verona via Dominutti	agricola	63.4%
Stazioni di qualità dell'aria di riferimento	San Giovanni Luptatoto Ca' del Bue, Matozze	boschiva	0.0%
		acque	2.6%
Localizzazione			
Fonti emissive analizzate *			
Numero di aziende	22	Lunghezza della rete stradale extraurbana [km]	246.71
Numero di allevamenti	23	Distanza globale percorsa annualmente [km]	$1.36 \cdot 10^9$

* sulla base dei dati pervenuti

Tabella 5-17: Emissioni totali annue, ripartizione percentuale tra i diversi settori e emissioni pro capite per il Comune di San Giovanni Lupatoto.

Emissioni totali annue [t/a]						
	Industria	Riscaldamento	Traffico	Agricoltura /allevamenti	Altro	Totale
Ossidi di zolfo (SO_x)	3.80	4.37	4.13	0.00	0.19	12.49
Ossidi di azoto (NO_x)	37.50	25.08	538.80	0.02	59.64	661.04
Monossido di carb. (CO)	348.08	11.71	1704.28	0.61	78.70	2143.38
Metano (CH_4)	7.19	1.59	17.01	130.86	3.07	159.72
Ammoniaca (NH_3)	0.00	0.00	17.96	159.30	0.01	177.27
Polveri sottili (PM_{10})	108.20	0.30	44.08	6.02	4.21	162.81
Ripartizione percentuale delle emissioni						
	Industria	Riscaldamento	Traffico	Agricoltura /allevamenti	Altro	Totale
Ossidi di zolfo (SO_x)	30.4%	35.0%	33.1%	0.0%	1.5%	100.0%
Ossidi di azoto (NO_x)	5.7%	3.8%	81.5%	0.0%	9.0%	100.0%
Monossido di carb. (CO)	16.2%	0.5%	79.5%	0.0%	3.7%	100.0%
Metano (CH_4)	4.5%	1.0%	10.7%	81.9%	1.9%	100.0%
Ammoniaca (NH_3)	0.0%	0.0%	10.1%	89.9%	0.0%	100.0%
Polveri sottili (PM_{10})	66.5%	0.2%	27.1%	3.7%	2.6%	100.0%
Emissioni annue pro capite [kg/(a · ab)]						
	Industria	Riscaldamento	Traffico	Agricoltura /allevamenti	Altro	Totale
Ossidi di zolfo (SO_x)	0.18	0.21	0.19	0.00	0.01	0.59
Ossidi di azoto (NO_x)	1.76	1.18	25.30	0.00	2.80	31.04
Monossido di carb. (CO)	16.34	0.55	80.02	0.03	3.70	100.64
Metano (CH_4)	0.34	0.07	0.80	6.14	0.14	7.49
Ammoniaca (NH_3)	0.00	0.00	0.84	7.48	0.00	8.32
Polveri sottili (PM_{10})	5.08	0.01	2.07	0.28	0.20	7.64

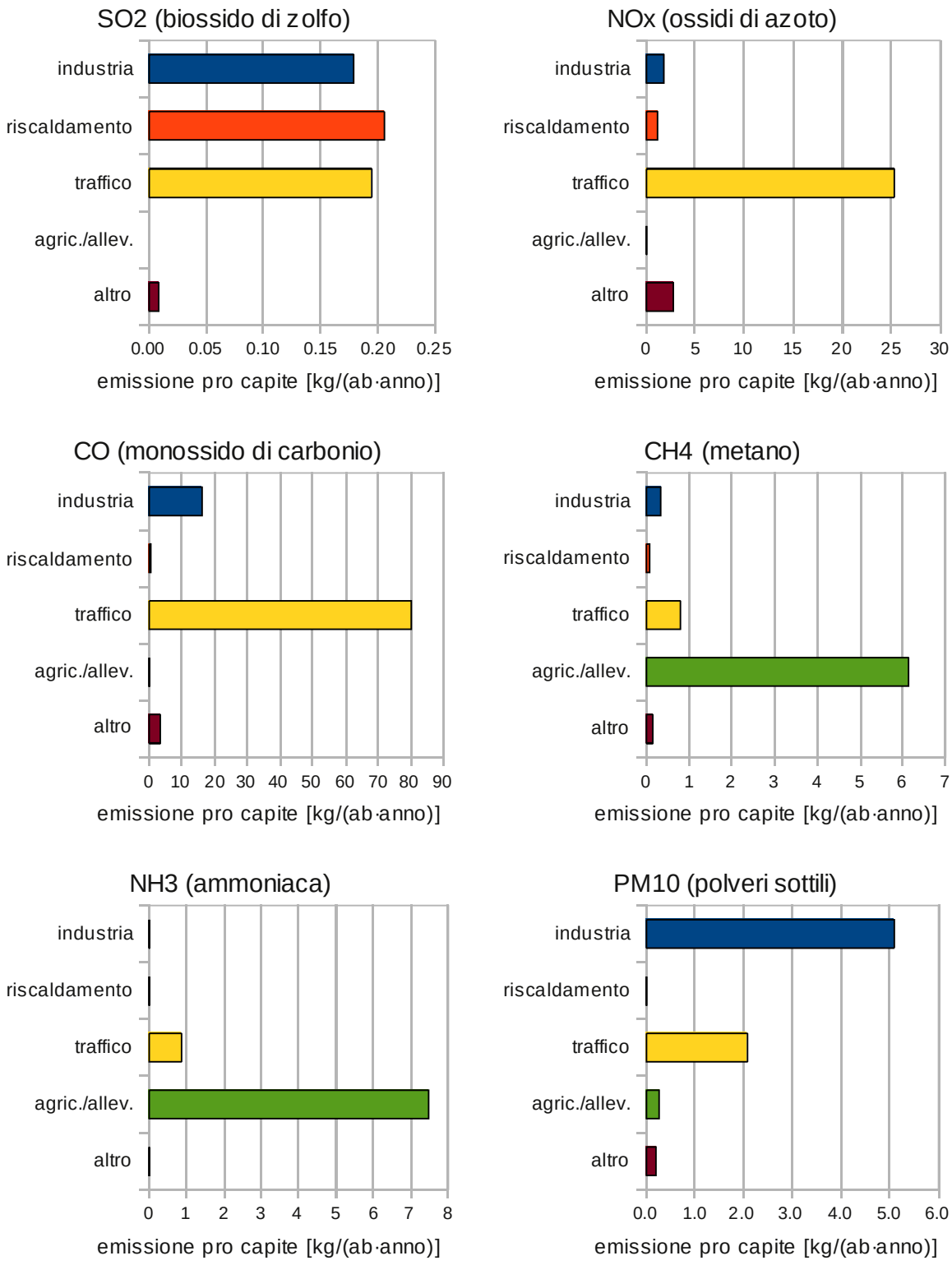
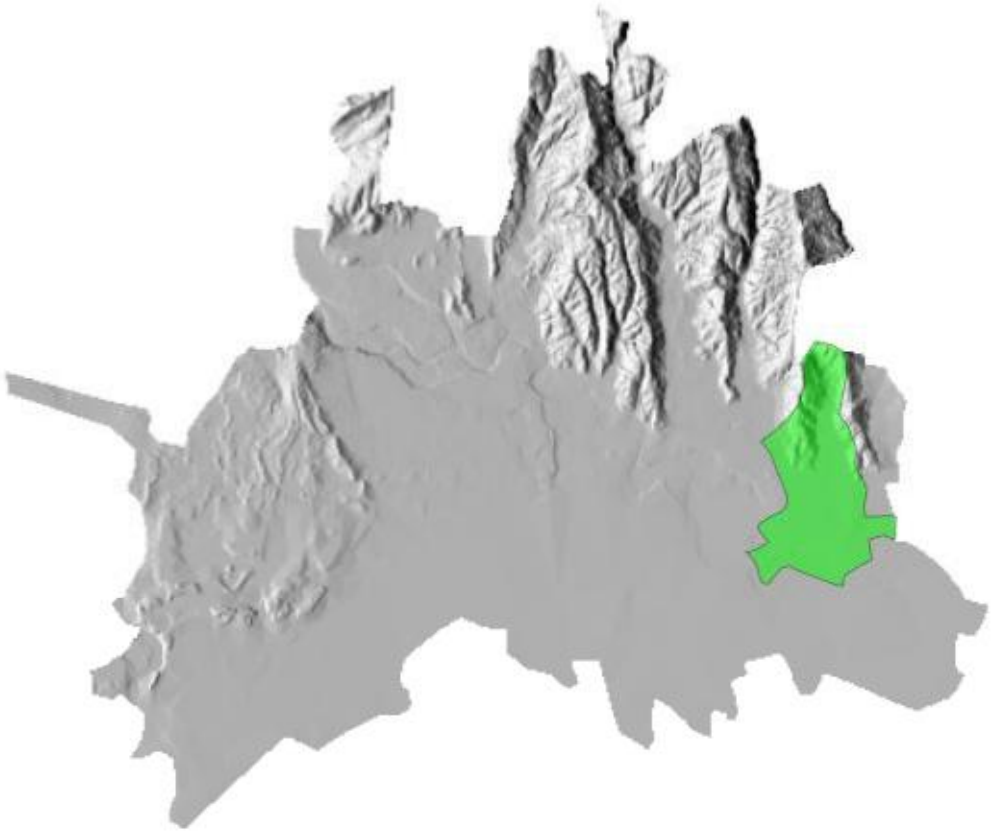


Figura 5-9: Emissioni pro capite per il Comune di San Giovanni Lupatoto.

Tabella 5-18: Azioni possibili per il Comune di San Giovanni Lupatoto.

AZIONE GENERALE	DESCRIZIONE OBIETTIVO	ACCESSIBILITÀ INFORMAZIONI	EFFICACIA
Trasporto urbano sostenibile: riduzione impatto mezzi privati	Passaggio da trasporto privato a trasporto pubblico	bassa	alta
	Adeguamento mezzi trasporto pubblico locale	alta	bassa
	Fluidificazione e regolazione della circolazione	media	media
	Definizione di corsie preferenziali	alta	media
	Rinnovo parco auto	media	bassa
	Aumento ZTL	alta	bassa
	Aumento aree pedonali	alta	bassa
	Aumento percorsi ciclo pedonali	alta	bassa
	Incentivazione ciclabilità	bassa	bassa
	Organizzazione di trasporti collettivi per i bambini che vanno a scuola	media	bassa
Riduzione dell'impatto dei mezzi commerciali	Governo accessi	alta	media
	Trasformazione o sostituzione mezzi commerciali	alta	media
	Limitazione del transito di mezzi pesanti in area urbana	media	alta
Riduzione dell'impatto degli impianti civili	Trasformazione e sostituzione degli impianti	bassa	media
	Miglioramento del rendimento energetico	media	media
	Osservanza di norme di contenimento energetico	bassa	media
	Incentivazione uso di energie rinnovabili	media	media
Riduzione impatto delle attività produttive	Riconversione e trasformazione mezzi di trasporto	media	bassa
	Piattaforme di interscambio merci	media	media
	Adozione BAT negli impianti produttivi	alta	alta
Applicazione misure programmate di limitazione traffico	Limitazione alla circolazione veicoli inquinanti	bassa	media
	Blocchi totali del traffico (es. Domeniche ecologiche)	bassa	bassa
Comunicazione e accordi	Comunicazione verso la cittadinanza, operatori economici, imprese	bassa	alta
	Stipula di accordi	media	alta

5.10 SAN MARTINO BUON ALBERGO

Comune di SAN MARTINO BUON ALBERGO			
Dati generali			
Abitanti	13095	Superficie [km^2]	34.55
Area climatologica	pianura	edificata	11.4%
Stazioni meteorologiche di riferimento	Villafranca di Verona Valeggio sul Mincio	agricola	79.6%
Stazioni di qualità dell'aria di riferimento	San Martino Buon Albergo Verona Corso Milano Verona Cason	boschiva	7.9%
		acque	1.1%
Localizzazione			
			
Fonti emissive analizzate *			
Numero di aziende	26	Lunghezza della rete stradale extraurbana [km]	258.48
Numero di allevamenti	71	Distanza globale percorsa annualmente [km]	$1.89 \cdot 10^9$

* sulla base dei dati pervenuti

Tabella 5-19: Emissioni totali annue, ripartizione percentuale tra i diversi settori e emissioni pro capite per il Comune di San Martino Buon Albergo.

Emissioni totali annue [t/a]						
	Industria	Riscaldamento	Traffico	Agricoltura /allevamenti	Altro	Totale
Ossidi di zolfo (SO_x)	11.74	2.69	5.60	0.00	0.09	20.12
Ossidi di azoto (NO_x)	107.92	15.42	736.29	0.03	29.06	888.72
Monossido di carb. (CO)	108.01	7.20	2366.77	0.74	59.65	2542.37
Metano (CH_4)	1001.12	0.98	23.15	384.67	66.85	1476.77
Ammoniaca (NH_3)	0.08	0.00	24.93	268.28	0.01	293.30
Polveri sottili (PM_{10})	10.18	0.18	59.79	6.56	2.49	79.20
Ripartizione percentuale delle emissioni						
	Industria	Riscaldamento	Traffico	Agricoltura /allevamenti	Altro	Totale
Ossidi di zolfo (SO_x)	58.3%	13.4%	27.8%	0.0%	0.5%	100.0%
Ossidi di azoto (NO_x)	12.1%	1.7%	82.8%	0.0%	3.3%	100.0%
Monossido di carb. (CO)	4.2%	0.3%	93.1%	0.0%	2.3%	100.0%
Metano (CH_4)	67.8%	0.1%	1.6%	26.0%	4.5%	100.0%
Ammoniaca (NH_3)	0.0%	0.0%	8.5%	91.5%	0.0%	100.0%
Polveri sottili (PM_{10})	12.9%	0.2%	75.5%	8.3%	3.1%	100.0%
Emissioni annue pro capite [kg/(a · ab)]						
	Industria	Riscaldamento	Traffico	Agricoltura /allevamenti	Altro	Totale
Ossidi di zolfo (SO_x)	0.90	0.21	0.43	0.00	0.01	1.55
Ossidi di azoto (NO_x)	8.24	1.18	56.23	0.00	2.22	67.87
Monossido di carb. (CO)	8.25	0.55	180.74	0.06	4.56	194.16
Metano (CH_4)	76.45	0.07	1.77	29.38	5.10	112.77
Ammoniaca (NH_3)	0.01	0.00	1.90	20.49	0.00	22.40
Polveri sottili (PM_{10})	0.78	0.01	4.57	0.50	0.19	6.05

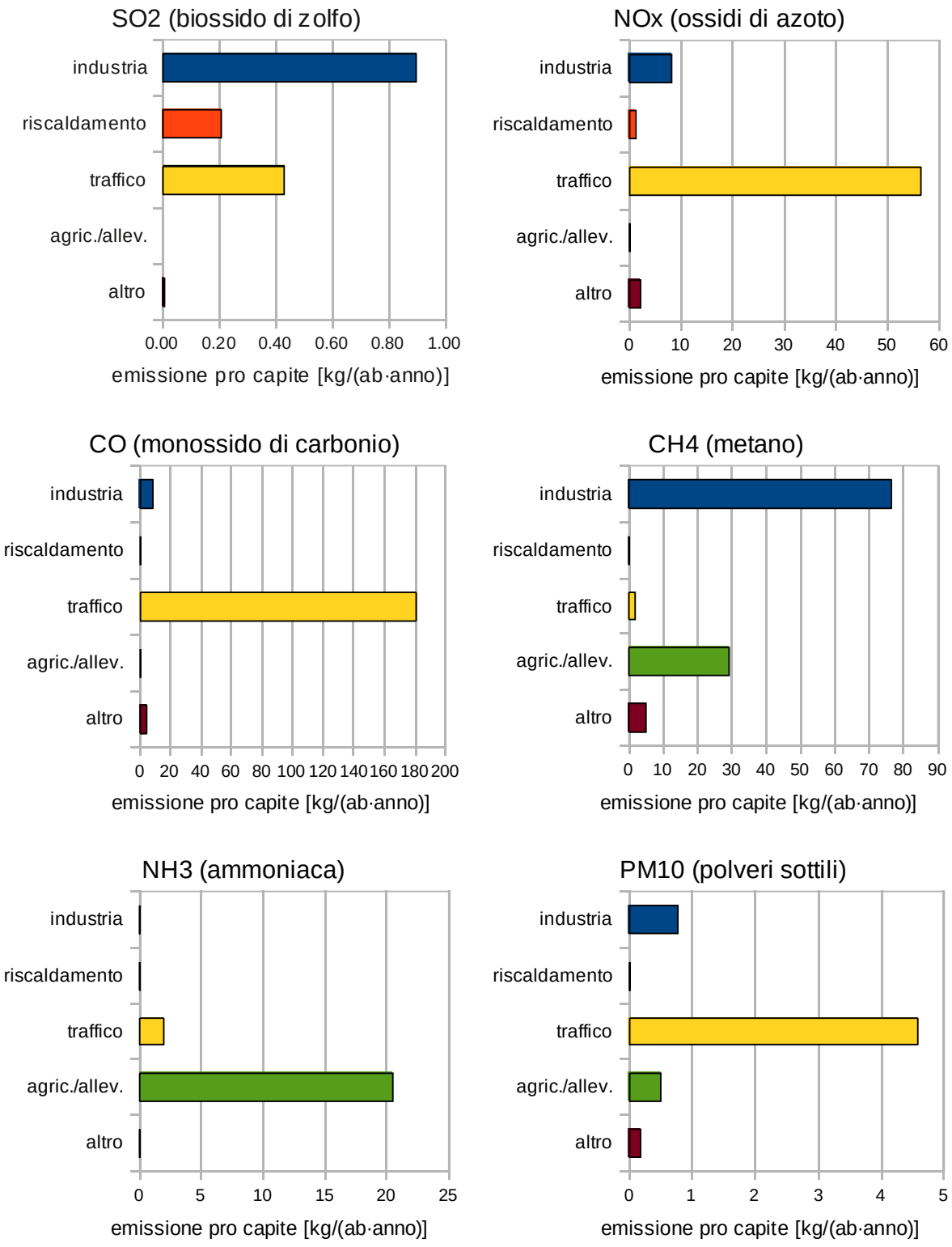
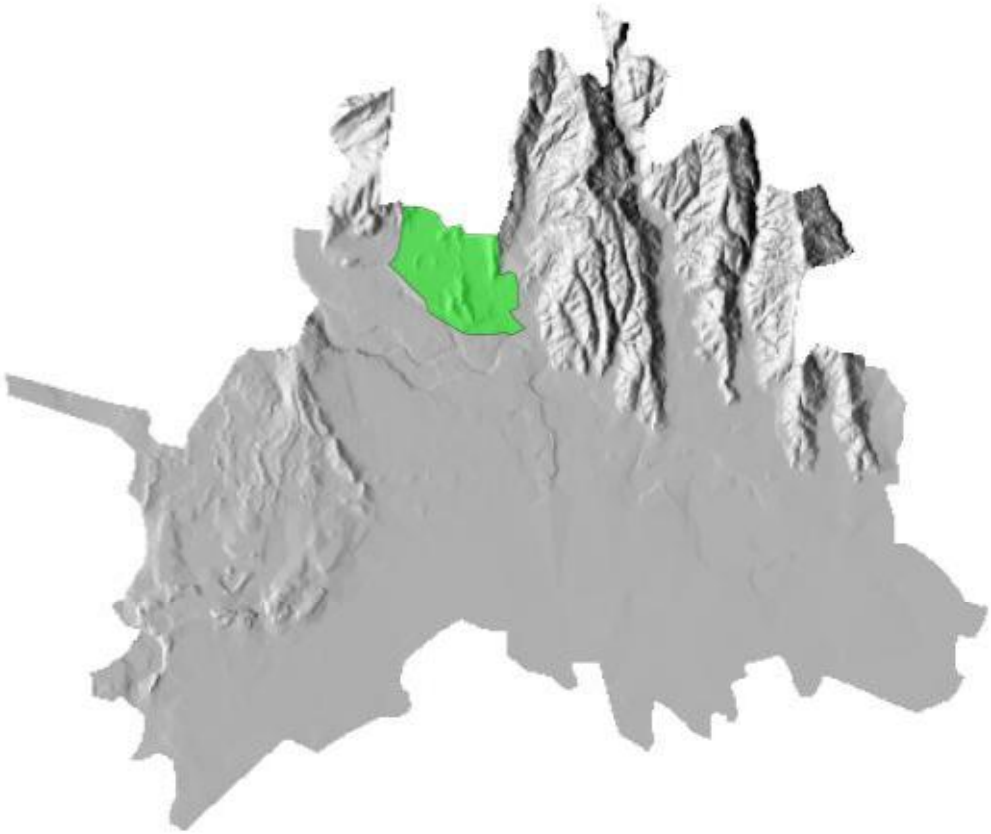


Figura 5-10: Emissioni pro capite per il Comune di San Martino Buon Albergo.

Tabella 5-20: Azioni possibili per il Comune di San Martino Buon Albergo.

AZIONE GENERALE	DESCRIZIONE OBIETTIVO	ACCESSIBILITÀ INFORMAZIONI	EFFICACIA
Trasporto urbano sostenibile: riduzione impatto mezzi privati	Passaggio da trasporto privato a trasporto pubblico	bassa	alta
	Adeguamento mezzi trasporto pubblico locale	alta	bassa
	Fluidificazione e regolazione della circolazione	media	media
	Definizione di corsie preferenziali	alta	media
	Rinnovo parco auto	media	bassa
	Aumento ZTL	alta	bassa
	Aumento aree pedonali	alta	bassa
	Aumento percorsi ciclo pedonali	alta	bassa
	Incentivazione ciclabilità	bassa	bassa
	Organizzazione di trasporti collettivi per i bambini che vanno a scuola	media	bassa
Riduzione dell'impatto dei mezzi commerciali	Governo accessi	alta	media
	Trasformazione o sostituzione mezzi commerciali	alta	media
	Limitazione del transito di mezzi pesanti in area urbana	media	alta
Riduzione dell'impatto degli impianti civili	Trasformazione e sostituzione degli impianti	bassa	media
	Miglioramento del rendimento energetico	media	media
	Osservanza di norme di contenimento energetico	bassa	media
	Incentivazione uso di energie rinnovabili	media	media
Riduzione impatto delle attività produttive	Riconversione e trasformazione mezzi di trasporto	media	bassa
	Piattaforme di interscambio merci	media	media
	Adozione BAT negli impianti produttivi	alta	alta
Applicazione misure programmate di limitazione traffico	Limitazione alla circolazione veicoli inquinanti	bassa	media
	Blocchi totali del traffico (es. Domeniche ecologiche)	bassa	bassa
Comunicazione e accordi	Comunicazione verso la cittadinanza, operatori economici, imprese	bassa	alta
	Stipula di accordi	media	alta

5.11 SAN PIETRO IN CARIANO

Comune di SAN PIETRO IN CARIANO			
Dati generali			
Abitanti	12484	Superficie [km^2]	20.24
Area climatologica	collina	edificata	23.1%
Stazioni meteorologiche di riferimento	Marano di Valpolicella San Pietro in Cariano	agricola	76.9%
Stazioni di qualità dell'aria di riferimento	Verona Corso Milano Verona Cason	boschiva	0.0%
		acque	0.1%
Localizzazione			
			
Fonti emissive analizzate *			
Numero di aziende	2	Lunghezza della rete stradale extraurbana [km]	61.13
Numero di allevamenti	0	Distanza globale percorsa annualmente [km]	$1.80 \cdot 10^8$

* sulla base dei dati pervenuti

Tabella 5-21: Emissioni totali annue, ripartizione percentuale tra i diversi settori e emissioni pro capite per il Comune di San Pietro in Cariano.

Emissioni totali annue [t/a]						
	Industria	Riscaldamento	Traffico	Agricoltura /allevamenti	Altro	Totale
Ossidi di zolfo (SO_x)	0.01	2.56	0.56	0.00	0.09	3.22
Ossidi di azoto (NO_x)	2.29	14.7	71.89	0.01	28.76	117.65
Monossido di carb. (CO)	24.93	6.86	223.33	0.17	54.97	310.26
Metano (CH_4)	18.41	0.93	2.28	0.00	18.50	40.12
Ammoniaca (NH_3)	17.52	0.00	2.35	2.93	0.01	22.81
Polveri sottili (PM_{10})	5.26	0.18	5.93	0.00	1.50	12.87
Ripartizione percentuale delle emissioni						
	Industria	Riscaldamento	Traffico	Agricoltura /allevamenti	Altro	Totale
Ossidi di zolfo (SO_x)	0.3%	79.5%	17.3%	0.0%	2.8%	100.0%
Ossidi di azoto (NO_x)	1.9%	12.5%	61.1%	0.0%	24.4%	100.0%
Monossido di carb. (CO)	8.0%	2.2%	72.0%	0.1%	17.7%	100.0%
Metano (CH_4)	45.9%	2.3%	5.7%	0.0%	46.1%	100.0%
Ammoniaca (NH_3)	76.8%	0.0%	10.3%	12.8%	0.0%	100.0%
Polveri sottili (PM_{10})	40.9%	1.4%	46.1%	0.0%	11.7%	100.0%
Emissioni annue pro capite [kg/(a · ab)]						
	Industria	Riscaldamento	Traffico	Agricoltura /allevamenti	Altro	Totale
Ossidi di zolfo (SO_x)	0.00	0.21	0.04	0.00	0.01	0.26
Ossidi di azoto (NO_x)	0.18	1.18	5.76	0.00	2.30	9.42
Monossido di carb. (CO)	2.00	0.55	17.89	0.01	4.40	24.85
Metano (CH_4)	1.47	0.07	0.18	0.00	1.48	3.20
Ammoniaca (NH_3)	1.40	0.00	0.19	0.23	0.00	1.82
Polveri sottili (PM_{10})	0.42	0.01	0.47	0.00	0.12	1.02

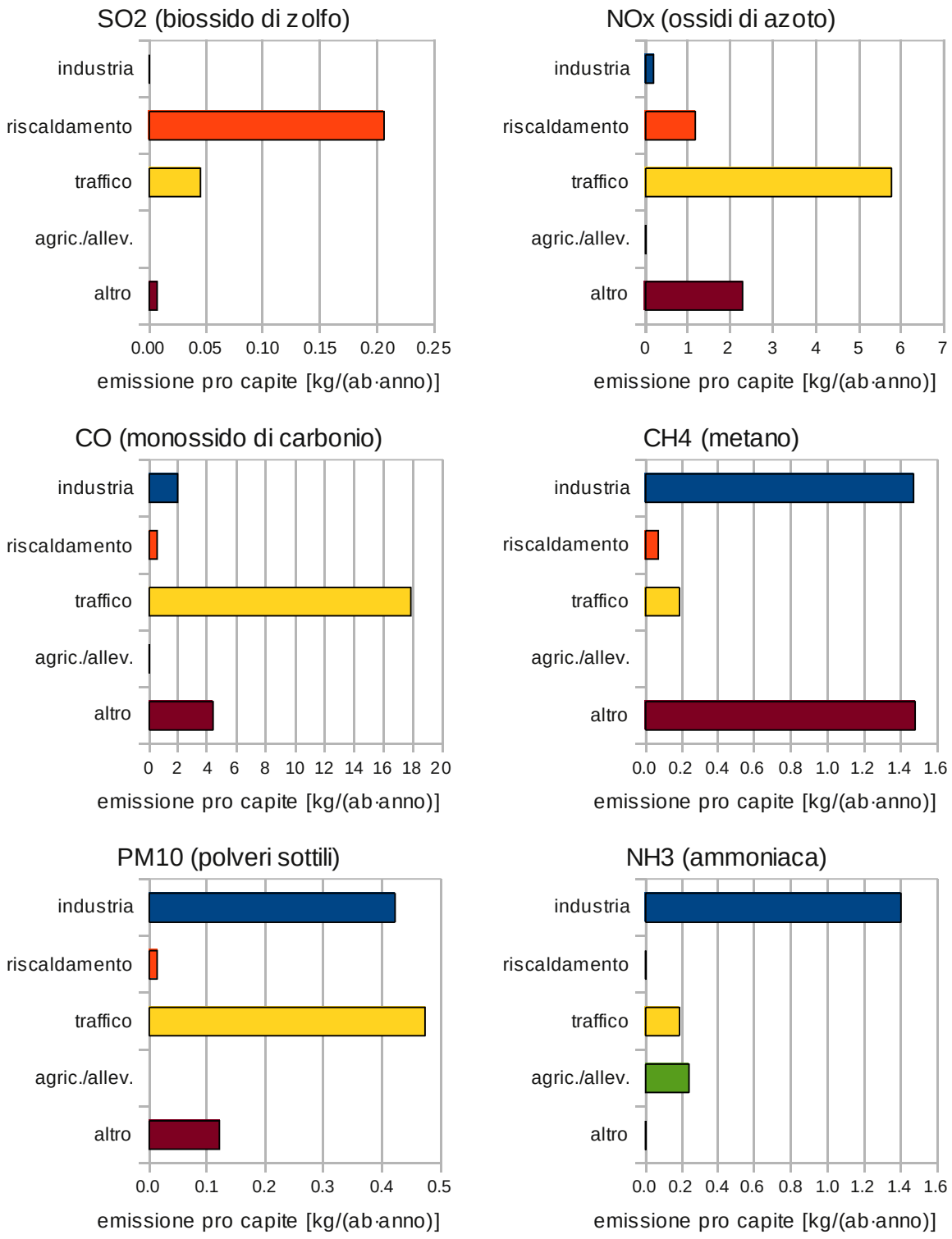
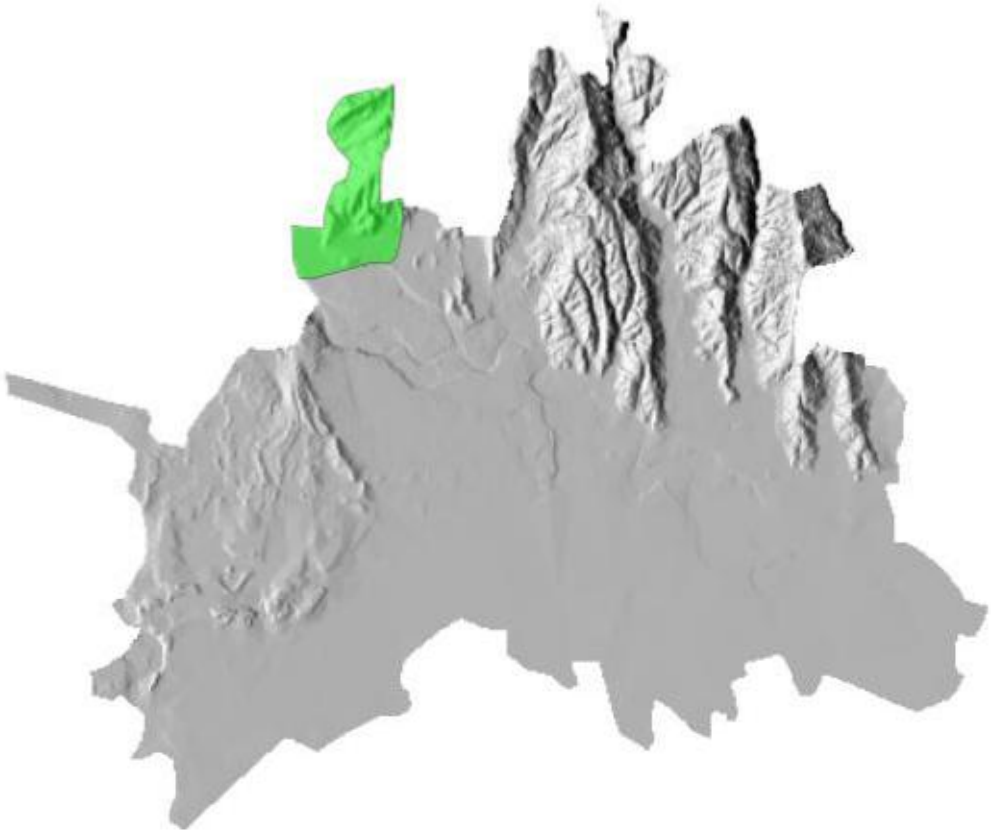


Figura 5-11: Emissioni pro capite per il Comune di San Pietro in Cariano.

Tabella 5-22: Azioni possibili per il Comune di San Pietro in Cariano.

AZIONE GENERALE	DESCRIZIONE OBIETTIVO	ACCESSIBILITÀ INFORMAZIONI	EFFICACIA
Trasporto urbano sostenibile: riduzione impatto mezzi privati	Passaggio da trasporto privato a trasporto pubblico	bassa	media
	Adeguamento mezzi trasporto pubblico locale	alta	bassa
	Fluidificazione e regolazione della circolazione	media	media
	Definizione di corsie preferenziali	alta	bassa
	Rinnovo parco auto	media	bassa
	Aumento ZTL	alta	bassa
	Aumento aree pedonali	alta	bassa
	Aumento percorsi ciclo pedonali	alta	bassa
	Incentivazione ciclabilità	bassa	bassa
	Organizzazione di trasporti collettivi per i bambini che vanno a scuola	media	bassa
Riduzione dell'impatto dei mezzi commerciali	Governo accessi	alta	media
	Trasformazione o sostituzione mezzi commerciali	alta	media
	Limitazione del transito di mezzi pesanti in area urbana	media	alta
Riduzione dell'impatto degli impianti civili	Trasformazione e sostituzione degli impianti	bassa	media
	Miglioramento del rendimento energetico	media	media
	Osservanza di norme di contenimento energetico	bassa	media
	Incentivazione uso di energie rinnovabili	media	media
Riduzione impatto delle attività produttive	Riconversione e trasformazione mezzi di trasporto	media	bassa
	Piattaforme di interscambio merci	media	bassa
	Adozione BAT negli impianti produttivi	alta	media
Applicazione misure programmate di limitazione traffico	Limitazione alla circolazione veicoli inquinanti	bassa	media
	Blocchi totali del traffico (es. Domeniche ecologiche)	bassa	bassa
Comunicazione e accordi	Comunicazione verso la cittadinanza, operatori economici, imprese	bassa	alta
	Stipula di accordi	media	alta

5.12 SANT'AMBROGIO DI VALPOLICELLA

Comune di SANT'AMBROGIO DI VALPOLICELLA			
Dati generali			
Abitanti	9681	Superficie [km^2]	23.44
Area climatologica	collina	edificata	18.3%
Stazioni meteorologiche di riferimento	Marano di Valpolicella San Pietro in Cariano	agricola	47.9%
Stazioni di qualità dell'aria di riferimento	Verona Corso Milano Verona Cason	boschiva	33.8%
		acque	0.0%
Localizzazione			
			
Fonti emissive analizzate *			
Numero di aziende	14	Lunghezza della rete stradale extraurbana [km]	74.73
Numero di allevamenti	7	Distanza globale percorsa annualmente [km]	$1.18 \cdot 10^8$

* sulla base dei dati pervenuti

Tabella 5-23 - Emissioni totali annue, ripartizione percentuale tra i diversi settori e emissioni pro capite per il Comune di Sant'Ambrogio di Valpolicella.

Emissioni totali annue [t/a]						
	Industria	Riscaldamento	Traffico	Agricoltura /allevamenti	Altro	Totale
Ossidi di zolfo (SO_x)	0.19	1.99	0.37	0.00	0.09	2.64
Ossidi di azoto (NO_x)	3.17	11.4	47.27	0.01	30.24	92.09
Monossido di carb. (CO)	11.94	5.32	146.85	0.15	41.60	205.86
Metano (CH_4)	5.96	0.72	1.50	160.33	2.26	170.77
Ammoniaca (NH_3)	0.00	0.00	1.55	90.39	0.01	91.95
Polveri sottili (PM_{10})	19.39	0.14	3.90	0.88	2.26	26.57
Ripartizione percentuale delle emissioni						
	Industria	Riscaldamento	Traffico	Agricoltura /allevamenti	Altro	Totale
Ossidi di zolfo (SO_x)	7.2%	75.4%	13.9%	0.0%	3.5%	100.0%
Ossidi di azoto (NO_x)	3.4%	12.4%	51.3%	0.0%	32.8%	100.0%
Monossido di carb. (CO)	5.8%	2.6%	71.3%	0.1%	20.2%	100.0%
Metano (CH_4)	3.5%	0.4%	0.9%	93.9%	1.3%	100.0%
Ammoniaca (NH_3)	0.0%	0.0%	1.7%	98.3%	0.0%	100.0%
Polveri sottili (PM_{10})	73.0%	0.5%	14.7%	3.3%	8.5%	100.0%
Emissioni annue pro capite [kg/(a · ab)]						
	Industria	Riscaldamento	Traffico	Agricoltura /allevamenti	Altro	Totale
Ossidi di zolfo (SO_x)	0.02	0.21	0.04	0.00	0.01	0.28
Ossidi di azoto (NO_x)	0.33	1.18	4.88	0.00	3.12	9.51
Monossido di carb. (CO)	1.23	0.55	15.17	0.02	4.30	21.27
Metano (CH_4)	0.62	0.07	0.15	16.56	0.23	17.63
Ammoniaca (NH_3)	0.00	0.00	0.16	9.34	0.00	9.50
Polveri sottili (PM_{10})	2.00	0.01	0.40	0.09	0.23	2.73

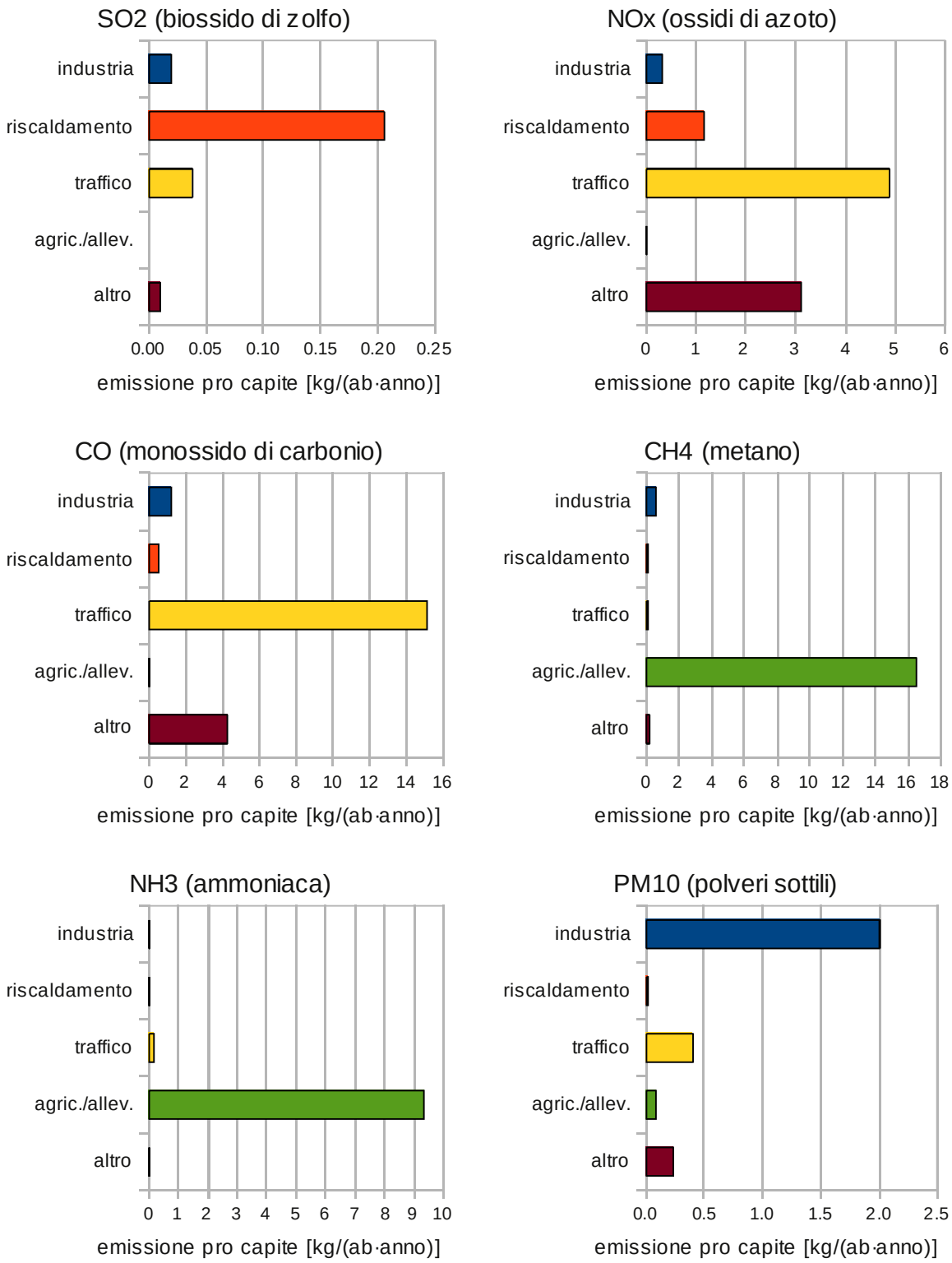
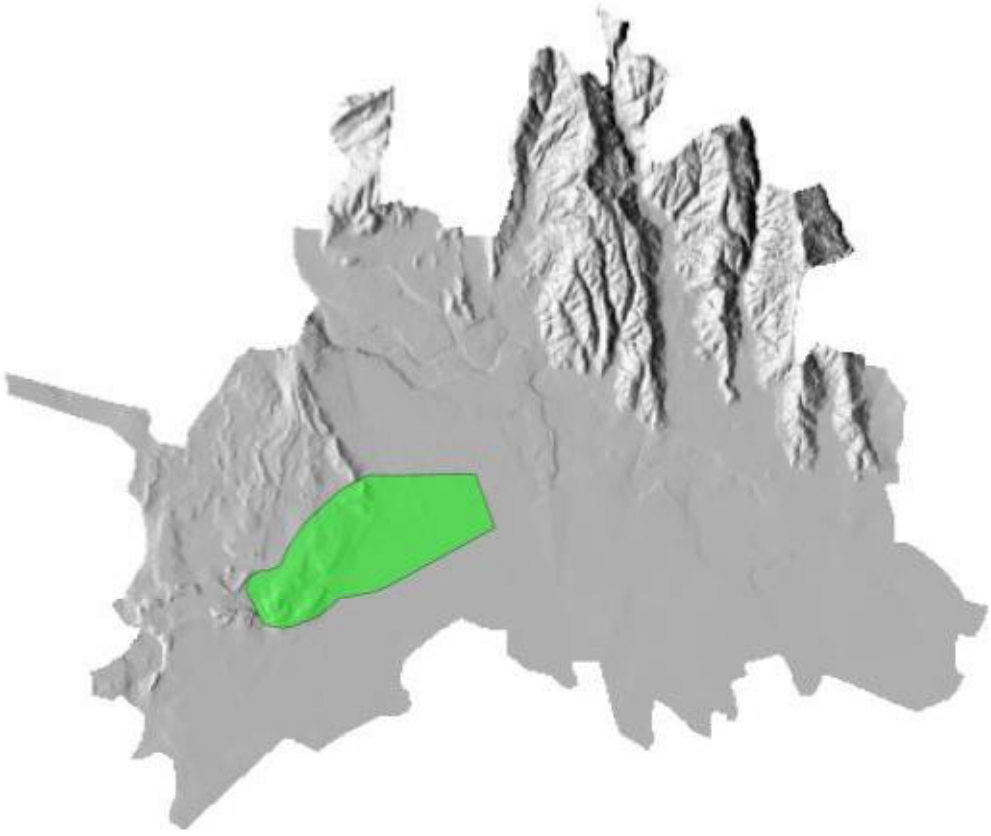


Figura 5-12: Emissioni pro capite per il Comune di Sant'Ambrogio di Valpolicella.

Tabella 5-24: Azioni possibili per il Comune di Sant'Ambrogio di Valpolicella.

AZIONE GENERALE	DESCRIZIONE OBIETTIVO	ACCESSIBILITÀ INFORMAZIONI	EFFICACIA
Trasporto urbano sostenibile: riduzione impatto mezzi privati	Passaggio da trasporto privato a trasporto pubblico	bassa	alta
	Adeguamento mezzi trasporto pubblico locale	alta	media
	Fluidificazione e regolazione della circolazione	media	media
	Definizione di corsie preferenziali	alta	bassa
	Rinnovo parco auto	media	bassa
	Aumento ZTL	alta	bassa
	Aumento aree pedonali	alta	bassa
	Aumento percorsi ciclo pedonali	alta	bassa
	Incentivazione ciclabilità	bassa	bassa
	Organizzazione di trasporti collettivi per i bambini che vanno a scuola	media	bassa
Riduzione dell'impatto dei mezzi commerciali	Governo accessi	alta	media
	Trasformazione o sostituzione mezzi commerciali	alta	media
	Limitazione del transito di mezzi pesanti in area urbana	media	alta
Riduzione dell'impatto degli impianti civili	Trasformazione e sostituzione degli impianti	bassa	media
	Miglioramento del rendimento energetico	media	media
	Osservanza di norme di contenimento energetico	bassa	media
	Incentivazione uso di energie rinnovabili	media	media
Riduzione impatto delle attività produttive	Riconversione e trasformazione mezzi di trasporto	media	media
	Piattaforme di interscambio merci	media	media
	Adozione BAT negli impianti produttivi	alta	alta
Applicazione misure programmate di limitazione traffico	Limitazione alla circolazione veicoli inquinanti	bassa	media
	Blocchi totali del traffico (es. Domeniche ecologiche)	bassa	bassa
Comunicazione e accordi	Comunicazione verso la cittadinanza, operatori economici, imprese	bassa	alta
	Stipula di accordi	media	alta

5.13 SOMMACAMPAGNA

Comune di SOMMACAMPAGNA			
Dati generali			
Abitanti	13001	Superficie [km^2]	40.69
Area climatologica	pianura	edificata	19.9%
Stazioni meteorologiche di riferimento	Castelnuovo del Garda Villafranca di Verona Valeggio sul Mincio	agricola	79.3%
Stazioni di qualità dell'aria di riferimento	Villafranca di Verona Verona Corso Milano Verona Cason	boschiva	0.8%
		acque	0.0%
Localizzazione			
			
Fonti emissive analizzate *			
Numero di aziende	3	Lunghezza della rete stradale extraurbana [km]	331.56
Numero di allevamenti	81	Distanza globale percorsa annualmente [km]	$1.18 \cdot 10^9$

* sulla base dei dati pervenuti

Tabella 5-25: Emissioni totali annue, ripartizione percentuale tra i diversi settori e emissioni pro capite per il Comune di Sommacampagna.

Emissioni totali annue [t/a]						
	Industria	Riscaldamento	Traffico	Agricoltura /allevamenti	Altro	Totale
Ossidi di zolfo (SO_x)	48.95	2.67	3.39	0.00	0.78	55.79
Ossidi di azoto (NO_x)	32.86	15.31	453.07	0.04	97.00	598.28
Monossido di carb. (CO)	139.47	7.15	1502.40	1.26	155.00	1805.28
Metano (CH_4)	474.00	0.97	14.12	989.74	7.52	1486.35
Ammoniaca (NH_3)	0.00	0.00	15.82	624.57	0.01	640.4
Polveri sottili (PM_{10})	31.93	0.18	36.26	8.42	4.09	80.88
Ripartizione percentuale delle emissioni						
	Industria	Riscaldamento	Traffico	Agricoltura /allevamenti	Altro	Totale
Ossidi di zolfo (SO_x)	87.8%	4.8%	6.1%	0.0%	1.4%	100.0%
Ossidi di azoto (NO_x)	5.5%	2.6%	75.7%	0.0%	16.2%	100.0%
Monossido di carb. (CO)	7.7%	0.4%	83.2%	0.1%	8.6%	100.0%
Metano (CH_4)	31.9%	0.1%	0.9%	66.6%	0.5%	100.0%
Ammoniaca (NH_3)	0.0%	0.0%	2.5%	97.5%	0.0%	100.0%
Polveri sottili (PM_{10})	39.5%	0.2%	44.8%	10.4%	5.1%	100.0%
Emissioni annue pro capite [kg/(a · ab)]						
	Industria	Riscaldamento	Traffico	Agricoltura /allevamenti	Altro	Totale
Ossidi di zolfo (SO_x)	3.77	0.21	0.26	0.00	0.06	4.30
Ossidi di azoto (NO_x)	2.53	1.18	34.85	0.00	7.46	46.02
Monossido di carb. (CO)	10.73	0.55	115.56	0.10	11.92	138.86
Metano (CH_4)	36.46	0.07	1.09	76.13	0.58	114.33
Ammoniaca (NH_3)	0.00	0.00	1.22	48.04	0.00	49.26
Polveri sottili (PM_{10})	2.46	0.01	2.79	0.65	0.31	6.22

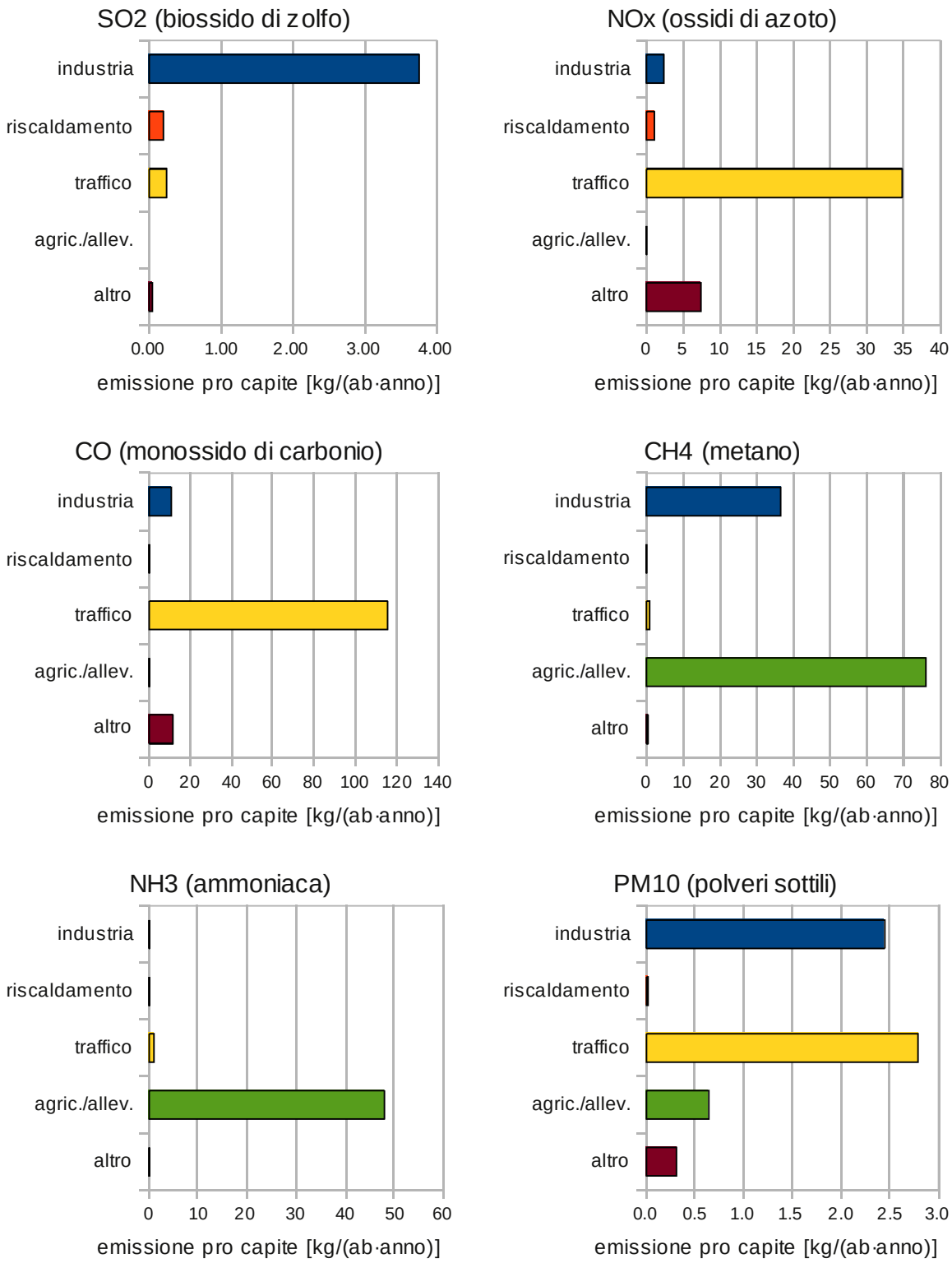
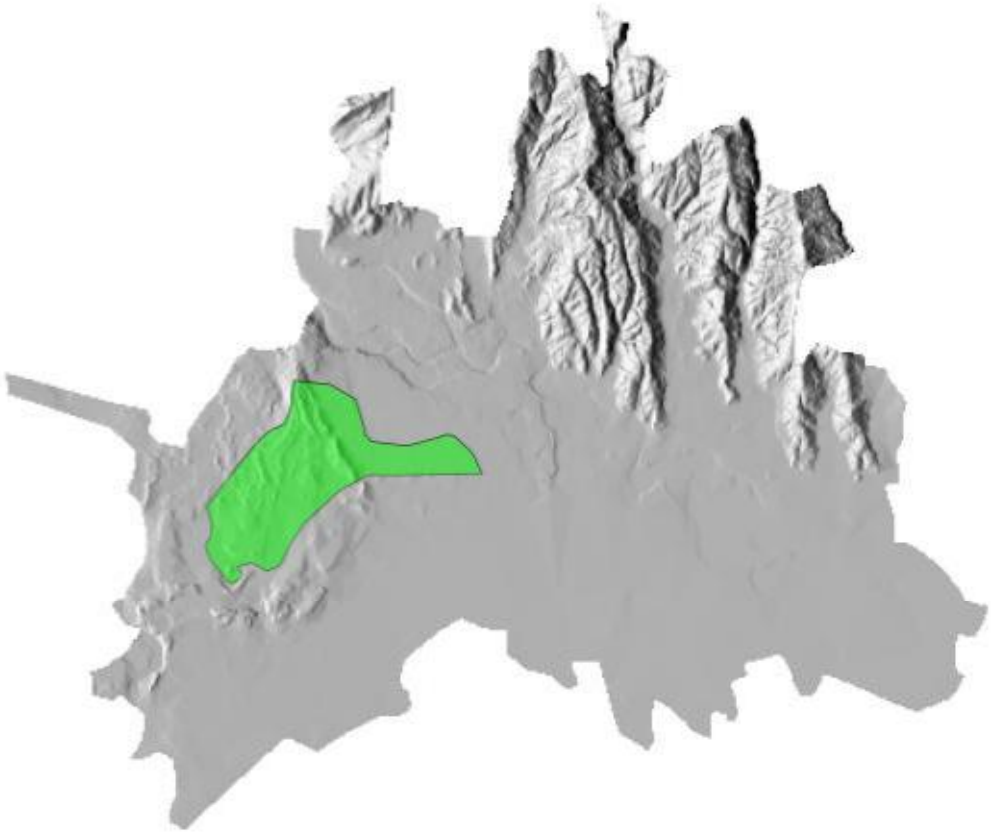


Figura 5-13: Emissioni pro capite per il Comune di Sommacampagna.

Tabella 5-26: Azioni possibili per il Comune di Sommacampagna.

AZIONE GENERALE	DESCRIZIONE OBIETTIVO	ACCESSIBILITÀ INFORMAZIONI	EFFICACIA
Trasporto urbano sostenibile: riduzione impatto mezzi privati	Passaggio da trasporto privato a trasporto pubblico	bassa	media
	Adeguamento mezzi trasporto pubblico locale	alta	bassa
	Fluidificazione e regolazione della circolazione	media	bassa
	Definizione di corsie preferenziali	alta	bassa
	Rinnovo parco auto	media	bassa
	Aumento ZTL	alta	bassa
	Aumento aree pedonali	alta	bassa
	Aumento percorsi ciclo pedonali	alta	bassa
	Incentivazione ciclabilità	bassa	bassa
	Organizzazione di trasporti collettivi per i bambini che vanno a scuola	media	bassa
Riduzione dell'impatto dei mezzi commerciali	Governo accessi	alta	media
	Trasformazione o sostituzione mezzi commerciali	alta	media
	Limitazione del transito di mezzi pesanti in area urbana	media	alta
Riduzione dell'impatto degli impianti civili	Trasformazione e sostituzione degli impianti	bassa	media
	Miglioramento del rendimento energetico	media	media
	Osservanza di norme di contenimento energetico	bassa	media
	Incentivazione uso di energie rinnovabili	media	media
Riduzione impatto delle attività produttive	Riconversione e trasformazione mezzi di trasporto	media	bassa
	Piattaforme di interscambio merci	media	bassa
	Adozione BAT negli impianti produttivi	alta	alta
Applicazione misure programmate di limitazione traffico	Limitazione alla circolazione veicoli inquinanti	bassa	media
	Blocchi totali del traffico (es. Domeniche ecologiche)	bassa	bassa
Comunicazione e accordi	Comunicazione verso la cittadinanza, operatori economici, imprese	bassa	alta
	Stipula di accordi	media	alta

5.14 SONA

Comune di SONA			
Dati generali			
Abitanti	14275	Superficie [km^2]	41.26
Area climatologica	collina	edificata	11.3%
Stazioni meteorologiche di riferimento	Castelnuovo del Garda Valeggio sul Mincio Verona via Dominutti	agricola	88.7%
Stazioni di qualità dell'aria di riferimento	Verona Corso Milano Verona Cason	boschiva	0.0%
		acque	0.0%
Localizzazione			
			
Fonti emissive analizzate *			
Numero di aziende	12	Lunghezza della rete stradale extraurbana [km]	165.91
Numero di allevamenti	84	Distanza globale percorsa annualmente [km]	$1.39 \cdot 10^9$

* sulla base dei dati pervenuti

Tabella 5-27: Emissioni totali annue, ripartizione percentuale tra i diversi settori e emissioni pro capite per il Comune di Sona.

Emissioni totali annue [t/a]						
	Industria	Riscaldamento	Traffico	Agricoltura /allevamenti	Altro	Totale
Ossidi di zolfo (SO_x)	0.47	2.93	4.00	0.00	0.11	7.51
Ossidi di azoto (NO_x)	43.8	16.81	534.32	0.04	52.5	647.47
Monossido di carb. (CO)	49.74	7.85	1768.86	1.03	144.00	1971.48
Metano (CH_4)	189.26	1.06	16.66	466.86	21.22	695.06
Ammoniaca (NH_3)	0.00	0.00	18.63	390.62	0.01	409.26
Polveri sottili (PM_{10})	20.80	0.20	42.80	9.09	3.61	76.50
Ripartizione percentuale delle emissioni						
	Industria	Riscaldamento	Traffico	Agricoltura /allevamenti	Altro	Totale
Ossidi di zolfo (SO_x)	6.2%	39.0%	53.2%	0.0%	1.5%	100.0%
Ossidi di azoto (NO_x)	6.8%	2.6%	82.5%	0.0%	8.1%	100.0%
Monossido di carb. (CO)	2.5%	0.4%	89.7%	0.1%	7.3%	100.0%
Metano (CH_4)	27.2%	0.2%	2.4%	67.2%	3.1%	100.0%
Ammoniaca (NH_3)	0.0%	0.0%	4.6%	95.4%	0.0%	100.0%
Polveri sottili (PM_{10})	27.2%	0.3%	55.9%	11.9%	4.7%	100.0%
Emissioni annue pro capite [kg/(a · ab)]						
	Industria	Riscaldamento	Traffico	Agricoltura /allevamenti	Altro	Totale
Ossidi di zolfo (SO_x)	0.03	0.21	0.28	0.00	0.01	0.53
Ossidi di azoto (NO_x)	3.07	1.18	37.43	0.00	3.68	45.36
Monossido di carb. (CO)	3.48	0.55	123.91	0.07	10.09	138.1
Metano (CH_4)	13.26	0.07	1.17	32.70	1.49	48.69
Ammoniaca (NH_3)	0.00	0.00	1.30	27.36	0.00	28.66
Polveri sottili (PM_{10})	1.46	0.01	3.00	0.64	0.25	5.36

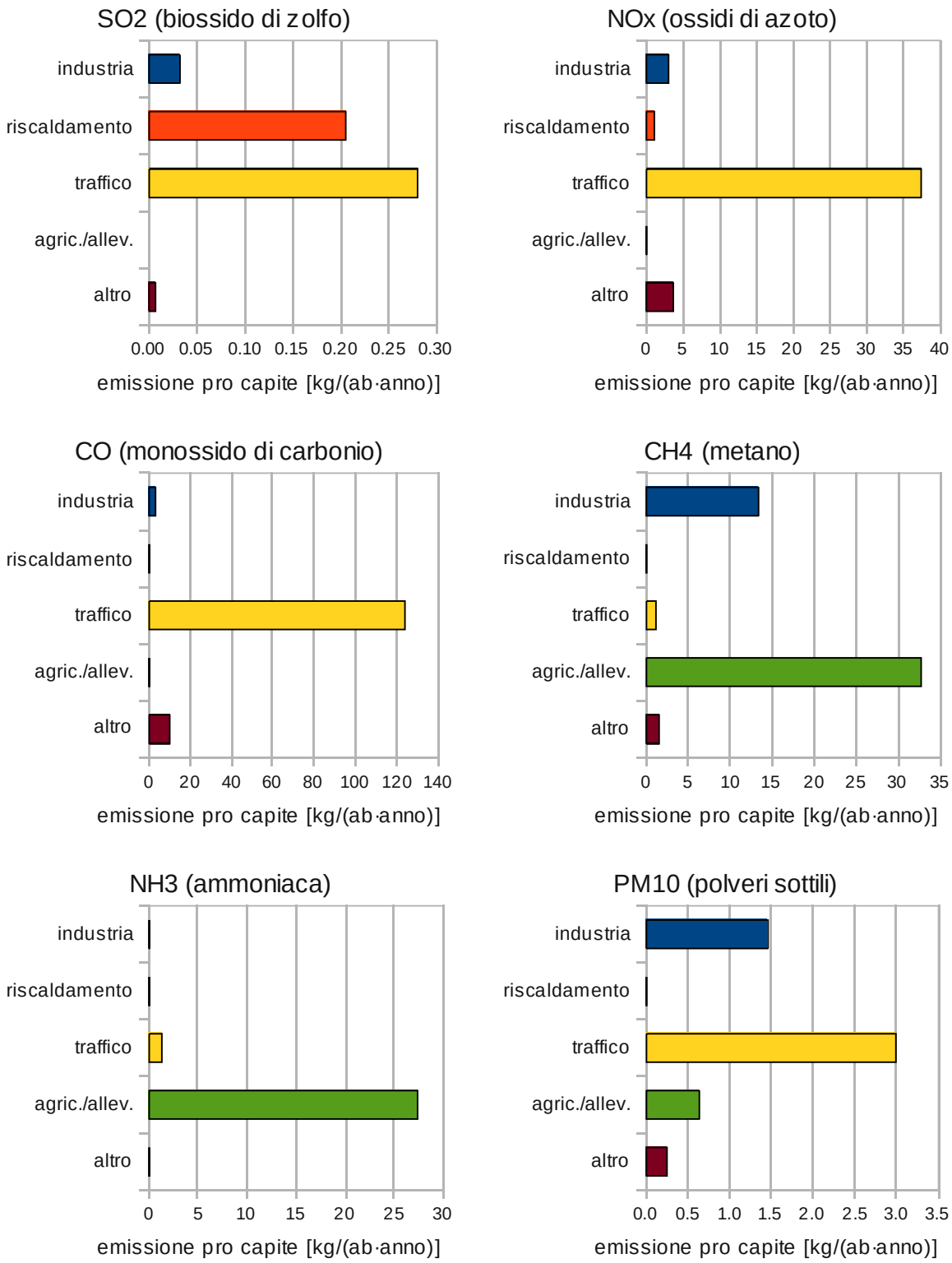
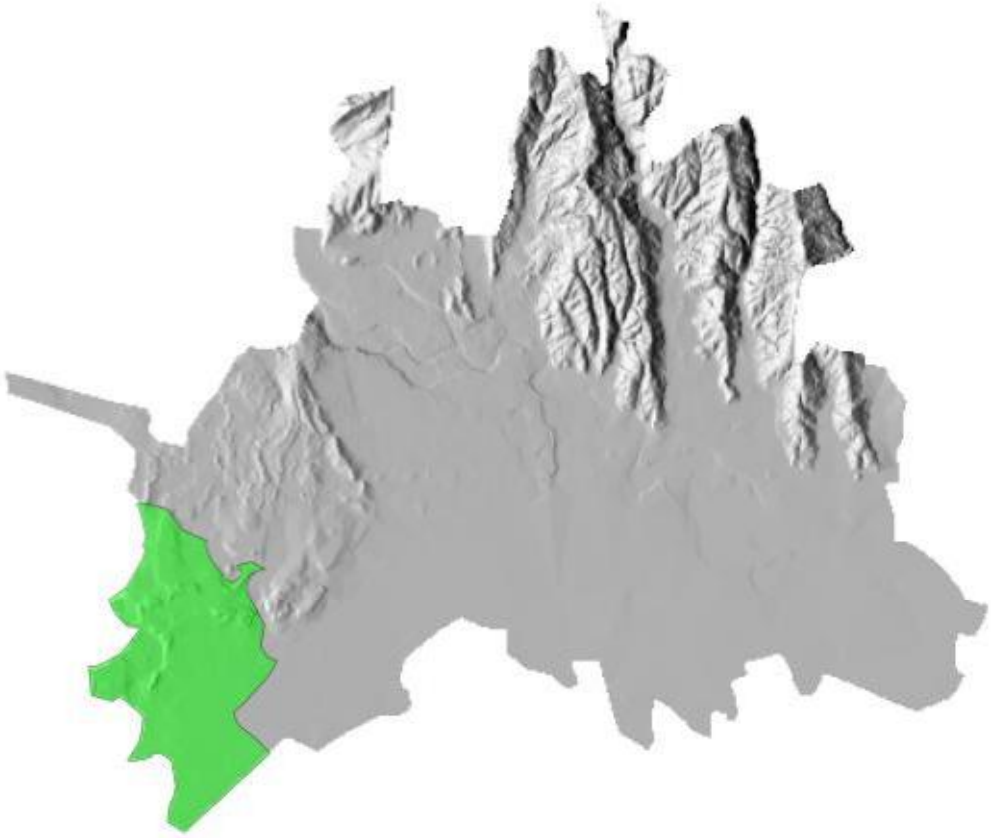


Figura 5-14: Emissioni pro capite per il Comune di Sona.

Tabella 5-28: Azioni possibili per il Comune di Sona.

AZIONE GENERALE	DESCRIZIONE OBIETTIVO	ACCESSIBILITÀ INFORMAZIONI	EFFICACIA
Trasporto urbano sostenibile: riduzione impatto mezzi privati	Passaggio da trasporto privato a trasporto pubblico	bassa	alta
	Adeguamento mezzi trasporto pubblico locale	alta	bassa
	Fluidificazione e regolazione della circolazione	media	media
	Definizione di corsie preferenziali	alta	bassa
	Rinnovo parco auto	media	bassa
	Aumento ZTL	alta	bassa
	Aumento aree pedonali	alta	bassa
	Aumento percorsi ciclo pedonali	alta	bassa
	Incentivazione ciclabilità	bassa	bassa
	Organizzazione di trasporti collettivi per i bambini che vanno a scuola	media	bassa
Riduzione dell'impatto dei mezzi commerciali	Governo accessi	alta	media
	Trasformazione o sostituzione mezzi commerciali	alta	media
	Limitazione del transito di mezzi pesanti in area urbana	media	alta
Riduzione dell'impatto degli impianti civili	Trasformazione e sostituzione degli impianti	bassa	media
	Miglioramento del rendimento energetico	media	media
	Osservanza di norme di contenimento energetico	bassa	media
	Incentivazione uso di energie rinnovabili	media	media
Riduzione impatto delle attività produttive	Riconversione e trasformazione mezzi di trasporto	media	bassa
	Piattaforme di interscambio merci	media	bassa
	Adozione BAT negli impianti produttivi	alta	alta
Applicazione misure programmate di limitazione traffico	Limitazione alla circolazione veicoli inquinanti	bassa	media
	Blocchi totali del traffico (es. Domeniche ecologiche)	bassa	bassa
Comunicazione e accordi	Comunicazione verso la cittadinanza, operatori economici, imprese	bassa	alta
	Stipula di accordi	media	alta

5.15 VALEGGIO SUL MINCIO

Comune di VALEGGIO SUL MINCIO			
Dati generali			
Abitanti	10941	Superficie [km^2]	63.60
Area climatologica	PIANURA	edificata	5.8%
Stazioni meteorologiche di riferimento	Valeggio sul Mincio	agricola	92.2%
Stazioni di qualità dell'aria di riferimento	Villafranca di verona Verona Corso Milano Verona Cason	boschiva	2.0%
		acque	0.0%
Localizzazione			
			
Fonti emissive analizzate *			
Numero di aziende	0	Lunghezza della rete stradale extraurbana [km]	79.42
Numero di allevamenti	148	Distanza globale percorsa annualmente [km]	$2.34 \cdot 10^8$

* sulla base dei dati pervenuti

Tabella 5-29: Emissioni totali annue, ripartizione percentuale tra i diversi settori e emissioni pro capite per il Comune di Valeggio sul Mincio.

Emissioni totali annue [t/a]						
	Industria	Riscaldamento	Traffico	Agricoltura /allevamenti	Altro	Totale
Ossidi di zolfo (SO_x)	0.02	2.25	0.72	0.00	0.11	3.10
Ossidi di azoto (NO_x)	5.95	12.89	93.48	0.08	37.91	150.31
Monossido di carb. (CO)	83.82	6.01	290.39	2.35	115.15	497.72
Metano (CH_4)	128.78	0.82	2.97	1692.43	128.81	1953.81
Ammoniaca (NH_3)	0.00	0.00	3.06	1038.34	0.01	1041.41
Polveri sottili (PM_{10})	5.78	0.15	7.71	16.16	4.55	34.35
Ripartizione percentuale delle emissioni						
	Industria	Riscaldamento	Traffico	Agricoltura /allevamenti	Altro	Totale
Ossidi di zolfo (SO_x)	0.6%	72.6%	23.4%	0.0%	3.4%	100.0%
Ossidi di azoto (NO_x)	4.0%	8.6%	62.2%	0.1%	25.2%	100.0%
Monossido di carb. (CO)	16.8%	1.2%	58.3%	0.5%	23.1%	100.0%
Metano (CH_4)	6.6%	0.0%	0.2%	86.6%	6.6%	100.0%
Ammoniaca (NH_3)	0.0%	0.0%	0.3%	99.7%	0.0%	100.0%
Polveri sottili (PM_{10})	16.8%	0.4%	22.4%	47.0%	13.3%	100.0%
Emissioni annue pro capite [kg/(a · ab)]						
	Industria	Riscaldamento	Traffico	Agricoltura /allevamenti	Altro	Totale
Ossidi di zolfo (SO_x)	0.00	0.21	0.07	0.00	0.01	0.29
Ossidi di azoto (NO_x)	0.54	1.18	8.54	0.01	3.46	13.73
Monossido di carb. (CO)	7.66	0.55	26.54	0.21	10.52	45.48
Metano (CH_4)	11.77	0.07	0.27	154.69	11.77	178.57
Ammoniaca (NH_3)	0.00	0.00	0.28	94.90	0.00	95.18
Polveri sottili (PM_{10})	0.53	0.01	0.70	1.48	0.42	3.14

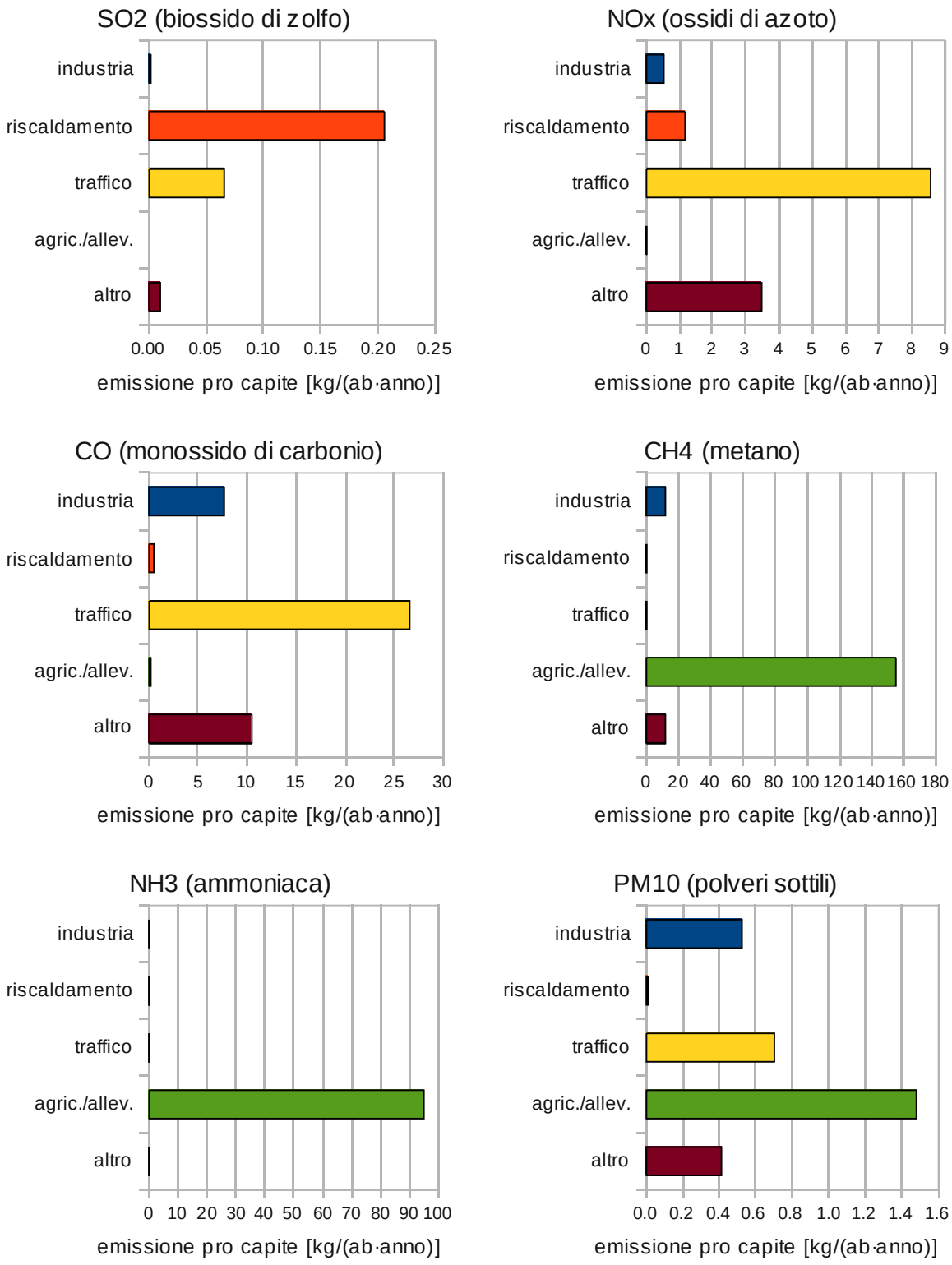


Figura 5-15: Emissioni pro capite per il Comune di Valeggio sul Mincio.

Tabella 5-30: Azioni possibili per il Comune di Valeggio sul Mincio.

AZIONE GENERALE	DESCRIZIONE OBIETTIVO	ACCESSIBILITÀ INFORMAZIONI	EFFICACIA
Trasporto urbano sostenibile: riduzione impatto mezzi privati	Passaggio da trasporto privato a trasporto pubblico	bassa	media
	Adeguamento mezzi trasporto pubblico locale	alta	bassa
	Fluidificazione e regolazione della circolazione	media	bassa
	Definizione di corsie preferenziali	alta	bassa
	Rinnovo parco auto	media	bassa
	Aumento ZTL	alta	bassa
	Aumento aree pedonali	alta	bassa
	Aumento percorsi ciclo pedonali	alta	bassa
	Incentivazione ciclabilità	bassa	bassa
	Organizzazione di trasporti collettivi per i bambini che vanno a scuola	media	media
Riduzione dell'impatto dei mezzi commerciali	Governo accessi	alta	media
	Trasformazione o sostituzione mezzi commerciali	alta	media
	Limitazione del transito di mezzi pesanti in area urbana	media	alta
Riduzione dell'impatto degli impianti civili	Trasformazione e sostituzione degli impianti	bassa	media
	Miglioramento del rendimento energetico	media	media
	Osservanza di norme di contenimento energetico	bassa	media
	Incentivazione uso di energie rinnovabili	media	media
Riduzione impatto delle attività produttive	Riconversione e trasformazione mezzi di trasporto	media	bassa
	Piattaforme di interscambio merci	media	media
	Adozione BAT negli impianti produttivi	alta	alta
Applicazione misure programmate di limitazione traffico	Limitazione alla circolazione veicoli inquinanti	bassa	media
	Blocchi totali del traffico (es. Domeniche ecologiche)	bassa	bassa
Comunicazione e accordi	Comunicazione verso la cittadinanza, operatori economici, imprese	bassa	alta
	Stipula di accordi	media	alta

5.16 VERONA

Comune di VERONA			
Dati generali			
Abitanti	253208	Superficie [km^2]	198.46
Area climatologica	pianura	edificata	25.0%
Stazioni meteorologiche di riferimento	Verona via Dominutti Villafranca di Verona	agricola	59.8%
Stazioni di qualità dell'aria di riferimento	Verona Corso Milano Verona Cason	boschiva	13.5%
		acque	1.7%
Localizzazione			
Fonti emissive analizzate *			
Numero di aziende	63	Lunghezza della rete stradale extraurbana [km]	1676.78
Numero di allevamenti	150	Distanza globale percorsa annualmente [km]	$4.09 \cdot 10^9$

* sulla base dei dati pervenuti

Tabella 5-31: Emissioni totali annue, ripartizione percentuale tra i diversi settori e emissioni pro capite per il Comune di Verona.

Emissioni totali annue [t/a]						
	Industria	Riscaldamento	Traffico	Agricoltura /allevamenti	Altro	Totale
Ossidi di zolfo (SO_x)	162.32	51.99	21.72	0.00	26.50	262.53
Ossidi di azoto (NO_x)	993.44	298.2	2833.27	0.11	165	4290.02
Monossido di carb. (CO)	814.43	139.20	8973.31	3.09	817.00	10747.03
Metano (CH_4)	1032.30	18.88	89.44	577.76	854.91	2573.29
Ammoniaca (NH_3)	14.19	0.00	94.54	500.47	0.09	609.29
Polveri sottili (PM_{10})	224.00	3.57	231.64	13.15	33.06	505.42
Ripartizione percentuale delle emissioni						
	Industria	Riscaldamento	Traffico	Agricoltura /allevamenti	Altro	Totale
Ossidi di zolfo (SO_x)	61.8%	19.8%	8.3%	0.0%	10.1%	100.0%
Ossidi di azoto (NO_x)	23.2%	7.0%	66.0%	0.0%	3.8%	100.0%
Monossido di carb. (CO)	7.6%	1.3%	83.5%	0.0%	7.6%	100.0%
Metano (CH_4)	40.1%	0.7%	3.5%	22.5%	33.2%	100.0%
Ammoniaca (NH_3)	2.3%	0.0%	15.5%	82.1%	0.0%	100.0%
Polveri sottili (PM_{10})	44.3%	0.7%	45.8%	2.6%	6.5%	100.0%
Emissioni annue pro capite [kg/(a · ab)]						
	Industria	Riscaldamento	Traffico	Agricoltura /allevamenti	Altro	Totale
Ossidi di zolfo (SO_x)	0.64	0.21	0.09	0.00	0.10	1.04
Ossidi di azoto (NO_x)	3.92	1.18	11.19	0.00	0.65	16.94
Monossido di carb. (CO)	3.22	0.55	35.44	0.01	3.23	42.45
Metano (CH_4)	4.08	0.07	0.35	2.28	3.38	10.16
Ammoniaca (NH_3)	0.06	0.00	0.37	1.98	0.00	2.41
Polveri sottili (PM_{10})	0.88	0.01	0.91	0.05	0.13	1.98

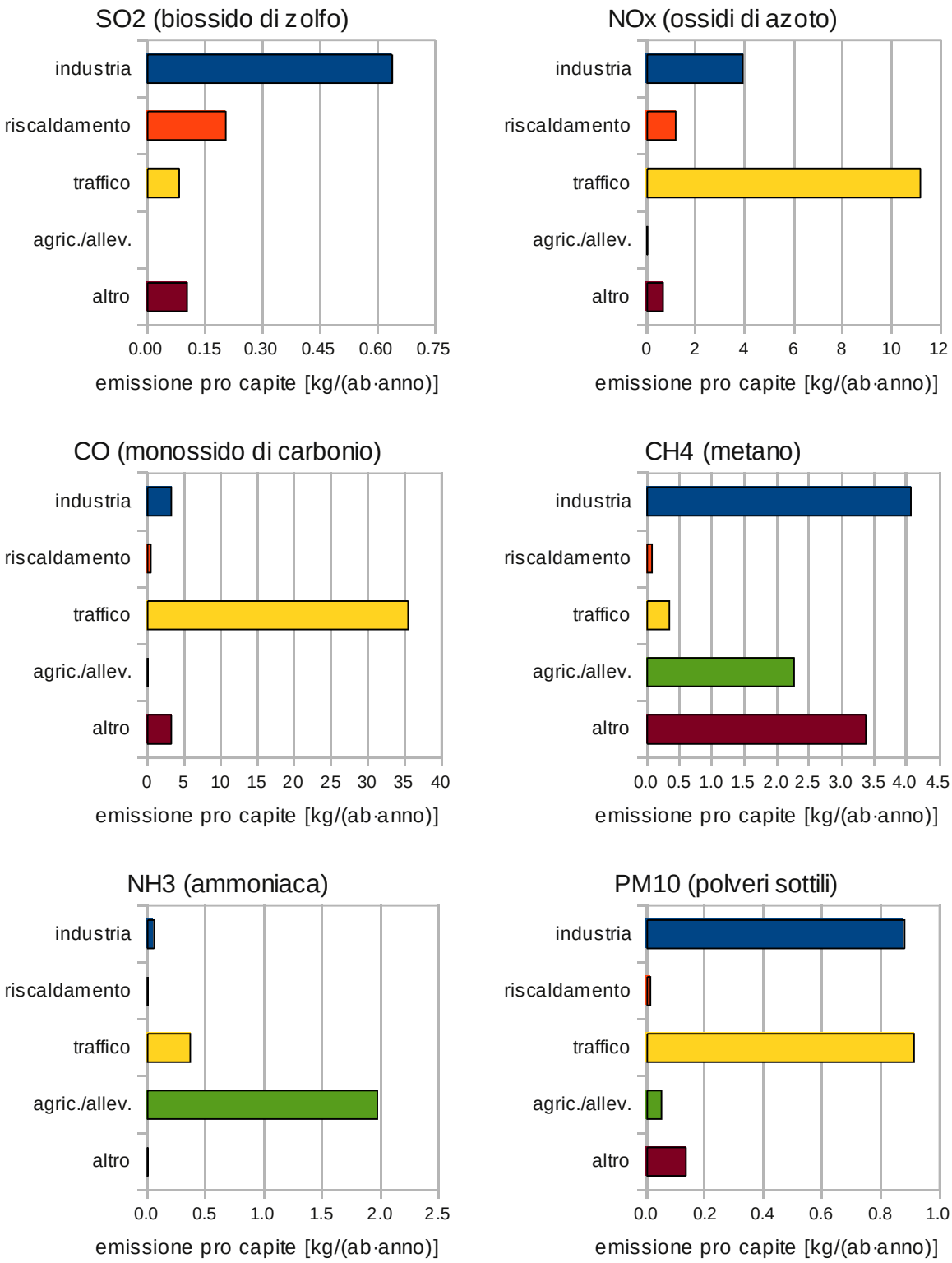


Figura 5-16: Emissioni pro capite per il Comune di Verona.

Tabella 5-32: Azioni possibili per il Comune di Verona.

AZIONE GENERALE	DESCRIZIONE OBIETTIVO	ACCESSIBILITÀ INFORMAZIONI	EFFICACIA
Trasporto urbano sostenibile: riduzione impatto mezzi privati	Passaggio da trasporto privato a trasporto pubblico	bassa	alta
	Adeguamento mezzi trasporto pubblico locale	alta	alta
	Fluidificazione e regolazione della circolazione	alta	media
	Definizione di corsie preferenziali	alta	alta
	Rinnovo parco auto	media	media
	Aumento ZTL	alta	media
	Aumento aree pedonali	alta	alta
	Aumento percorsi ciclo pedonali	alta	alta
	Incentivazione ciclabilità	bassa	alta
	Organizzazione di trasporti collettivi per i bambini che vanno a scuola	media	media
Riduzione dell'impatto dei mezzi commerciali	Governo accessi	alta	alta
	Trasformazione o sostituzione mezzi commerciali	alta	media
	Limitazione del transito di mezzi pesanti in area urbana	media	alta
Riduzione dell'impatto degli impianti civili	Trasformazione e sostituzione degli impianti	bassa	media
	Miglioramento del rendimento energetico	media	media
	Osservanza di norme di contenimento energetico	bassa	media
	Incentivazione uso di energie rinnovabili	media	media
Riduzione impatto delle attività produttive	Riconversione e trasformazione mezzi di trasporto	media	bassa
	Piattaforme di interscambio merci	media	alta
	Adozione BAT negli impianti produttivi	alta	alta
Applicazione misure programmate di limitazione traffico	Limitazione alla circolazione veicoli inquinanti	alta	media
	Blocchi totali del traffico (es. Domeniche ecologiche)	alta	bassa
Comunicazione e accordi	Comunicazione verso la cittadinanza, operatori economici, imprese	bassa	alta
	Stipula di accordi	media	alta

5.17 VILLAFRANCA DI VERONA

Comune di VILLAFRANCA DI VERONA			
Dati generali			
Abitanti	29353	Superficie [km^2]	57.14
Area climatologica	pianura	edificata	18.7%
Stazioni meteorologiche di riferimento	Villafranca di Verona	agricola	81.3%
Stazioni di qualità dell'aria di riferimento	Villafranca di Verona Verona Corso Milano Verona Cason	boschiva	0.0%
		acque	0.0%
Localizzazione			
Fonti emissive analizzate *			
Numero di aziende	4	Lunghezza della rete stradale extraurbana [km]	225.87
Numero di allevamenti	175	Distanza globale percorsa annualmente [km]	$8.51 \cdot 10^8$

* sulla base dei dati pervenuti

Tabella 5-33: Emissioni totali annue, ripartizione percentuale tra i diversi settori e emissioni pro capite per il Comune di Villafranca di Verona.

Emissioni totali annue [t/a]						
	Industria	Riscaldamento	Traffico	Agricoltura /allevamenti	Altro	Totale
Ossidi di zolfo (SO_x)	42.49	6.03	2.53	0.00	3.36	54.41
Ossidi di azoto (NO_x)	77.09	34.57	332.71	0.05	35.00	479.42
Monossido di carb. (CO)	99.73	16.14	1073.65	1.51	257.84	1448.87
Metano (CH_4)	30.86	2.19	10.45	1755.34	33.80	1832.64
Ammoniaca (NH_3)	0.00	0.00	11.31	876.92	0.01	888.24
Polveri sottili (PM_{10})	10.42	0.41	26.97	3.88	9.27	50.95
Ripartizione percentuale delle emissioni						
	Industria	Riscaldamento	Traffico	Agricoltura /allevamenti	Altro	Totale
Ossidi di zolfo (SO_x)	78.1%	11.1%	4.6%	0.0%	6.2%	100.0%
Ossidi di azoto (NO_x)	16.1%	7.2%	69.4%	0.0%	7.3%	100.0%
Monossido di carb. (CO)	6.9%	1.1%	74.1%	0.1%	17.8%	100.0%
Metano (CH_4)	1.7%	0.1%	0.6%	95.8%	1.8%	100.0%
Ammoniaca (NH_3)	0.0%	0.0%	1.3%	98.7%	0.0%	100.0%
Polveri sottili (PM_{10})	20.5%	0.8%	52.9%	7.6%	18.2%	100.0%
Emissioni annue pro capite [kg/(a · ab)]						
	Industria	Riscaldamento	Traffico	Agricoltura /allevamenti	Altro	Totale
Ossidi di zolfo (SO_x)	1.45	0.21	0.09	0.00	0.11	1.86
Ossidi di azoto (NO_x)	2.63	1.18	11.33	0.00	1.19	16.33
Monossido di carb. (CO)	3.40	0.55	36.58	0.05	8.78	49.36
Metano (CH_4)	1.05	0.07	0.36	59.80	1.15	62.43
Ammoniaca (NH_3)	0.00	0.00	0.39	29.88	0.00	30.27
Polveri sottili (PM_{10})	0.36	0.01	0.92	0.13	0.32	1.74

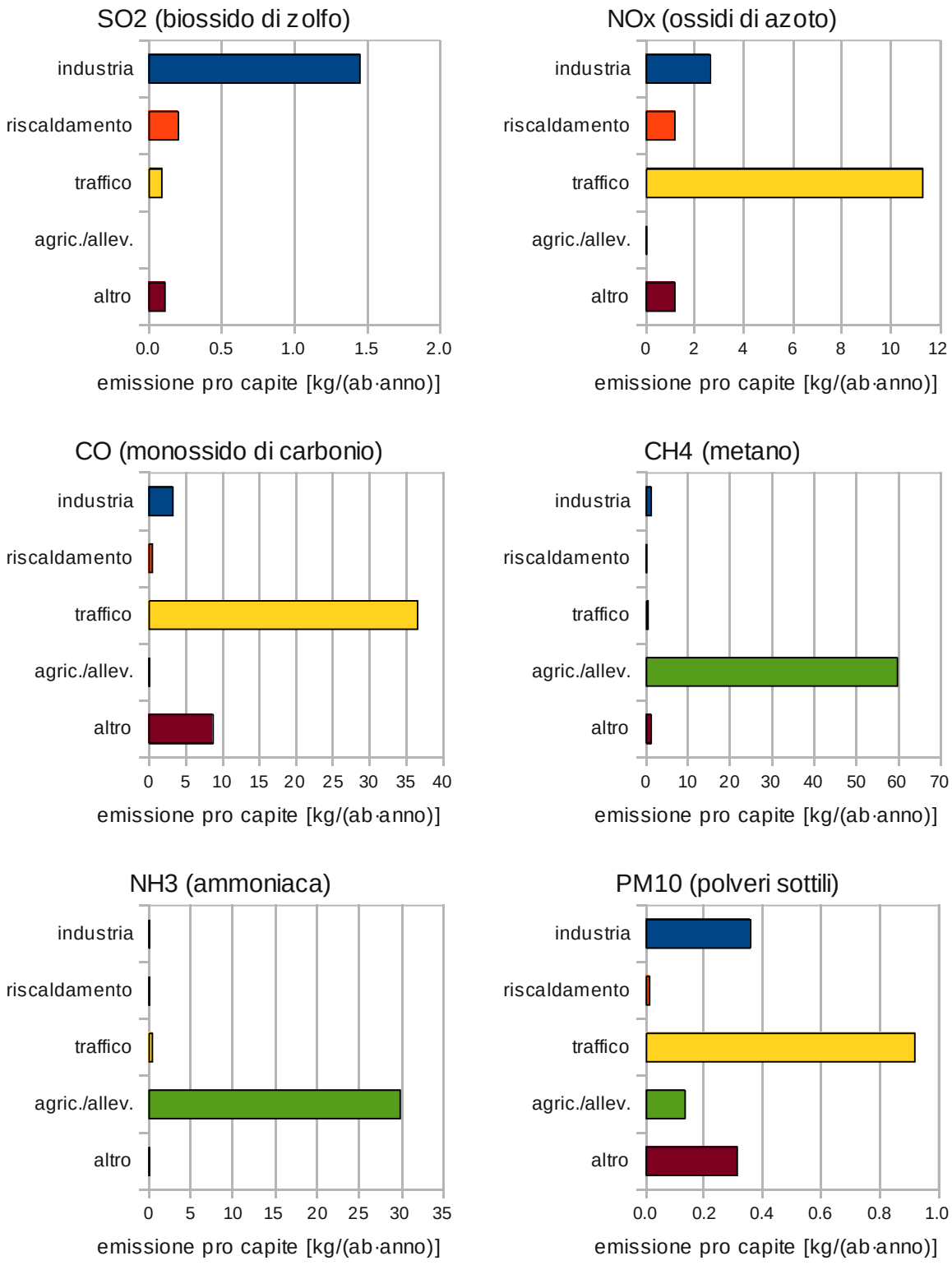
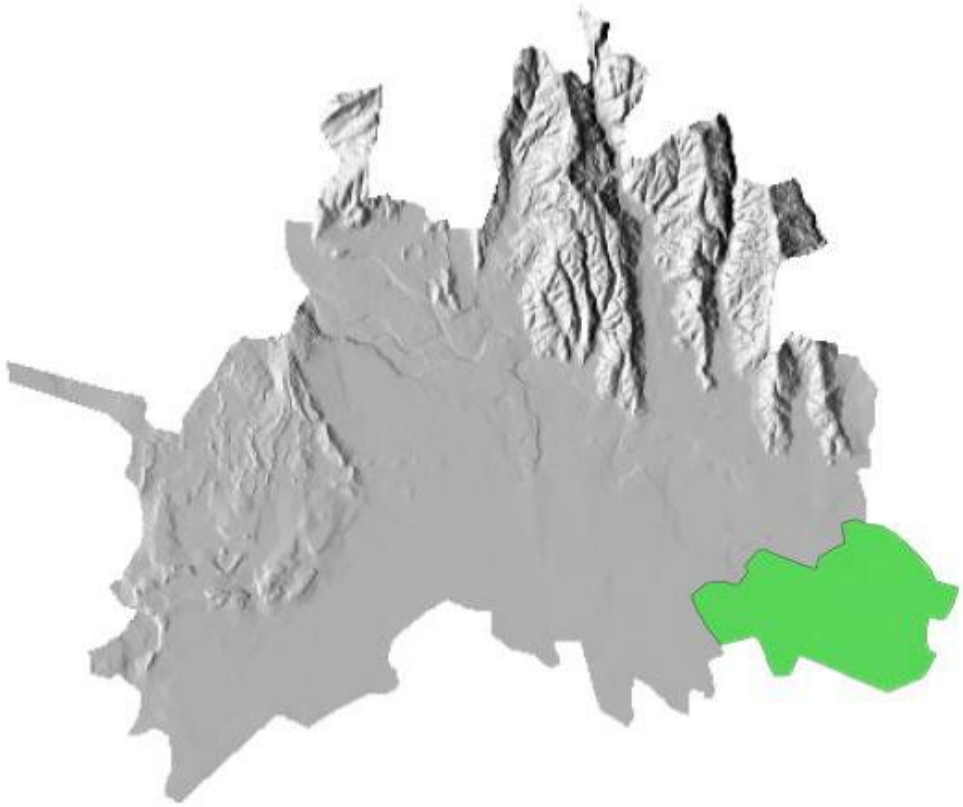


Figura 5-17: Emissioni pro capite per il Comune di Villafranca di Verona.

Tabella 5-34: Azioni possibili per il Comune di Villafranca di Verona.

AZIONE GENERALE	DESCRIZIONE OBIETTIVO	ACCESSIBILITÀ INFORMAZIONI	EFFICACIA
Trasporto urbano sostenibile: riduzione impatto mezzi privati	Passaggio da trasporto privato a trasporto pubblico	bassa	alta
	Adeguamento mezzi trasporto pubblico locale	alta	bassa
	Fluidificazione e regolazione della circolazione	media	media
	Definizione di corsie preferenziali	alta	bassa
	Rinnovo parco auto	media	bassa
	Aumento ZTL	alta	bassa
	Aumento aree pedonali	alta	bassa
	Aumento percorsi ciclo pedonali	alta	bassa
	Incentivazione ciclabilità	bassa	bassa
	Organizzazione di trasporti collettivi per i bambini che vanno a scuola	media	bassa
Riduzione dell'impatto dei mezzi commerciali	Governo accessi	alta	media
	Trasformazione o sostituzione mezzi commerciali	alta	media
	Limitazione del transito di mezzi pesanti in area urbana	media	alta
Riduzione dell'impatto degli impianti civili	Trasformazione e sostituzione degli impianti	bassa	media
	Miglioramento del rendimento energetico	media	media
	Osservanza di norme di contenimento energetico	bassa	media
	Incentivazione uso di energie rinnovabili	media	media
Riduzione impatto delle attività produttive	Riconversione e trasformazione mezzi di trasporto	media	bassa
	Piattaforme di interscambio merci	media	bassa
	Adozione BAT negli impianti produttivi	alta	alta
Applicazione misure programmate di limitazione traffico	Limitazione alla circolazione veicoli inquinanti	bassa	media
	Blocchi totali del traffico (es. Domeniche ecologiche)	bassa	bassa
Comunicazione e accordi	Comunicazione verso la cittadinanza, operatori economici, imprese	bassa	alta
	Stipula di accordi	media	alta

5.18 ZEVIO

Comune di ZEVIO			
Dati generali			
Abitanti	12035	Superficie [km^2]	54.83
Area climatologica	pianura	edificata	8.0%
Stazioni meteorologiche di riferimento	Villafranca di Verona	agricola	89.7%
Stazioni di qualità dell'aria di riferimento	Villafranca di Verona San Giovanni Lupatoto Verona Corso Milano Verona Cason	boschiva	0.0%
		acque	2.3%
Localizzazione			
			
Fonti emissive analizzate *			
Numero di aziende	3	Lunghezza della rete stradale extraurbana [km]	202.64
Numero di allevamenti	129	Distanza globale percorsa annualmente [km]	$4.99 \cdot 10^8$

* sulla base dei dati pervenuti