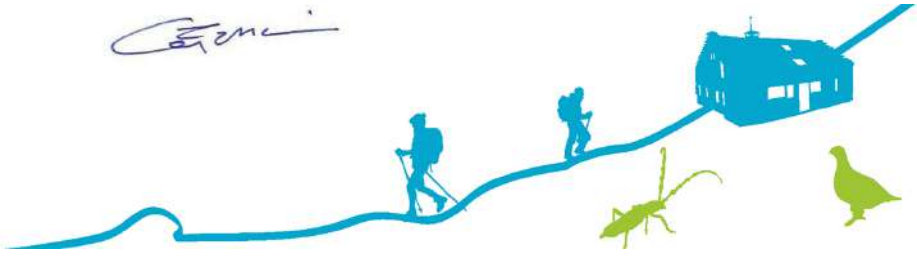
VALUTAZIONE IMPATTO RICADUTE DA TRAFFICO VEICOLARE SU SP 173, SP 172 E COLLE DELLE FINESTRE

Programma di Cooperazione Transfrontaliera INTERREG VI-A France -Italia ALCOTRA 2021-2027 - PROGETTO N° 20140 "BiodivTourAlps – biodiversità e turismo : sinergie per il futuro dei parchi alpini" WP33 Monitoraggio delle interazioni uomo/natura (attività outdoor in siti di interesse)

Dr Gabriella FASCIANI



L'impatto turistico in termini di viabilità, sulle strade di alta montagna non è mai stato studiato in termini oggettivi ma solo a livello di sensazione di "disagio" provocato dal transito di mezzi motorizzati.
Questo studio ha come obiettivo una valutazione quantitativa basata su dati oggettivi, del grado effettivo di inquinamento provocato da un transito motorizzato su strade di alta quota ed in particolare nell'area di un Parco Naturale.
Il Parco Naturale Alpi Cozie ha avviato dal 2024 uno studio biennale specifico per valutare il grado di inquinamento dell'atmosfera provocato dal transito di mezzi motorizzati (prioritariamente Auto fuoristrada e moto) valutando l'incremento (o la presenza) di alcuni parametri inquinanti che sono riportati in modo specifico nella normativa europea e nazionale per quanto concerne l'inquinamento dell'atmosfera. L'attività di indagine riveste una particolare importanza in quanto, non potendo utilizzare sul sito la classica strumentazione automatica causa l'assenza di energia elettrica, il posizionamento delle stazioni di misura ha richiesto di eseguire, preventivamente, un pre-studio atto a identificare, rispetto a tutto il tracciato stradale, le aree idonee per la predisposizione dei sistemi di campionamento che utilizzano solo tecniche di captazione di tipo "passivo" da posizionare in zone in zone con orografia e meteorologia complessa. Per dare conforto ai dati chimici rilevati è stata quindi associata un'elaborazione modellistica utilizzando algoritmi e modelli matematici in grado di definire l'ampiezza dell'area potenzialmente sottoposta ad impatto rispetto al tracciato viario.
I sistemi di captazione sono stati localizzati in alcune delle aree del tracciato stradale (la cui lunghezza complessiva è di circa 36 Km) che sono risultate di particolare interesse e che sono quindi state monitorate per la quasi totalità del periodo di apertura della strada al flusso turistico. Tale monitoraggio è stato eseguito sia nel periodo di apertura del 2024 che in quello del 2025; i risultati analitici ottenuti permettono di fare delle valutazioni dell'impatto stradale utilizzando dati oggettivi in riferimento alle componenti chimiche analizzate.

L'impact du trafic routier sur les routes de haute montagne n'a jamais été étudié en termes objectifs, mais seulement au niveau de sensation de « gêne » causée par le passage des véhicules motorisés.
Cette étude vise à évaluer quantitativement, sur la base de données objectives, le degré réel de pollution causé par le passage motorisé sur les routes d'altitude et en particulier dans la zone d'un parc naturel.
Le Parc Naturel Alpi Cozie mène depuis 2024 une étude spécifique pour évaluer le degré de
pollution de l'atmosphère causée par le transit de véhicules motorisés (principalement voitures tout-terrain et motos) en évaluant l'augmentation (ou la présence) de certains paramètres polluants qui sont spécifiquement signalés dans les réglementations européennes et nationales liées à la pollution atmosphérique. L'activité d'investigation revêt une importance particulière car, comme il n'est pas possible d'utiliser l'instrumentation automatique classique sur place en raison de l'absence d'électricité, le positionnement des stations de mesure a nécessité d'une pré-étude pour identifier, par rapport à l'ensemble du tracé routier, les zones appropriées pour la préparation des systèmes d'échantillonnage utilisant uniquement des techniques de capture de type « passif » à positionner dans une zone à l'orographie et météorologie complexes. Afin de conforter les données chimiques recueillies, une modélisation a été élaborée à l'aide d'algorithmes et de modèles mathématiques capables de définir l'amplitude de la zone potentiellement soumise à l'impact des polluants par rapport au tracé de la route.
Les capteurs ont été placés dans certaines zones de l'itinéraire routier (dont la longueur totale est d'environ 36 km) qui présentaient un intérêt particulier et ont donc été échantillonnées
pendant la presque totalité de la période au cours de laquelle la route a été ouverte au flux de touristes. Ce suivi a été effectué soit pendant la période d'ouverture de 2024 que pendant celle de 2025 ; les résultats analytiques obtenus permettent d'évaluer l'impact routier à l'aide de données objectives relatives aux composants chimiques analysés.

Sommario

1 PREMESSE 5
2. SCOPO DEL LAVORO 6
3. NORMATIVA AMBIENTALE APPLICABILE ALL'AREA DI STUDIO 6
4 CARATTERIZZAZIONE DEL SITO DI INDAGINE 8
4.1 LOCALIZZAZIONE GEOGRAFICA 9
5 PROBLEMATICHE LEGATE ALL'INQUINAMENTO DA TRAFFICO VEICOLARE 9
5.1 GAS SERRA 9
5.2 EMISSIONE DI GAS SERRA DA AUTOVEICOLI IN EUROPA 10
5.3 EMISSIONE DI GAS SERRA DA AUTOVEICOLI IN ITALIA 10
5.4 NON SOLO GAS SERRA…… 14
5.5 EMISSIONI DI SOSTANZE INQUINANTI 14
6. EFFETTI DEGLI INQUINANTI 15
6.1 EFFETTI SULLA SALUTE UMANA 15
5.3 EFFETTI SULLA FAUNA E FLORA E VEGETAZIONE 17
5.3.1 FAUNA 17
5.3.2 FLORA E VEGETAZIONE 17
6 PROGETTAZIONE DEL MONITORAGGIO 20
6.1 ORGANIZZAZIONE DELLE STAZIONI DI MISURA 21
6.2 TEORIA DEL CAMPIONAMENTO DIFFUSIVO 25
6.3 LOCALIZZAZIONE DELLE STAZIONI DI MISURA 26
6.3.1 BIANCHI DI RIFERIMENTO 31
6.4 SITUAZIONE METEOROLOGICA 31
6.4.1 VENTI 32
6.4.2 PRECIPITAZIONI 33
6.4.3 TEMPERATURA 34
7 STAZIONI DI MISURA 36
8 CAMPIONAMENTO 37
8.1 DEPOSIMETRI TOTALI 38
8.2 SISTEMI DI CAPTAZIONE BIOSSIDO DI AZOTO (NO_2) 39
9 ANALISI CHIMICHE 39
10 ELABORAZIONE DEI DATI 41
10.1 GRANULOMETRIA 46
10.2 MORFOLOGIA 49
11 APPLICAZIONI MODELLISTICHE 51

11.1 CENNI DELLA TEORIA DEL MODELLO DIFFUSIONALE APPLICATO 51
11.1.1 IL PRE-PROCESSORE METEREOLOGICO CALMET 52
11.1.2 CALPUFF 52
11.1.3 IL POSTPROCESSORE CALPOST 53
11.2 DATI DI TRAFFICO 54
11.3 DETERMINAZIONE DELLE POLVERI DA SOLLEVAMENTO E RI-SOLLEVMENTO 54
11.4 DETERMINAZIONE DEGLI OSSIDI DI AZOTO 55
12 ELABORAZIONI DEI DATI - OSSIDI DI AZOTO 56
12.1 CASA ASSIETTA – TRANSETTO 1 56
12.2 COL BLEGIER – TRANSETTO 2 58
12.3 COLLE DELL'ASSIETTA 59
12.4 VALUTAZIONI DEI DATI OTTENUTI PER GLI OSSIDI DI AZOTO 61
13 ELABORAZIONI DEI DATI – POLVERI TOTALI 62
13.1 CASA ASSIETTA -TRANSETTO 1 63
13.1.1 POLVERI TOTALI DISPERSE mg/m3 63
13.1.2 POLVERI TOTALI RICADUTE g/m2/giorno 64
13.2 COL BLEGIET -TRANSETTO 2 65
13.2.1 POLVERI TOTALI DISPERSE mg/m3 65
..... 65
13.2.2 POLVERI TOTALI RICADUTE g/m2/giorno 66
13.3 COLLE DELL' ASSIETTA 67
13.3.1 POLVERI TOTALI DISPERSE mg/m3 67
..... 67
13.3.2 POLVERI TOTALI RICADUTE g/m2/giorno 68
12 CONCLUSIONI 69
12.1 ANALISI CHIMICHE 69
12.2 MODELLISTICA MATEMATICA 69

1 PREMESSE

Le tipologie di monitoraggio da applicare per valutare l'impatto delle attività umane sull'ambiente circostante devono essere progettate in funzione di diversi fattori:

- Tipologia di attività da monitorare
- Matrice ambientale che deve essere sottoposta a valutazione dell'impatto
- Condizioni di applicabilità di metodologie di valutazione

Nel caso in oggetto la valutazione dell'impatto delle attività umane su una strada di alta montagna, generalmente in terra battuta, e di lunghezza considerevole (circa 36 km) deve tener conto delle possibili matrici coinvolte mediando con le tempistiche di realizzazione del monitoraggio e con le condizioni nell'intorno valutate sia da un punto di vista ambientale (strada di alta montagna in ambiente non antropizzato) che tecnico (assenza di alimentazione elettrica).

Queste condizioni oggettive portano a definire alcuni punti fermi che vanno considerati come base tecnica:

> Una strada di alta quota prevalentemente sterrata, soggetta a passaggio veicolare (fuoristrada, moto, auto, biciclette) il cui transito avviene in un periodo temporale molto ristretto (circa due-tre mesi di apertura durante il periodo turistico estivo) ha senz'altro un impatto in termini di sollevamento e ri-sollevamento delle polveri che ricadranno su aree naturalizzate (prati, boschi, zone umide, ecc.) alterandone la situazione di equilibrio causato dall' apporto di sostanze inorganiche/organiche naturali e di sostanze chimiche (organiche ed inorganiche) di origine antropica (emesse da motori a combustione e da componenti di usura dei veicoli sia sotto forma di particolato che di gas di combustione).

> La posizione in cui si snoda la strada SP 173 non permette l'utilizzo di sistemi di campionamento alimentati tramite rete elettrica che sono utilizzati normalmente per la valutazione di polveri, sostanze chimiche organiche ed inorganiche (campionatori sequenziali di PTS, PM10, sistemi a chemiluminescenza, ecc.). E' quindi necessario orientare le attività di campionamento su sistemi che permettono di essere attivi in condizioni di "autonomia da fonti energetiche" e che permettano, successivamente, di eseguire analisi chimiche delle componenti identificate (sistemi di tipo passivo)

> Per quanto concerne l'elaborazione dei dati effettuare una corretta valutazione dell'impatto richiede l'applicazione di algoritmi matematici che tengano conto delle condizioni meteo, dell'orografia associato a quanto già disponibile e tabulato a livello europeo (Corinair[1]) in merito ai valori attesi di emissione da autoveicoli. L'applicazione di modelli diffusionali permetterà di ampliare la visualizzazione delle risultanze chimiche al di fuori dei siti ove saranno effettivamente

[1] https://www.eea.europa.eu/publications/emep-corinair-atmospheric-emission-inventory

eseguite le misure oltre che considerare i fattori metereologici che hanno un'influenza fondamentale in questo tipo di valutazioni di interazione.

2. SCOPO DEL LAVORO

Nell'ambito dei Programmi di Cooperazione Transfrontaliera INTERREG VI-A France-Italia ALCOTRA 2021-2027 è stato attivato il Progetto BiodivTourAlps tale progetto "*si propone di affrontare la sfida della conservazione della biodiversità riducendo gli effetti delle attività turistiche sull'ambiente e sulle risorse naturali nelle aree naturali protette, migliorando la conoscenza e la gestione delle interazioni uomo-natura.*"[2]
L'esigenza nasce dal sempre maggior numero di visitatori all'interno delle aree naturali, poiché l'aumento è collegato anche ai mezzi con cui ci si approccia a queste delicate aree è necessario valutare gli impatti derivanti alfine di poter gestire correttamente i flussi per ridurre gli impatti sulla biodiversità.

"BiodivTourAlps intende sviluppare protocolli e strumenti condivisi per conoscere e gestire gli effetti delle attività turistiche sulle aree protette, partendo dalle pratiche sostenibili già presenti a livello europeo e individuando casi studio di interazione uomo/natura per l'attuazione di interventi pilota, con particolare attenzione ai rifugi di alta quota. Attraverso attività di formazione per operatori ed eventi di sensibilizzazione rivolti ai visitatori si vuole rafforzare la conoscenza di base sul tema della conservazione delle risorse naturali, per conciliare al meglio turismo e tutela della ***biodiversità****"*[3]
Tale attività di studio è stata progettata e organizzata in modo da fornire delle indicazioni, in termini chimici misurabili, di quanto la presenza umana in aree di particolare pregio ambientale, impatta sugli equilibri e sulla biodiversità di una delle aree gestite dal Parco Alpi Cozie.
mero

3. NORMATIVA AMBIENTALE APPLICABILE ALL'AREA DI STUDIO

L'area sottoposta ad indagine è un'area di particolare pregio ambientale. il Colle dell'Assietta si trova all'interno del Parco Naturale di Salbertrand, ed è a tutti gli effetti un valico alpino tra la Valle di Susa e la Val Chisone.
Quest'area è di particolare pregio ambientale e quindi rientra nelle tra le aree protette a livello regionale
La rete Natura 2000 è una rete ecologica europea nata per proteggere gli habitat naturali e le specie animali e vegetali minacciate o rare a livello comunitario
Per inquadrare la tipologia di ambiente in cui sono state effettuate le attività riportiamo brevemente un'analisi atta a definire come vengono organizzate le aree protette e della Rete Natura 2000 è stata realizzata un'analisi a partire dall'area regionale fino a focalizzare l'attenzione sul sito di interesse.
La Legge n. 394/91 ha definito la classificazione delle aree naturali protette, ne ha istituito l'Elenco ufficiale (EUAP) e ne ha disciplinato la gestione. Attualmente il sistema nazionale delle aree naturali protette è strutturato come segue:

[2] https://interreg-alcotra.eu/it/biodivtouralps
[3] https://interreg-alcotra.eu/it/biodivtouralps

• Parchi nazionali. Sono costituiti da aree terrestri, fluviali, lacuali o marine che contengono uno o più ecosistemi intatti o anche parzialmente alterati da interventi antropici; una o più formazioni fisiche, geologiche, geomorfologiche, biologiche, di rilievo internazionale o nazionale per valori naturalistici, scientifici, estetici, culturali, educativi e ricreativi tali da richiedere l'intervento dello Stato ai fini della loro conservazione per le generazioni presenti e future.

• Parchi naturali regionali e interregionali. Sono costituiti da aree terrestri, fluviali, lacuali ed eventualmente da tratti di mare prospicienti la costa, di valore naturalistico e ambientale, che costituiscono, nell'ambito di una o più regioni limitrofe, un sistema omogeneo, individuato dagli assetti naturalistici dei luoghi, dai valori paesaggistici e artistici e dalle tradizioni culturali delle popolazioni locali.

• Riserve naturali. Sono costituite da aree terrestri, fluviali, lacuali o marine che contengono una o più specie naturalisticamente rilevanti della flora e della fauna, ovvero presentino uno o più ecosistemi importanti per la diversità biologica o per la conservazione delle risorse genetiche. Le riserve naturali possono essere statali o regionali in base alla rilevanza degli elementi naturalistici in esse rappresentati.

• Zone umide di interesse internazionale. Sono costituite da aree acquitrinose, paludi, torbiere oppure zone naturali o artificiali d'acqua, permanenti o transitorie comprese zone di acqua marina la cui profondità, quando c'è bassa marea, non superi i sei metri e che, per le loro caratteristiche, possono essere considerate di importanza internazionale ai sensi della convenzione di Ramsar.

• Altre aree naturali protette. Sono aree (oasi delle associazioni ambientaliste, parchi suburbani ecc.) che non rientrano nelle precedenti classi. Si dividono in aree di gestione pubblica, istituite cioè con leggi regionali o provvedimenti equivalenti, e aree a gestione privata, istituite con provvedimenti formali pubblici o con atti contrattuali quali concessioni o forme equivalenti.

In particolare Natura 2000 è il principale strumento della politica dell'Unione Europea per la conservazione della biodiversità. Si tratta di una rete ecologica diffusa su tutto il territorio dell'Unione, dotata di un quadro comune per la conservazione delle piante, degli animali e degli habitat, con lo scopo di creare una rete coerente di ambienti da tutelare. Con la Direttiva 92/43/CEE (detta Direttiva Habitat) del 21 maggio 1992, l'Unione Europea si è impegnata nella conservazione della biodiversità, integrando la legislazione comunitaria sulla protezione della natura emanata con la Direttiva del Consiglio del 2 aprile 1979 concernente la conservazione degli uccelli selvatici (79/409/CEE Uccelli - recentemente abrogata e sostituita dalla Direttiva 2009/147/CE).

La Rete Natura 2000 è costituita da: SIC / ZSC

- SIC - Ai sensi della Direttiva Habitat 92/43/CEE, il SIC (Sito di Importanza Comunitaria) è "un sito che, nella o nelle regioni biogeografiche cui appartiene, contribuisce in modo significativo a mantenere o a ripristinare un tipo di habitat naturale di cui all'allegato I o una specie di cui all'allegato II in uno stato di conservazione soddisfacente e che può inoltre contribuire in modo significativo alla coerenza di Natura 2000 di cui all'articolo 3, e/o che contribuisce in modo significativo al mantenimento della diversità biologica nella regione biogeografica o nelle regioni biogeografiche in questione". Ogni SIC al termine dell'iter istitutivo è designato come Zona Speciale di Conservazione (ZSC), "un sito di importanza comunitaria designato dagli Stati membri mediante un atto

regolamentare, amministrativo e/o contrattuale in cui sono applicate le misure di conservazione necessarie al mantenimento o al ripristino, in uno stato di conservazione soddisfacente, degli habitat naturali e/o delle popolazioni delle specie per cui il sito è designato".

- ZPS - istituite ai sensi della Direttiva Uccelli (79/409/CEE – 2009/147/CE) le ZPS (Zone di protezione Speciale) sono i territori più idonei, in numero e superficie, alla conservazione delle specie elencate nell'Allegato I e di quelle migratorie non elencate che ritornano regolarmente.

La strategia comunitaria e nazionale rivolta alla salvaguardia della natura e della biodiversità è attuata attraverso le Linee guida per la gestione dei siti Natura 2000 emanate con Decreto Ministeriale 3 settembre 2002. Le linee guida hanno valenza di supporto tecnico-normativo alla elaborazione di appropriate misure di conservazione funzionale e strutturale, tra cui i piani di gestione, per i siti della rete Natura 2000.

La normativa italiana individua come aree di particolare interesse ambientale le aree naturali protette, definite dalla Legge 6 dicembre 1991, n. 394 "Legge quadro sulle aree protette" e le aree della Rete Natura 2000, definite dal D.P.R. 8 settembre 1997, n. 357 e s.m.i..

- Per quanto concerne la qualità dell'aria con il *D.Lgs. 13 agosto 2010, n. 155 - Attuazione della direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa* disciplina la valutazione e la gestione della qualità dell'aria ambiente, recependo la direttiva europea 2008/50/CE. Con tale decreto vengono stabiliti dei valori limite, obiettivi, soglie di allarme e di informazione per vari inquinanti atmosferici come biossido di zolfo, biossido di azoto, benzene, PM10, PM2.5, ecc. Inoltre definisce le misure per la gestione della qualità dell'aria, tra cui la zonizzazione del territorio, il monitoraggio, l'inventario delle emissioni e l'utilizzo di modelli previsionali. Ricordiamo che nonostante il limite annuale sia il riferimento per la normativa, le campagne brevi (mesi) forniscono dati preziosi. Tuttavia, una durata inferiore a un anno **non consente di calcolare con precisione gli standard di qualità dell'aria** annuali, ma fornisce dati indicativi sui superamenti dei valori limite giornalieri o orari.

4 CARATTERIZZAZIONE DEL SITO DI INDAGINE

Il sito di indagine, è costituito dalle aree di Parco circostanti alla Strada Provinciale 173 dell'Assietta, il cui tracciato si sviluppa sulla dorsale tra la Valle di Susa e la Val Chisone quasi interamente sterrato e in gran parte oltre i 2000 metri di quota. La Strada dell'Assietta attraversa i territori dei Comuni di Sestriere, Usseaux, Salbertrand, Pragelato, Fenestrelle ed Exilles, ha una lunghezza di circa 36 km

4.1 LOCALIZZAZIONE GEOGRAFICA

La strada Provinciale 173 si sviluppa sul crinale tra le due valli Chisone e Susa ed è una zona frequentata dagli amanti del fuoristrada nonchè da ciclisti e motociclisti per il paesaggio di quota che offre e gli scorci notevoli sulle due vallate alpine.



Figura 1 : tracciato della Strada dell'Assietta SP 173 (fonte Città Metropolitana di Torino)

5 PROBLEMATICHE LEGATE ALL'INQUINAMENTO DA TRAFFICO VEICOLARE

5.1 GAS SERRA

I gas serra sono sostanze gassose presenti nell'atmosfera che hanno la capacità di trattenere, in maniera consistente, una parte considerevole della componente nell'infrarosso della radiazione solare che colpisce la Terra ed è emessa dalla superficie terrestre, dall'atmosfera e dalle nuvole.
Tale proprietà causa il fenomeno noto come "effetto serra"; tali gas sono sia di origine sia naturale che antropica (cioè prodotti dalle attività umane), essi sono stati regolamentati dal 1997 dal Protocollo di Kyoto il quale regolamenta le emissioni dei gas serra ritenuti più dannosi, in particolare CO_2, N_2O, CH_4, esafluoruro di zolfo (SF_6), idrofluorocarburi (HFCs) e perfluorocarburi.
Il contributo di un gas alla variazione dell'effetto serra è determinato da tre fattori prioritari:

- dalla forzante radiativa del gas,
- dalla sua concentrazione nell'atmosfera e
- dal suo tempo di permanenza nell'atmosfera.

L'indice noto come Global Warming Potential (GWP, potenziale di riscaldamento globale), che rappresenta l'effetto combinato del tempo di permanenza in atmosfera di ogni gas e la relativa efficacia specifica

nell'assorbimento della radiazione infrarossa emessa dalla Terra, è una misura di quanto un dato gas serra contribuisca al riscaldamento globale, commisurata alla CO_2, assunta come parametro di riferimento e il cui GWP ha per definizione il valore 1.

I GWP sono calcolati dal Gruppo intergovernativo sul cambiamento climatico e sono utilizzati come fattori di conversione per calcolare le emissioni di tutti i gas serra in emissioni di CO_2 equivalente

5.2 EMISSIONE DI GAS SERRA DA AUTOVEICOLI IN EUROPA

L'anidride carbonica (CO_2) è il principale gas emesso dagli autoveicoli oltre a tale gas vengono emessi ossidi di azoto (NO_X), monossido di carbonio (CO), idrocarburi e particolato (PM).

A livello europeo, in base ai dati forniti dall'Agenzia Europea dell'Ambiente[4], il settore dei trasporti è responsabile di circa un quarto delle emissioni totali di CO2 in Europa, il 71,7% delle quali viene prodotto dal trasporto stradale.

Nel tentativo di limitare le emissioni di CO2 l'UE ha fissato l'obiettivo di ridurre entro il 2030 le emissioni dei trasporti del 60% rispetto ai livelli del 1990.

L'UE mira a ottenere, entro il 2050, una riduzione del 90% delle emissioni di gas serra dovute ai trasporti rispetto ai livelli del 1990. Questo forma parte degli sforzi profusi per ridurre le emissioni di CO2 e raggiungere la neutralità climatica entro il 2050 nel quadro della tabella di marcia del Green Deal europeo.

5.3 EMISSIONE DI GAS SERRA DA AUTOVEICOLI IN ITALIA

Da un punto di vista generale, in base a quanto riportato nell'Inventory Report 1990-2023 di ISPRA[5], si rileva che "*Dal 1990 al 2023, le emissioni di gas serra legato al traffico veicolare sono aumentate del 7,3%. Questa tendenza è spiegata da molteplici fattori: da un lato un forte aumento a partire dal 1990 fino al 2007 (27,7%), dovuto all'aumento del parco veicoli, del chilometraggio totale e, di conseguenza, dei consumi di carburante e, dall'altro lato, negli ultimi anni,*

- *a partire dal 2007 in poi, una diminuzione del consumo di carburante e delle emissioni dovuta essenzialmente alla crisi economica (emissioni dal 2007 al 2019 in calo di circa il -18,8%);*
- *poi dal 2019 al 2020, c'è stata una forte riduzione delle emissioni, pari a circa il -19,4%, a seguito della crisi pandemica;*
- *la ripresa post pandemica della mobilità e dei consumi dal 2020 al 2021 ha portato ad un aumento delle emissioni di gas serra di circa il 21,5% e dal 2021 al 2022 di circa il 5,1%.*
- *Infine, durante lo scorso anno, si è osservato un aumento delle emissioni di circa lo 0,5%."*

Analizzando il contributo del solo traffico veicolare (che ricordiamo è circa il 24,7% di contributo ai gas serra rispetto al totale nazionale)[6] possiamo verificare come viene distribuita tale emissione in base alla

[4] https://www.europarl.europa.eu/topics/it/article/20190313STO31218/emissioni-di-co2-delle-auto-i-numeri-e-i-dati-infografica
[5] Italian Greenhouse Gas Inventory 1990-2023. National Inventory Document 2025
https://www.isprambiente.gov.it/files2025/pubblicazioni/rapporti/nid2025_italy_stampa.pdf5
[6] Dati riferiti al 2021

tipologia di veicoli tenendo conto che il trasporto stradale rappresenta il 92,9% delle emissioni relative a tutte le tipologie di trasporti (ferrovie, navigazione, trasporto aereo, altri)

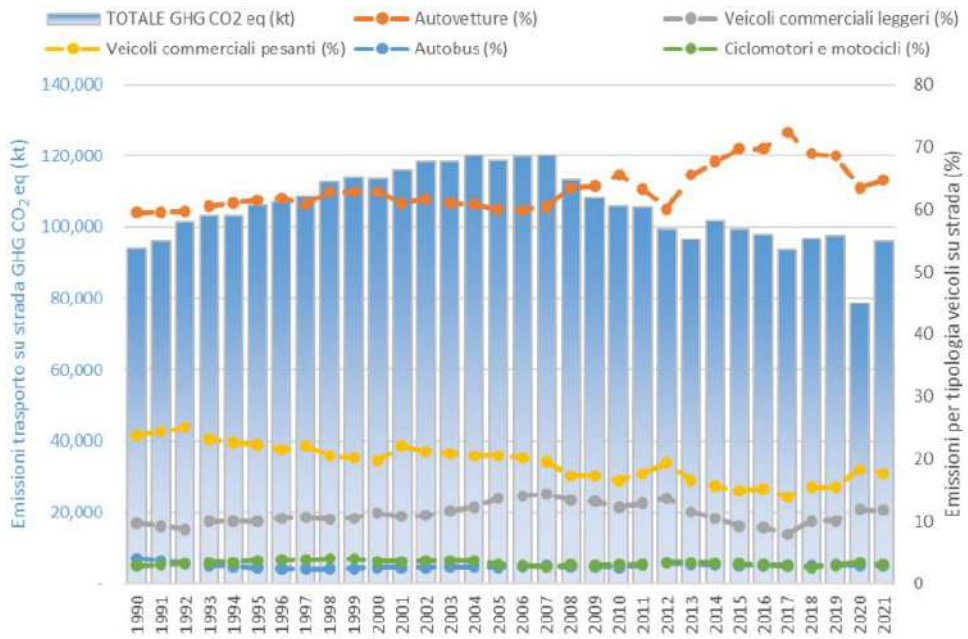


Figura 2 : Emissioni di gas serra dal trasporto su strada per tipologia di veicolo in Italia dal 1990 al 2021[7]

Dal 1990, le emissioni di gas serra derivanti dal trasporto su strada, sono in costante aumento sia per l'espansione della flotta veicolare, per l'aumento delle percorrenze e, quindi, dei consumi: per il periodo in esame si è raggiunto il picco tra il 2004 e il 2007; poi a causa sia della crisi economica, che della penetrazione nel mercato, negli anni più recenti, con l'introduzione di nuovi veicoli più efficienti dal punto di vista energetico, sono diminuite fino al 2013 mostrando successivamente un lieve aumento fino al 2019.

L'anno 2020 risente dell'importante impatto della riduzione della mobilità dovuta alla pandemia globale, mentre nel 2021 le emissioni tendono a riallinearsi con gli anni precedenti la pandemia.

[7] *https://emissioni.sina.isprambiente.it/wp-content/uploads/2023/04/Emissioni-Trasporti-Anno-2021_def.pdf*

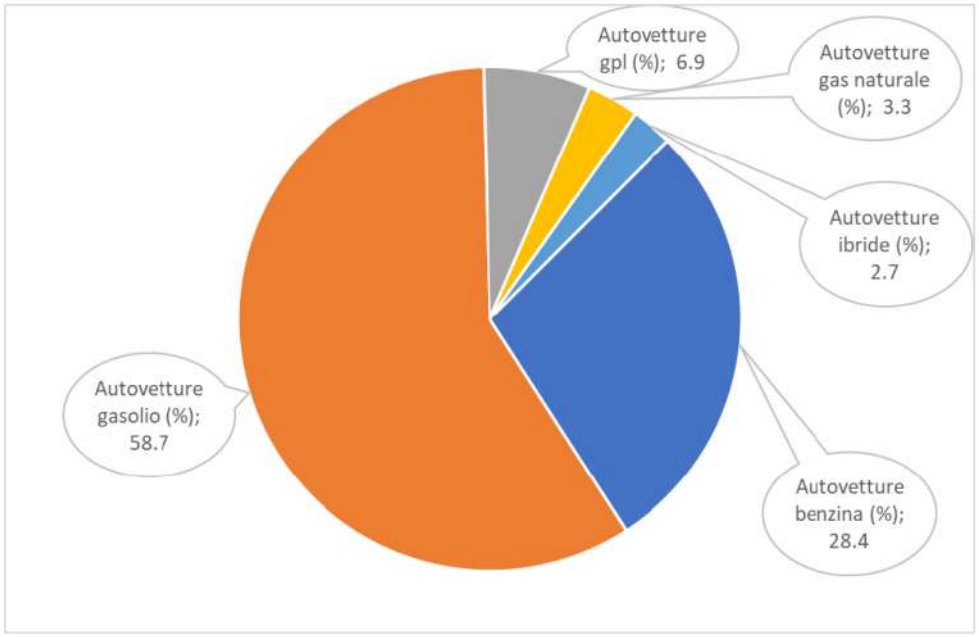


Figura 3 : Emissioni di gas serra dalle autovetture per tipologia di alimentazione nel 2021[7]

La scomposizione del parco veicoli su strada vede la netta prevalenza delle autovetture, con un contributo maggioritario alle emissioni totali. Seguono, per importanza, i veicoli commerciali che, nel complesso, presentano un contributo in lieve diminuzione nel tempo.

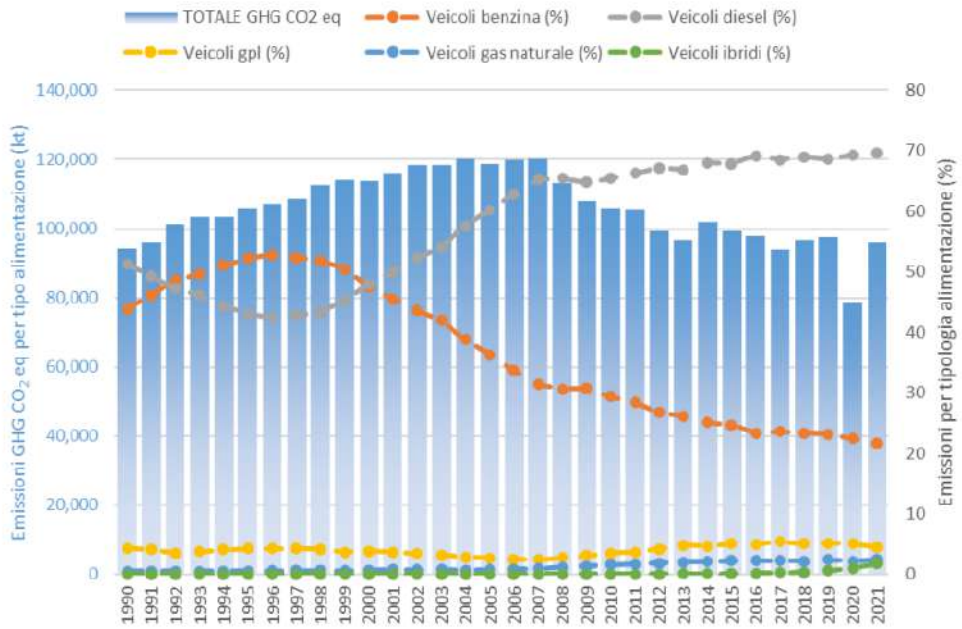


Figura 4 : Emissioni di gas serra per tipologia di alimentazione (1990-2021)[7]

Per quanto concerne i valori di emissioni di gas serra legati alla tipologia di veicolo come si può vedere dalla figura 4, tali valutazioni possono essere eseguite in funzione della tipologia di alimentazione: considerando il contributo percentuale alle emissioni, si nota come l'alimentazione a benzina sia stata prevalente negli anni '90 mentre dal 2000 il contributo dell'alimentazione a gasolio sia superiore per tutti gli anni.

Mentre l'alimentazione a benzina presenta una diminuzione sin dalla metà degli anni '90, l'alimentazione a gasolio ha avuto una fase di forte aumento dalla metà dei '90 sino al 2007, per poi stabilizzarsi con un trend in lieve crescita. Le alimentazioni alternative, a minori emissioni, nonostante la crescita, rimangono minoritarie.

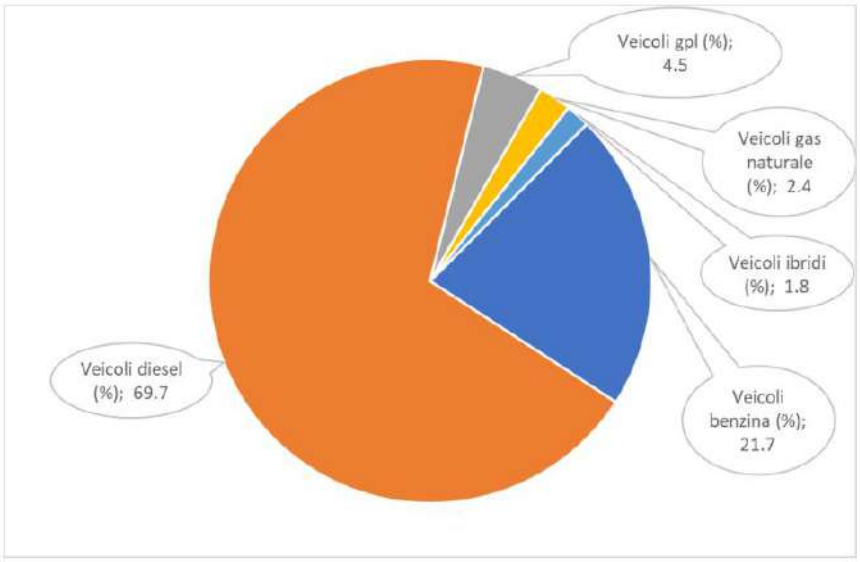


Figura 5 : suddivisione percentuale dei contributi emissivi per tipologia di alimentazione[7]

Nonostante negli anni più recenti ci sia stato un maggior ricorso alle alimentazioni alternative, queste non assumono ancora un peso rilevante sul totale.
Nel 2021 il peso preponderante è ancora dei carburanti fossili: in particolare i consumi di gasolio e benzina rappresentano circa l'70% del consumo totale su strada.

In particolare, oltre a quanto riportato in precedenza il traffico stradale ha impatto sia sulla componete atmosfera (per emissione di polveri sottili e ossidi di Azoto) che per l'effetto di disturbo acustico (rumore) provocato dai mezzi a motore termico. Questo effetto negativo è maggiormente rilevabile in aree che non sono antropizzate quale un parco naturale.

5.4 NON SOLO GAS SERRA……

Le fonti di emissione derivanti dal traffico veicolare, in particolare dalle vetture che hanno motori a combustione interna (veicoli a benzina, diesel e GPL) sono di diverse tipologie:

- Emissioni di inquinanti attraverso lo **scarico dei gas da combustione**, che a sua volta va suddiviso in:
    - **Emissioni a freddo**, ovvero le emissioni durante il riscaldamento del veicolo;
    - **Emissioni a caldo**, ovvero le emissioni dai veicoli i cui motori hanno raggiunto la loro temperatura di esercizio;
- Inquinamento da particolato dovuto a fenomeni di abrasione di freni, pneumatici e manto stradale (costituiscono la quasi totalità delle emissioni di particolato primario dei veicoli più recenti, in particolare per i veicoli a gas, benzina e per i diesel con filtro allo scarico (tecnologia FAP o DPF).
- Emissioni evaporative dai soli COVNM (composti organici volatili non metanici); generate dai fenomeni di evaporazione del combustibile.

5.5 EMISSIONI DI SOSTANZE INQUINANTI

Le principali emissioni da traffico sono quindi riconducibili ai seguenti composti:

- Anidride carbonica (CO_2): Un gas serra che contribuisce al riscaldamento globale.
- Monossido di carbonio (CO): Un gas tossico che si forma durante la combustione incompleta.
- Ossidi di azoto (NO_x): Inquinanti che possono formare ozono e contribuire all'inquinamento atmosferico.
- Particolato sottile ($PM_{2.5}$ e PM_{10}): Particelle molto piccole che penetrano in profondità nei polmoni e causano problemi respiratori.
- Composti organici volatili (COV): Inquinanti che contribuiscono alla formazione di ozono e possono essere dannosi per la salute.

6. EFFETTI DEGLI INQUINANTI

Gli inquinanti derivanti dal traffico veicolare sono senz'altro una delle cause di degradazione dell'ambiente naturale nonché uno dei fattori determinanti di rischio per la salute pubblica

Il report SIMA 2025[8] (Società Italiana di Medicina Ambientale) ha evidenziato l'enorme impatto del traffico veicolare sull'inquinamento atmosferico e sulla salute pubblica in Italia. Secondo i dati raccolti, il traffico è responsabile del 23% delle emissioni totali di gas serra, con le autovetture che contribuiscono per circa il 60% di queste emissioni.

Le emissioni di ossidi di azoto (NOx) e particolato (PM_{10} e $PM_{2.5}$) derivanti dai veicoli a combustione interna sono tra i principali fattori di rischio per malattie cardiovascolari e respiratorie, oltre a essere responsabili di migliaia di morti premature ogni anno.

A livello comunitario ricordiamo che il Consiglio[9] ha adottato il Regolamento sul ripristino della natura[10] per riportare la natura e le specie in buone condizioni. Il regolamento fissa obiettivi vincolanti per i principali ecosistemi, habitat e specie che vi vivono.

La più recente valutazione dell'Agenzia europea dell'ambiente del 2025 traccia un quadro allarmante della natura nell'UE, in particolare degli habitat, che ospitano animali e piante di ogni tipo. Dalle valutazioni effettuate risulta che Solo il 15%degli habitat protetti è in buone condizioni

6.1 EFFETTI SULLA SALUTE UMANA

Per quanto concerne gli effetti dell'inquinamento da traffico veicolare sull'uomo è, ovviamente un argomento molto studiato questa tipologia di inquinamento può avere diversi effetti sulla salute umana, tra cui malattie respiratorie, cardiovascolari, e persino tumori. L'esposizione a lungo termine può aumentare il rischio di sviluppare malattie come l'asma, la broncopneumopatia cronica ostruttiva (BPCO), e altre patologie polmonari. L'inquinamento atmosferico è anche associato a un aumento delle malattie cardiovascolari, come infarti, ictus, e ipertensione. Inoltre, l'inquinamento può contribuire allo sviluppo di tumori, in particolare quelli ai polmoni.

Nel dettaglio i diversi inquinanti sono in grado di agire in modo singolo o combinato sull'organismo umano provocando patologie diverse:

[8] *https://www.consulcesi.it/legal/ambiente/blog/traffico-inquinamento-report-sima-2025*

[9] https://www.consilium.europa.eu/it/infographics/state-of-eu-nature/#0

[10] *REGOLAMENTO (UE) 2024/1991 DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO del 24 giugno 2024 sul ripristino della natura e che modifica il regolamento (UE) 2022/869*

- Malattie respiratorie:

  L'esposizione alle polveri sottili e agli inquinanti del traffico può irritare il sistema respiratorio, causando tosse, starnuti, e broncospasmi. L'inquinamento può anche peggiorare le condizioni di persone che già soffrono di asma o BPCO.

  In particolare PM10 e PM2,5 sono inquinanti atmosferici sottili che penetrano nel corpo, causando gravi rischi per la salute. Il PM2,5 è particolarmente pericoloso poiché raggiunge gli alveoli e il sangue. Esposizioni a breve e lungo termine sono collegate a malattie respiratorie (asma, bronchiti), cardiovascolari (infarti, ictus), riduzione della funzionalità polmonare e tumori.

  Differenze e Impatto sulla Salute[11]

  - PM10 (diametro < 10 um): Le polveri PM_{10} rappresentano il particolato che ha un diametro inferiore a 10 µm e vengono anche dette polveri inalabili perché sono in grado di penetrare nel tratto superiore dell'apparato respiratorio dell'uomo (dal naso alla laringe
  - PM2,5 (diametro < 2,5 um): Particelle fini che arrivano in profondità negli alveoli polmonari e possono entrare nel circolo sanguigno, diffondendosi in altri organi.
  - Effetti Acuti (breve termine): Irritazione oculare, tosse, dispnea, riacutizzazione di asma e BPCO, aumento dei ricoveri ospedalieri.
  - Effetti Cronici (lungo termine): Malattie croniche, riduzione della funzionalità polmonare, tumore al polmone, demenza, mortalità prematura.

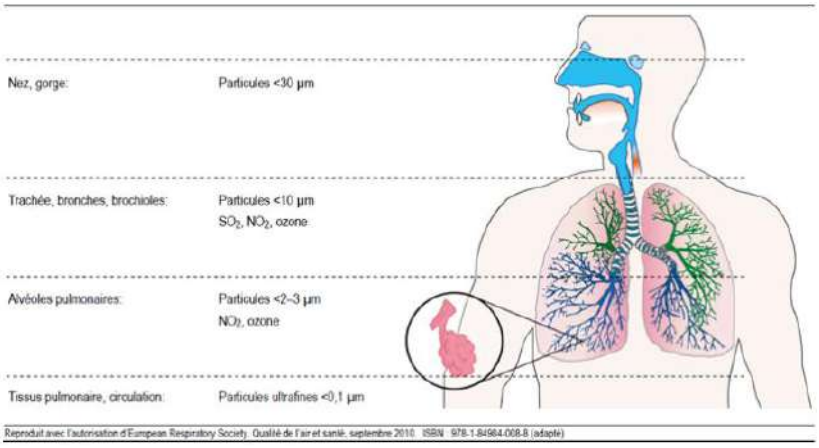


Figura 6 : impatto a livello polmonare delle particelle in funzione della loro dimensione

[11] *SNPA - Sistema nazionale protezione ambiente*

- Malattie cardiovascolari:
  L'esposizione all'inquinamento atmosferico può aumentare il rischio di infarti, ictus, e altre malattie cardiovascolari. Gli inquinanti possono infiammare le arterie, aumentando il rischio di trombosi e altre complicazioni.
- Tumori:
  Alcuni inquinanti, come il benzene, sono considerati cancerogeni e possono aumentare il rischio di sviluppare tumori, in particolare quelli ai polmoni.
- Effetti sul cervello:
  L'esposizione all'inquinamento da traffico può influenzare le funzioni cerebrali e aumentare il rischio di disturbi neurologici, come demenza.
- Altre patologie:
  L'inquinamento atmosferico può anche contribuire allo sviluppo di altre patologie, come diabete, disturbi mentali, e alterazioni della funzione immunitaria.

5.3 EFFETTI SULLA FAUNA E FLORA E VEGETAZIONE

Come visto in precedenza la maggior parte dell'inquinamento atmosferico è attribuibile alle emissioni da traffico veicolare e tale tipologia di inquinamento ha pesanti effetti anche sulle componenti naturali nonostante siano meno studiate rispetto agli effetti sull'uomo.

5.3.1 FAUNA

Per quanto concerne la Fauna l'inquinamento atmosferico ha effetti negativi sugli animali selvatici, influenzando la loro salute, riproduzione e distribuzione. L'inquinamento può portare a patologie respiratorie, cardiocircolatorie e al sistema immunitario. In particolare si possono riscontrare malattie respiratorie, problemi al cuore e danni al sistema immunitario oltre ad interferenze con la capacità riproduttiva, riducendo la fertilità e il successo riproduttivo.
L'inquinamento può inoltre alterare pesantemente gli habitat naturali degli animali, rendendoli meno adatti alla loro sopravvivenza e spingendoli a migrare o ad adattarsi ad ambienti diversi.
Inoltre può danneggiare le piante e gli insetti di cui gli animali si nutrono (tramite ricadute al suolo di polveri contenenti metalli pesanti e/o IPA o deterioramento da gas quali NO_X, sulle lamine fogliari), causando quindi carenze alimentari e stress.

5.3.2 FLORA E VEGETAZIONE

Per quanto concerne i danni sulla Flora e vegetazione l'inquinamento atmosferico da traffico veicolare può avere effetti indesiderati causate ad esempio dalle polveri sottili indicate come PM (Particulate Matter).

Questo tipo di particolato, presente nell'aria, può essere costituito da diverse sostanze: sabbia, ceneri Silicee di varia natura, sostanze vegetali, composti metallici, fibre tessili naturali e artificiali, sali, elementi come il carbonio o il piombo, ecc.
Le polveri, composte da particelle di diverse dimensioni e composizioni, hanno effetti negativi sulla vegetazione, danneggiando le foglie e ostacolando processi vitali come la fotosintesi in quanto si depositano sulle superfici fogliari, riducendo conseguentemente l'efficienza della fotosintesi stessa compromettendo la crescita e lo sviluppo delle piante, inoltre possono bloccare le aperture fogliari (stomati), riducendo la traspirazione e causando squilibri nel bilancio idrico delle piante stesse.
Oltre a ciò i contaminanti contenuti nelle polveri (o adesi ad esse), come metalli pesanti e idrocarburi (IPA) possono essere assorbiti dalle piante e avere effetti tossici, danneggiando sia i tessuti che i processi metabolici.
Grandi quantitativi di polveri, anche se inerti possono provocare l'ostruzione, almeno parziale, delle aperture stomatiche con conseguenti riduzioni di scambi gassosi tra foglia ed ambiente; questo disturbo, insieme alla schermatura della radiazione solare, costituisce la principale causa delle alterazioni metaboliche che portano a riduzioni quali-quantitative di produttività. La temperatura delle foglie coperte da incrostazioni può aumentare sensibilmente anche di 10°C. Notevole anche l'impatto chimico: le particelle solubili presenti all'interno delle polveri possono provocare effetti caustici a carico della cuticola e dell'epidermide oppure penetrazione per via stomatica di sostanze tossiche.

Gli ossidi di azoto (NO_x ed in particolare NO_2) rappresentano inquinanti secondari dato che derivano per lo più, dall'ossidazione in atmosfera del monossido di azoto. Il biossido di azoto svolge un ruolo fondamentale nella formazione dello smog fotochimico in quanto costituisce l'intermedio di base per la produzione di tutta una serie di inquinanti secondari molto pericolosi come l'ozono, l'acido nitrico, l'acido nitroso, ecc. Si stima che gli ossidi di azoto contribuiscano per il 30% alla formazione delle piogge acide (il restante è imputabile al biossido di zolfo e ad altri inquinanti).

Gli NO_x sono solo parzialmente solubili in acqua e questo influenza notevolmente il trasporto e gli effetti a distanza. La comparsa di sintomi sulle piante è rara, essendo in genere necessarie concentrazioni elevate nel caso si verificasse le lesioni sono di solito di aspetto idropico o "allessato": dapprima evidenti sulla pagina adassiale delle foglie, sono rapidamente seguite da collasso.

Tendenzialmente più numerose nelle porzioni apicali, le aree interessate, in genere limitate dalle nervature principali, assumono contorno irregolare e necrotizzato; a maturazione il colore più frequente è biancastro o bruno. Nelle conifere gli effetti macroscopici sono inizialmente costituiti dalla comparsa di pigmentazioni bruno-rossastre nelle parti distali delle foglie aghiformi; spesso tra tessuti sani e danneggiati si evidenzia un confine netto. I livelli di NOx comunemente rinvenibili nell'ambiente sono responsabili

eventualmente di manifestazioni di tipo cronico, di difficilissima individuazione perché assolutamente aspecifici. Gli indizi più frequenti sono ritardi di sviluppo, riduzioni di biomassa e modeste clorosi. La diagnosi dei danni su base sintomatica è dunque quanto mai difficile, in quanto gli effetti macroscopici sono di norma indistinguibili da quelli causati da altri inquinanti.

L'accertamento per le esposizioni croniche è praticamente impossibile per un'infinità di fattori che possono provocare clorosi di modeste entità e riduzioni di sviluppo. L'accumulo di azoto determinato in una diagnosi su base chimica non ha fini diagnostici, in quanto fenomeno troppo modesto rispetto alle naturali variazioni delle piante (l'azoto nei tessuti vegetali varia entro un intervallo dell'1-3%).

6 PROGETTAZIONE DEL MONITORAGGIO

La progettazione delle attività si è articolata in diverse fasi alfine di scegliere quale approccio era il più coerente per la definizione della valutazione dell'impatto della presenza umana in aree montane di particolare pregio naturalistico ed ambientale.

Le attività sono state eseguite in diverse fasi di lavoro:

- Posizionamento dei sistemi di acquisizione e della stazione meteo-sito specifica
- Campionamento ed esecuzione delle analisi chimiche
- Valutazione della coerenza dei dati ed indicazioni delle criticità emerse durante la campagna di misura
- Esecuzione della modellistica e conclusioni della sperimentazione

In fase di progettazione delle attività di monitoraggio sono stati valutati tutti i fattori indicati nella premessa al presente documento; nel caso specifico è stata valutata l'area di studio afferente al tracciato della SP 173 nell'interezza del suo percorso identificando le criticità che sono presenti, le quali, oltre alla impossibilità di approvvigionamento energetico, sono anche legati all'esposizione dei versanti e delle situazioni di maggior o minor apporto di inquinanti in funzione del tracciato stesso (zone di salita in sterrato, aree a ridosso dei tracciati di cresta, zone di parcheggio o aree umide, ecc.).

Dato lo sviluppo in quota non è stato necessario valutare anche l'effetto schermante dovuto alla presenza di aree boscate lungo i pendii.

Tutti questi fattori hanno quindi permesso di orientare l'acquisizione dei parametri previsti, utilizzando sistemi di campionamento di tipo passivo da posizionare in punti significativi del tracciato e lasciarli in esposizione per tutto il periodo in cui vi è traffico turistico.

Tale attività, è stata eseguita sia nell'estate del 2024 che in quella del 2025. Il fatto di avere a disposizione dati ottenuti a parità di geolocalizzazione, per due anni consecutivi permette quindi di definire alcuni aspetti:

- Se è possibile identificare situazioni ripetibili in termini di apporto di inquinanti sull'ambiente circostante. Ovviamente poiché l'apporto è strettamente collegato alle condizioni meteo e di traffico la ripetibilità va intesa non come sovrapposizione dei dati ma come andamenti simili
- Verificare se, in termini di modellistica diffusionale, la distribuzione degli inquinanti rilevati è distribuita in modo omogeneo nell'intorno delle aree di transito.

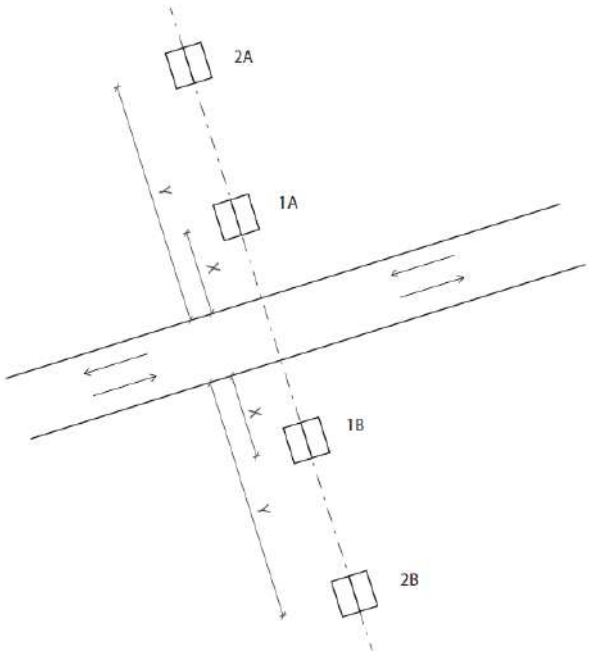
6.1 ORGANIZZAZIONE DELLE STAZIONI DI MISURA

Per quanto riportato in premessa il monitoraggio è stato effettuato utilizzando due tecniche di campionamento diverse:

- Captazione delle polveri tramite deposimetri totali
- Captazione dei gas di combustione, in particolare NO_2, tramite campionatori diffusivi a simmetria radiale

Per quanto concerne i sistemi di captazione tramite deposimetri totali essi sono stati posizionati su nr due transetti il più possibile ortogonali rispetto al tracciato stradale (limitatamente all'orografia dell'area), ogni transetto è costituito da nr 4 stazioni poste, ove possibile, a monte/valle del tracciato stradale in posizioni che sono state definite in seguito a sopralluogo preventivo.
Tali postazioni permettono quindi di captare, per buona parte del periodo estivo in cui la strada è fruibile a livello turistico, le polveri di ricaduta generate sia dal sollevamento del particolato dal manto stradale sterrato (polveri da ri-sollevamento) che le polveri immesse in ambiente dai motori a combustione interna i cui i prodotti di combustione vengono scaricati direttamente nell'ambiente esterno.
Oltre a questa fonte sarà possibile captate anche le micro particelle generate dall'usura dei componenti (es freni, vernice delle carrozzerie, metalli presenti negli olii lubrificanti, ecc.).

Le stazioni di captazione sono state posizionate a distanze crescenti dal bordo stradale secondo il seguente schema generale:



Schema 1: organizzazione standard dei transetti rispetto alla sezione viaria

La distanza delle singole stazioni di misura dal bordo stradale (distanze x ed y nello schema) è stata valutata in funzione delle informazioni ricavate in fase di sopralluogo preliminare. Sono stati installati nr 2 transetti uno in prossimità della Casa Assietta un altro al Col Blanget adeguandole alle peculiarità di ogni sito.

Nel caso specifico un ruolo molto importante per il posizionamento dei deposimetri è legato all'orografia del tracciato della strada, il posizionamento delle singole stazioni è stato quindi modulato in funzione della distanza dal bordo stradale e, soprattutto, della pendenza dei declivi (che sono parte integrante dell'orografia dell'area) tenendo conto che questa tipologia di sistema di captazione per ottimizzare le sue capacità di campionamento, deve essere installato in modo tale che i contenitori di captazione siano il più possibile in piano.

Data la tipologia di parametri da determinare ogni singola stazione è costituta da nr due sistemi di captazione differenti:

- Un sistema costituito da una vasca in PE ad uso alimentare, di adeguato volume che permette di raccogliere le ricadute secche (polveri) ed umide (pioggia) e che è stata utilizzata per eseguire le successive determinazioni di parametri inorganici [12]
- Un sistema costituito da una vasca in acciaio INOX di adeguato volume che, previa pulizia di fondo con opportuno solvente, ha permesso di prelevare le deposizioni (secche ed umide) destinate alla determinazione delle componenti organiche[13]

La differenza di materiale per le due vasche è legata alla necessità di avere un contenitore che sia il più possibile inerte rispetto alla frazione da sottoporre ad analisi; ad esempio nei contenitori in materiale plastico (anche se ad uso alimentare) le polveri destinate ad analisi di composti organici potrebbe essere soggette ad interferenza negativa legata a fenomeni di adsorbimento superficiale tra le componenti, analogamente l'utilizzo di contenitori metallici è fortemente sconsigliato nel caso di successive analisi di metalli in quanto il contenitore stesso, nonostante sia di acciaio Inox 18/10 potrebbe dare luogo ad interferenze positive sulle determinazioni analitiche finali.

[12] R105- R550 – pH – Conducibilità elettrica (in sito ed in laboratorio), Anioni: NO3-NO2-F-Cl-PO3-SO4-Br, Metalli: Al-Sb-As-Ag-Ba-Be-B-Cd-Ca-Cr tot-Co-Fe-Mg-Mn-Hg-Mo-Ni-K-Pb-Cu-Na-Se-Tl-V-Zn, granulometria

[13] IPA: Naftalene-Acenaftilene-Fluorene-Antracene-Fenantrene-Fluorantene-Pirene-Benzo(a)antracene-Crisene-Benzo(b)fluorantene-Benzo(j)fluorantene-Benzo(k)fluorantene-Benzo(a)pirene- Indeno(1,2,3-c-d)pirene-Benzo(g,h,i)perilene-Dibenzo(a,h) antracene



Sistema di campionamento delle deposizioni totali



Sistema di captazione diffusivo radiale per gli ossidi di azoto

Figura 7 : sistemi di campionamenti installati (sx) deposimetri totali (dx) campionamenti diffusivi

Per quanto concerne invece il campionamento dei gas da combustione sono stati posizionati sistemi di captazione diffusivi radiali per la determinazione degli ossidi di Azoto NO_2.

Questo di sistema di captazione passiva è costituito da un cilindro che preleva campioni di aria senza l'ausilio di pompe o apparecchiature complesse; in pratica l'aria entra nel dispositivo per diffusione, non tramite aspirazione forzata, questa metodologia lo rende silenzioso e facile da usare anche in situazioni in cui non è possibile un collegamento con la rete energetica.

Nella tabella seguente vengono riportati i dati di localizzazione geografica dei sistemi installati Per ogni punto di misura vengono indicati:

- La codifica alfanumerica delle singole postazioni
- La tipologia di campionatore
- Le coordinate geografiche
- La quota a base palo/quota piano campagna
- La località in cui sono stati installati i sistemi di captazione

ID	TIPOLOGIA	coordinate N	coordinate E	QUOTA BASE PALO [m.l.m]	LOCALITA'
BLK 1_2	DIFFUSIVO	45,0417	6,5836	2250	FORTE GRAN SERIN
BLK 2_2	DIFFUSIVO	45,0418	6,5837	2251	FORTE GRAN SERIN
CA 1_8	DIFFUSIVO	45,0415	6,5728	2465	COLLE ASSIETTA
CA 2_8	DIFFUSIVO	45,0414	6,5725	2460	COLLE ASSIETTA
CA 3_8	DIFFUSIVO	45,0413	6,5727	2461	COLLE ASSIETTA
CA 4_8	DIFFUSIVO	45,0413	6,5724	2468	COLLE ASSIETTA
CA 5_8	DIFFUSIVO	45,0413	6,5724	2458	COLLE ASSIETTA
CA 6_8	DIFFUSIVO	45,0410	6,5727	2461	COLLE ASSIETTA
CA 7_8	DIFFUSIVO	45,0410	6,5724	2474	COLLE ASSIETTA
CA 8_8	DIFFUSIVO	45,0410	6,5722	2476	COLLE ASSIETTA
RCA 1_2	DIFFUSIVO	45,0343	6,5730	2516	RIFUGIO CASA ASSIETTA
RCA 2_2	DIFFUSIVO	45,0342	6,5625	2508	RIFUGIO CASA ASSIETTA
CB 1_8	DIFFUSIVO	45,0214	6,5459	2370	COL BLEGIET
CB 2_8	DIFFUSIVO	45,0213	6,5459	2362	COL BLEGIET
CB 3_8	DIFFUSIVO	45,0214	6,5459	2368	COL BLEGIET
CB 4_8	DIFFUSIVO	45,0214	6,5458	2378	COL BLEGIET
CB 5_8	DIFFUSIVO	45,0214	6,5459	2360	COL BLEGIET
CB 6_8	DIFFUSIVO	45,0215	6,5459	2350	COL BLEGIET
CB 7_8	DIFFUSIVO	45,0216	6,5455	2342	COL BLEGIET
CB 8_8	DIFFUSIVO	45,0214	6,5460	2381	COL BLEGIET
BLK	DEPOSIMETRI	45,0418	6,5835	2250	FORTE GRAN SERIN
TR1 D1_4	DEPOSIMETRI	45,0337	6,5625	2493	RIFUGIO CASA ASSIETTA
TR1 D2_4	DEPOSIMETRI	45,0339	6,5624	2500	RIFUGIO CASA ASSIETTA
TR1 D3_4	DEPOSIMETRI	45,0342	6,5625	2508	RIFUGIO CASA ASSIETTA
TR1 D4_4	DEPOSIMETRI	45,3430	6,5630	2517	RIFUGIO CASA ASSIETTA
TR2 D1_4	DEPOSIMETRI	45,0214	6,5460	2372	COL BLANGET
TR2 D2_4	DEPOSIMETRI	45,0214	6,5459	2360	COL BLANGET
TR2 D3_4	DEPOSIMETRI	45,0215	6,5459	2352	COL BLANGET
TR2 D4_4	DEPOSIMETRI	45,0216	6,5455	2342	COL BLANGET

Tabella 1 : localizzazione dei sistemi di captazione installati; i punti sono rimasti invariati durante le due campagne di misura

6.2 TEORIA DEL CAMPIONAMENTO DIFFUSIVO

In questi ultimi anni i sistemi di campionamento di tipo diffusivo hanno permesso valutare concentrazioni di inquinanti anche in zone in cui non è possibile installare sistemi tradizionali (cabine di monitoraggio). Tali sistemi sono quindi di facile gestione anche se, a differenza dei sistemi tradizionali, non permettono di avere misure puntuali di tipo orario o giornaliero, ma il loro utilizzo rende dati mediati di concentrazione rilevata su periodi temporali più o meno lunghi. In questo modo il valore di concentrazione risulta "appiattito".

Il campionatore a diffusione è una scatola chiusa, cilindrica, nella quale una delle due facce piane è "trasparente" alle molecole gassose e quella opposta le adsorbe. La prima faccia è chiamata superficie diffusiva, la seconda superficie adsorbente. Sotto il gradiente di concentrazione, le molecole gassose attraversano S diffondendo verso A, lungo il percorso l parallelo all'asse della scatola. Le molecole adsorbibili vengono trattenute da A in accordo alla legge della diffusione:

$$\frac{dm}{dt} = D - S\, dC/dr \qquad [1]$$

dove dm è la massa adsorbita nel tempo dt e D è il coefficiente di diffusione.

Se C è la concentrazione alla superficie diffusiva e C0 quella sulla superficie adsorbente, l'integrale della [1] diventa:

$$\frac{m}{t} = \frac{DS(C-Co)}{I} \qquad [2]$$

Il quale diventa

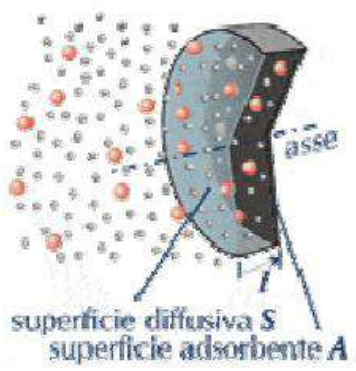
$$\frac{m}{tC} = \frac{DS}{I} = Q \qquad [3]$$

E quindi

$$C = m/tQ \qquad [4]$$

se la concentrazione sulla superficie adsorbente è uguale o molto vicina a 0 Q è la portata di campionamento, le cui dimensioni sono quelle di un flusso (esprimendo m in µg, t in minuti e C in µg·l-1, Q ha le dimensioni di l·min-1. Riscrivendo la [3] si ottiene la [4].

Dunque, se Q è costante e nota, per conoscere il valore della concentrazione ambientale è sufficiente misurare la massa captata dall'adsorbente ed il tempo in cui il campionatore è rimasto esposto.



Nel campionamento diffusivo assiale, superfici diffusiva ed adsorbente sono due facce piane e contrapposte di una scatola chiusa, di solito cilindrica. Sotto il gradiente di concentrazione, le molecole adsorbibili (in colore) penetrano la superficie diffusiva rimanendo intrappolate da quella adsorbente.

Schema 2 : visualizzazione del processo diffusivo

6.3 LOCALIZZAZIONE DELLE STAZIONI DI MISURA

Per avere dati il più possibile rappresentativi delle diverse situazioni di frequentazione, e quindi rappresentativi del traffico veicolare dell'area, è stata effettuata la scelta di posizionare i sistemi di campionamento secondo due schemi differenti:

- Stazioni di misura costituite da campionatori diffusivi e deposimetri (stazioni di misura completa) e
- Stazioni d misura costituite dai soli campionatori diffusivi

Tale scelta è stata dettata dalla necessità sovrapporre le esigenze legate sia al numero di stazioni di misura previste che alle condizioni di traffico/sosta dei veicoli osservate durante i sopralluoghi preliminari effettuati lungo l'intero percorso stradale

I punti di campionamento sono stati gli stessi per ambedue le campagne di misura, tale scelta è stata dettata dal poter raffrontare dati che, al netto delle variabili già presenti (condizioni meteo e distribuzione del traffico veicolare nel tempo), fossero stati generati nei medesimi punti geografici

Le stazioni posizionate sono quindi state le seguenti:

Colle dell'Assietta: Campionamento NO_2

Tale zona è costituita da un'area di parcheggio di ampiezza abbastanza limitata ed è un punto di sosta privilegiato soprattutto per ammirare i due versanti vallivi







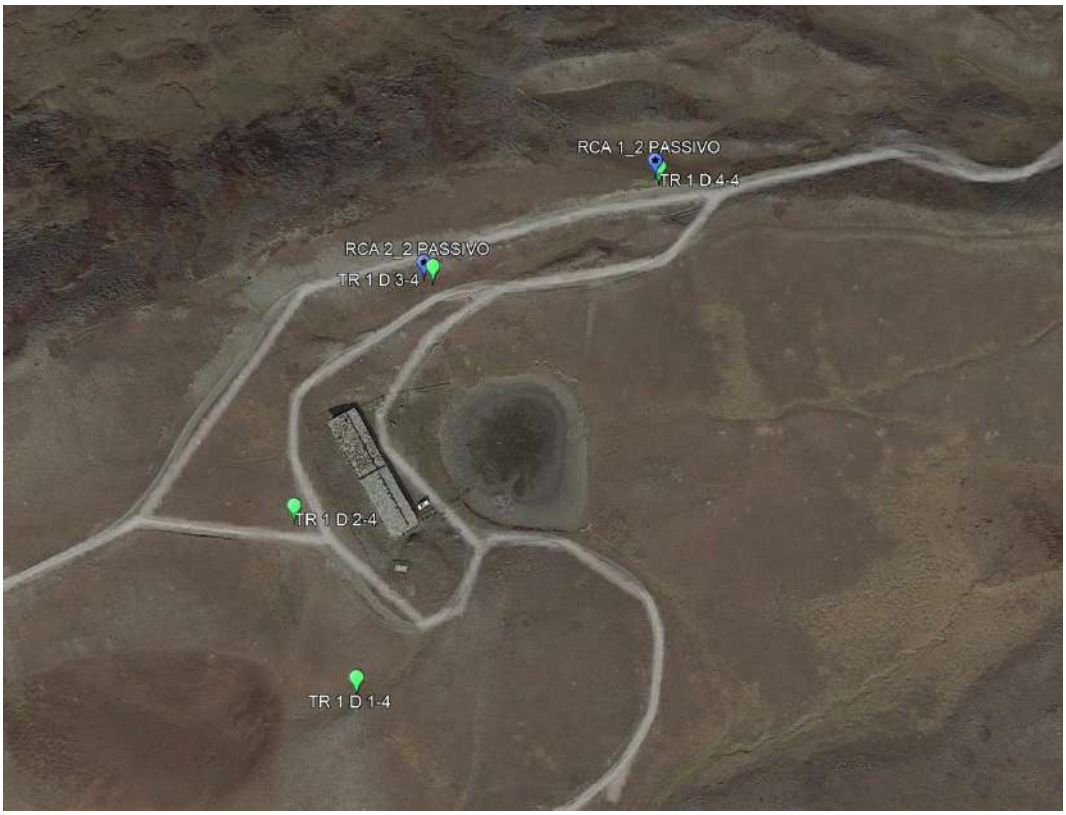
Casa Assietta - Campionamento polveri (componenti organiche ed inorganiche) - Campionamento NO_2 – TRANSETTO NR 1

Il Rifugio Alpino Casa Assietta è stato ristrutturato su una costruzione militare, si trova lungo la strada panoramica dell'Assietta, nel Parco Regionale Naturale del Gran Bosco di Salbertand, a 2527 m di quota, è aperto durante la stagione estiva ed é raggiungibile in macchina su strada sterrata.

E' l'unico posto di tutto il tragitto ad avere la disponibilità di un'area di sosta abbastanza ampia.







Col Blegier: Campionamento polveri (componenti organiche ed inorganiche) Campionamento NO_2 area di transito con un'area di sosta estremamente limitata (max 3-4 auto)
TRANSETTO NR 2







Gran Serin (BLK) - Campionamento polveri (componenti organiche ed inorganiche) - Campionamento NO_2

Il Forte del Gran Serin attualmente è un rudere di una fortificazione costruita verso la fine del XIX secolo per difendere le frontiere nord-occidentali, posto lungo la strada dell'Assietta nei pressi dell'omonimo colle., accessibile solo a piedi/bici.





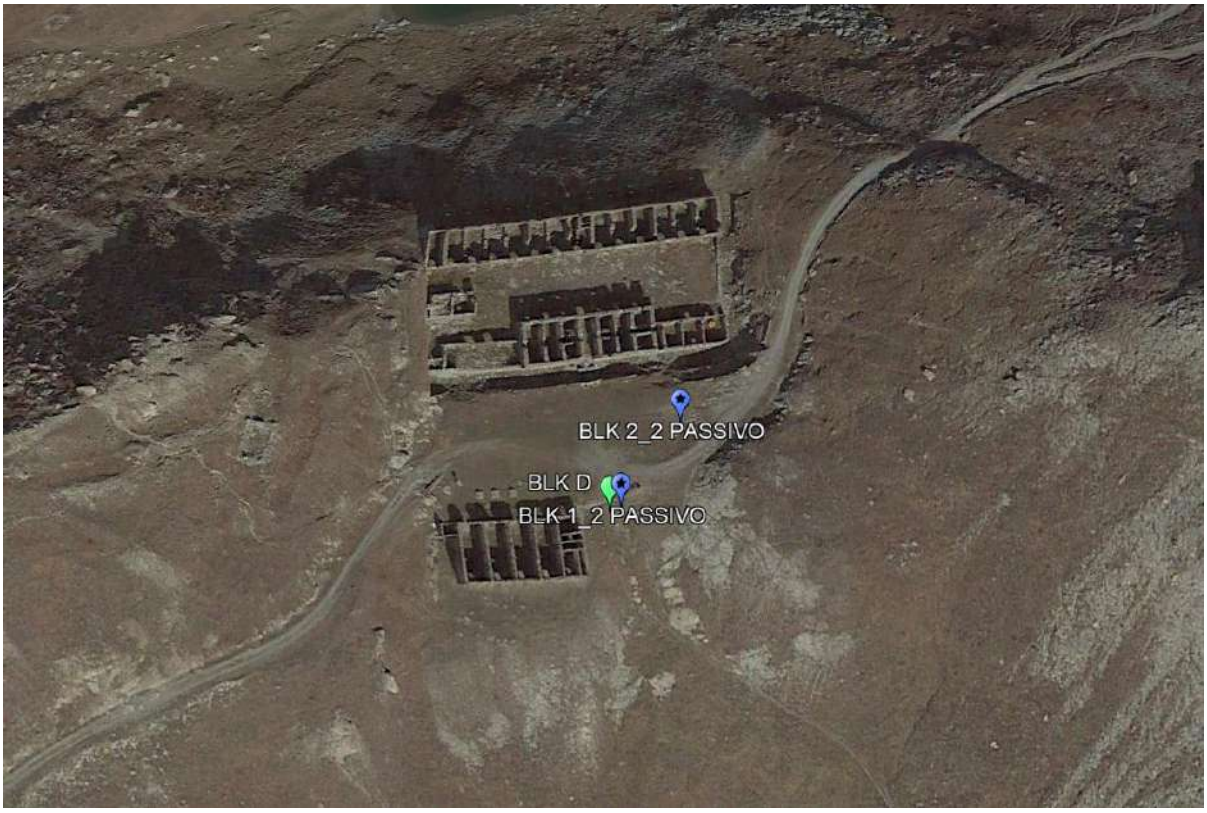


Figura 8 : zone di posizionamento delle stazioni di misura

6.3.1 BIANCHI DI RIFERIMENTO

Per valutare l'effettivo apporto dato dal transito veicolare turistico è stata installata, come bianco di riferimento, una stazione completa sia per la captazione delle deposizioni (per l'acquisizione delle frazioni organica ed inorganica) che di due punti di captazione dei gas NO_2.

Tale stazione di riferimento (in gergo chiamata "Bianco" siglata BLK) è stata installata in un'area non soggetta ad influenze di tipo antropico (vedi Figura 8).

I dati rilevati da tale postazione hanno permesso di valutare, con buona approssimazione, qual è il fondo ambientale dell'area in assenza di qualunque tipologia di traffico veicolare motorizzato.

6.4 SITUAZIONE METEOROLOGICA

Le aree dello studio, come detto precedentemente, sono localizzate su un crinale la cui lunghezza è notevole (il tracciato è di circa 36 Km), nello specifico in tale zona non sono presenti stazioni meteo per cui, per avere un'idea il più possibile sito-specifica della situazione anemologica dell'area è stata installata una stazione meteo in prossimità di Casa Assietta.
La stazione meteo sito-specifica ha rilevato i dati esclusivamente per i periodi di monitoraggio e, successivamente, è stata disinstallata.
Per la campagna eseguita nel 2025 alcuni dati meteo rilevati dalla stazione di Casa Assietta non hanno potuto essere validati (valore 999) per cui, per avere la serie completa e permettere quindi l'avvio delle procedure di modellistica, i dati non validati sono stati sostituiti con i dati delle stazioni meteo dell'ARPA Piemonte (Sestriere Alpette) che risultavano essere più aderenti alle serie.

La stazione meteo posizionata presso Casa Assietta era attrezzata con i sensori meteo classici

- direzione vento- DV [°N]
- velocità vento – VV [m/s]
- umidità relativa, - UR [%]
- Temperatura aria, Taria [°C]
- Pluviometria [mm H2O],
- Pressione atmosferica, Patm [mbar]
- Irraggiamento solare [W/m2]

E' stata installata ad inizio delle singole campagne e ritirata al termine annuale delle attività.

6.4.1 VENTI

Per quanto concerne la direzione dei venti e la loro intensità si riporta le rose dei venti relative ai periodi in esame

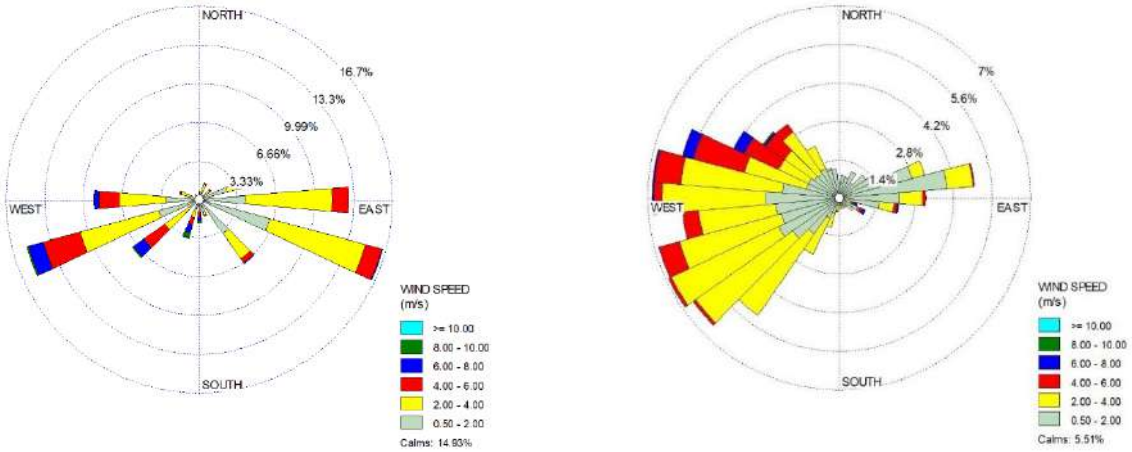


Figura 9 : confronto rosa dei venti anni 2024 (sx) – 2025 (dx)

Rispetto al 2024 nel 2025 la situazione anemologica presenta una variabilità direzionale maggiore (nel terzo e quarto quadrante) ma, una velocità del vento generalmente inferiore.

6.4.2 PRECIPITAZIONI

Fino ai primi giorni di settembre 2024 l'apporto pluviometrico in zona è stato abbastanza modesto, purtroppo avvicinandoci alla stagione autunnale vi sono stati diversi episodi di piogge molto intense che hanno portato ad avere una quantità cumulata di pioggia, nel periodo totale di esposizione, pari a 211,2 mm di pioggia. Di questi nel solo periodo tra il 02 settembre ed il 05 settembre ne sono caduti 114,6 (54,2 % del totale del periodo).

Nel grafico seguenti sono riportati i dati di pioggia (dati orari) misurati nel periodo

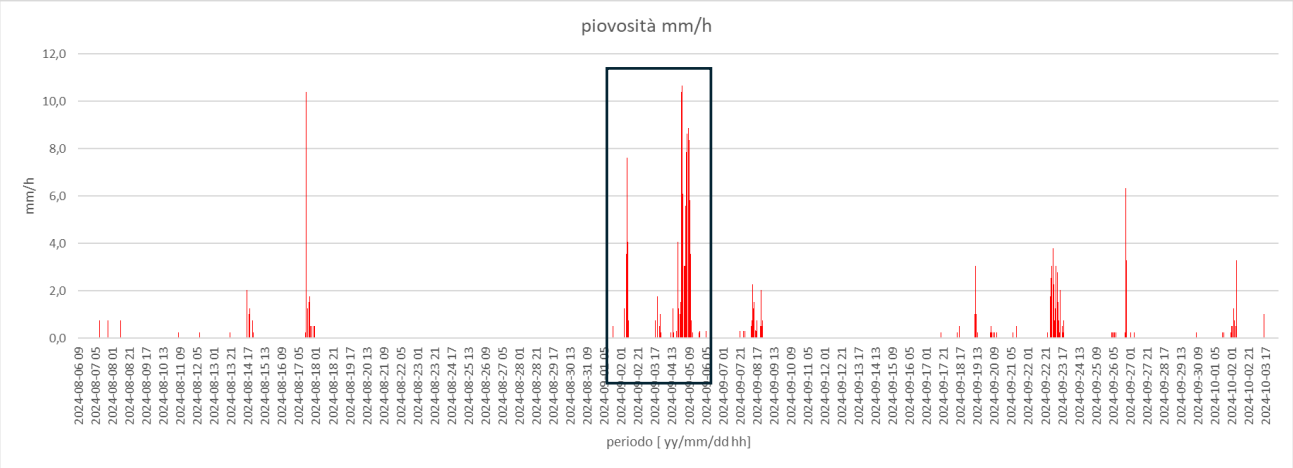


Figura 10 : dati orari di pioggia campagna 2024 nel riquadro il fenomeno intenso dei giorni 01-05 settembre 2024

Nel 2025 la situazione pluviometrica è stata decisamente molto meno intensa e meglio distribuita nel periodo di misura.

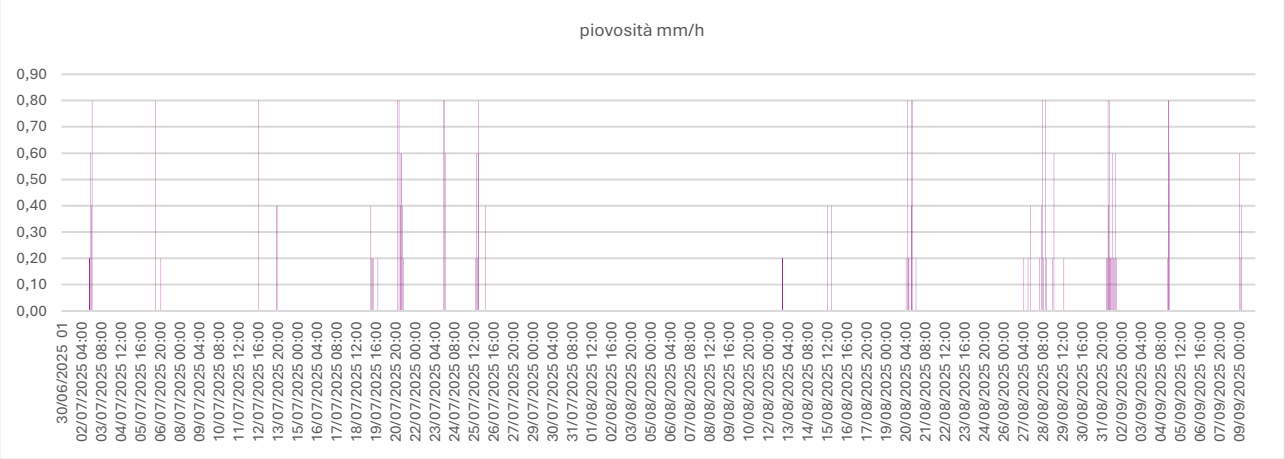


Figura 11 : dati orari di pioggia campagna 2025

6.4.3 TEMPERATURA

Tale parametro non influenza direttamente i valori di ricaduta delle polveri ma ha una certa influenza sui valori di diffusione dei gas e quindi della captazione del parametro NO_2.
Infatti in questo tipo di sensori la portata di campionamento Q dipende dal coefficiente di diffusione D, grandezza termodinamica caratteristica di ogni sostanza, che varia con la temperatura (T) e con la pressione (P); dunque, anche la portata di campionamento dipende da questi parametri, secondo una legge del tipo:

$$Q = f(T,P)$$

La correzione per la pressione atmosferica in condizioni diverse da quelle standard cioè di 25 °C (298 K) e 1013 hPa è, normalmente, trascurabile; dato che la variazione è lineare e che la pressione atmosferica raramente oscilla di più di 30 hPa nell'intorno di 1013 hPa, l'errore massimo commesso, ignorando la correzione, non supera il ±3%, di solito è compreso entro il ±1,5%.
Più importante può essere invece l'errore commesso trascurando la temperatura, poiché la dipendenza da questo parametro è esponenziale. La conoscenza del valore medio di temperatura è dunque importante per attribuire accuratezza ai risultati analitici.
Nel caso specifico nonostante vi siano stati periodi che hanno presentato temperature al di sotto dei 5°C o addirittura negative è stato applicato un fattore correttivo ai dati rilevati.

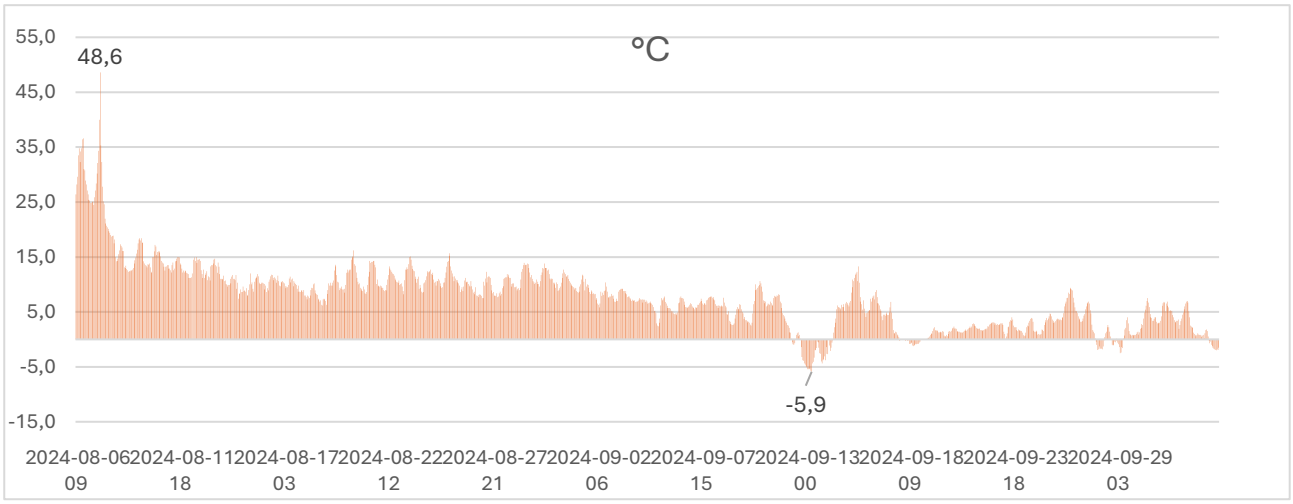


Figura 12 : andamento delle temperature nel periodo di misura anno 2024

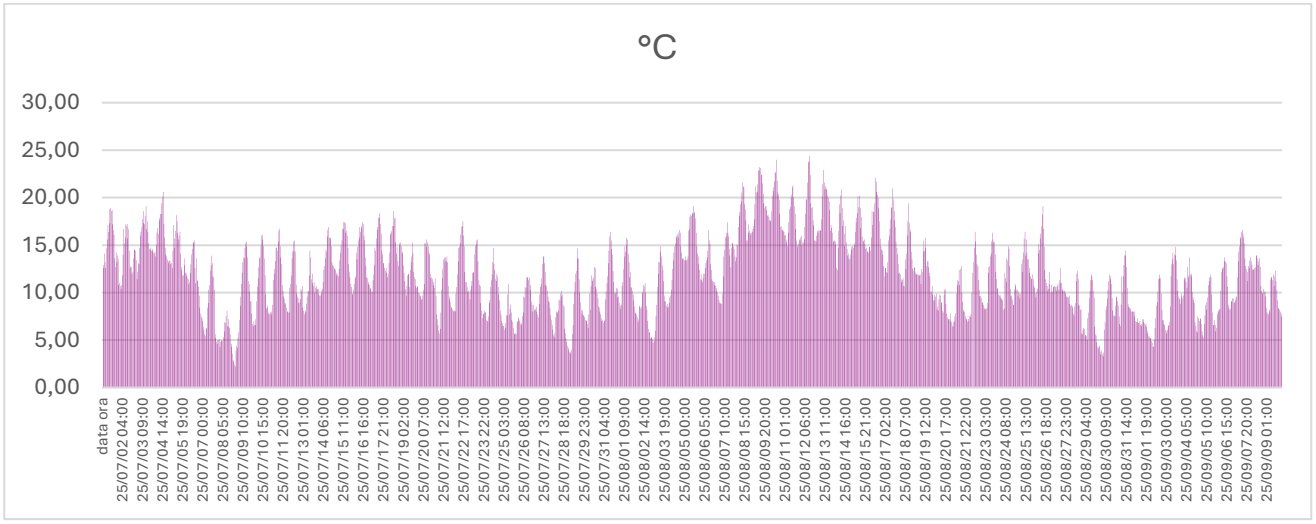


Figura 13 : andamento delle temperature nella campagna di misura 2025

7 STAZIONI DI MISURA

Definite le postazioni in cui installare i sistemi di captazione, le singole stazioni sono state attrezzate e preparate per poter campionare le diverse tipologie di "inquinanti".

I campionatori totali, che come riportato precedentemente, sono costituiti da due vasche di diverso materiale (inox e PE ad uso alimentare) di idonea dimensione, sono stati preventivamente sottoposti ad una pulizia con opportuno solvente (in funzione dei parametri da determinare) e sono quindi state fissate al suolo tramite sistemi che ne impediscano il ribaltamento in caso di vento forte.

Le stazioni predisposte per la captazione degli Ossidi di azoto (NO_2), sono invece costituite da pali di legno infissi nel suolo di altezza pari a circa 2 m da piano campagna a cui è stato fissato il sistema di acquisizione ed una "campana" di protezione dalle piogge.
Su ogni stazione è stata apposta una cartellonistica dedicata indicante il nome del progetto e il nome della stazione (codice alfanumerico).



Figura 14 : Posizionamento delle stazioni di captazione

8 CAMPIONAMENTO

Lo start delle acquisizioni in campo coincide con il posizionamento delle stazioni nei punti di misura prestabiliti.

Nello specifico:

- Per le deposizioni totali nel 2024 le stazioni sono state attivate in data 08/07/2024 ed il termine di captazione è il 04/10/2024 per un totale di 56 giorni
- Per i campionatori diffusivi nel 2024 l'attivazione è stata effettuata in data 19/08/2024 e il termine di esposizione è il 04/10/2024 per un totale di 46 giorni.
- Per l'anno 2025 l'installazione di ambedue i sistemi di captazione è stata eseguita il 30/06/2025 e il ritiro dei campioni è stato fatto il 07/09/2025 per un totale di 69 giorni di esposizione

Anno	diffusivi	deposimetri
2024	Da 19/08/2024 a 04/10/2024	Da 08/08/2024 a 04/10/2024
2025	Da 30/06/2025 a 07/09/2025	Da 30/06/2025 a 07/09/2025

Per ogni sistema di captazione è stata compilata un'apposita scheda di campionamento riportante i seguenti dati:

- data- ora di posizionamento stazione (start) – condizioni meteo
- data- ora di campionamento stazione (stop) – condizioni meteo
- sito di campionamento
- sigla della stazione (rif. Codice alfanumerico) + coordinate GPS
- nome dell'operatore
- condizioni dell'apparato
- PER I DEPOSIMETRI - misure della quantità di acqua presente (sui quattro angoli ed in centro vasca) – calcolo volume totale presente
- PER I DEPOSIMETRI - volume prelevato e tipologia di contenitore (in funzione delle determinazioni analitiche previste)
- Note/osservazioni

8.1 DEPOSIMETRI TOTALI

Tutti i deposimetri in fase di campionamento, per ambedue le campagne, presentavano una notevole quantità di acqua, quindi dopo le misure necessarie per calcolare in volume totale di acqua presente nelle singole vasche, si è provveduto al rimescolamento dell'acqua presente per omogeneizzare i campioni che sono quindi stati prelevati per le successive analisi di laboratorio.

Nel 2024 in fase di campionamento, a causa delle basse temperature rilevate nei periodi antecedenti le attività di prelievo, è stato rilevato sulla superficie delle vasche di captazione uno strato di ghiaccio formatosi in seguito all'abbassamento delle temperature. Tale strato di spessore compreso in un range che andava da qualche mm a circa 10-15 mm a seconda dell'esposizione della stazione e del materiale costituente le vasche di captazione. Tale strato è stato quindi misurato su ogni singolo contenitore ed il suo spessore è stato considerato, per il calcolo del volume finale, come volume aggiuntivo all'acqua presente nei diversi contenitori (con fattore di conversione legata alla densità del ghiaccio pari a 0,9).



Figura 15 : visualizzazione dei deposimetri prima delle attività di prelievo dei campioni di acqua

8.2 SISTEMI DI CAPTAZIONE BIOSSIDO DI AZOTO (NO_2)

Al termine della campagna di misura i sistemi di captazione sono stati tolti dalle loro postazioni e le singole cartucce filtranti sono state sigillate e consegnate al laboratorio per essere sottoposte alle successive determinazioni analitiche.

Nella campagna del 2025 uno dei sistemi di captazione localizzato al Colle dell'Assietta è stato sottratto …

9 ANALISI CHIMICHE

Le analisi chimiche sono state effettuate da laboratorio accreditato ISO/IEC 17025 applicando metodi analitici riconosciuti a livello nazionale e/o internazionale.

Oltre alle analisi chimiche eseguite sui campioni di acqua prelevati, sono state anche effettuate analisi granulometriche (sulla frazione solida) e riscontri in microscopia elettronica (SEM) della morfologia delle particelle con verifica della loro analisi elementare fornita dall' EDX.

Nella tabella seguente sono riportati i metodi di analisi applicati ai campioni di acqua prelevati dai deposimetri totali:

Parametro	U.M.	Metodo analitico
Solidi totali - Residuo secco a 105°C	mg/l	CNR IRSA 2 Q64 Vol 2 1984 / Notiziario IRSA 2 2008
Solidi Totali, Solidi Totali Fissi - Residuo a 550°C	mg/l	CNR IRSA 2 Q64 Vol 2 1984 / Notiziario IRSA 2 2008
pH §	pH	APAT CNR IRSA 2060 Man 29 2003
Conducibilità	uS/cm	EPA 9050A 1996
Azoto nitrico (come N)	mg/l	UNI EN ISO 10304-1:2009
Azoto nitroso (come N)	mg/l	UNI EN ISO 10304-1:2009
Bromuri	mg/l	UNI EN ISO 10304-1:2009
Cloruri (come Cl)	mg/l	UNI EN ISO 10304-1:2009
Fluoruri	mg/l	UNI EN ISO 10304-1:2009
Fosfati (come PO4)	mg/l	UNI EN ISO 10304-1:2009
Solfati (come SO4)	mg/l	UNI EN ISO 10304-1:2009
Acenaftene	ug/l	APAT CNR IRSA 5080 Man 29 2003
Acenaftilene	ug/l	APAT CNR IRSA 5080 Man 29 2003
Antracene	ug/l	APAT CNR IRSA 5080 Man 29 2003
Benzo(a)antracene	ug/l	APAT CNR IRSA 5080 Man 29 2003
Benzo(a)pirene	ug/l	APAT CNR IRSA 5080 Man 29 2003
Benzo(b)fluorantene	ug/l	APAT CNR IRSA 5080 Man 29 2003
Benzo(g,h,i)perilene	ug/l	APAT CNR IRSA 5080 Man 29 2003
Benzo(j)fluorantene	ug/l	APAT CNR IRSA 5080 Man 29 2003

Benzo(k)fluorantene	ug/l	APAT CNR IRSA 5080 Man 29 2003
Crisene	ug/l	APAT CNR IRSA 5080 Man 29 2003
Dibenzo(a,h)antracene	ug/l	APAT CNR IRSA 5080 Man 29 2003
Fenantrene	ug/l	APAT CNR IRSA 5080 Man 29 2003
Fluorantene	ug/l	APAT CNR IRSA 5080 Man 29 2003
Fluorene	ug/l	APAT CNR IRSA 5080 Man 29 2003
Indeno(1,2,3-cd)pirene	ug/l	APAT CNR IRSA 5080 Man 29 2003
Naftalene	ug/l	APAT CNR IRSA 5080 Man 29 2003
Pirene	ug/l	APAT CNR IRSA 5080 Man 29 2003
Calcio	mg/l	APAT CNR IRSA 3030 Man 29 2003
Magnesio	mg/l	APAT CNR IRSA 3030 Man 29 2003
Potassio	mg/l	APAT CNR IRSA 3030 Man 29 2003
Sodio	mg/l	APAT CNR IRSA 3030 Man 29 2003
Alluminio	mg/l	UNI EN ISO 17294-2:2023
Antimonio	mg/l	UNI EN ISO 17294-2:2023
Argento	mg/l	UNI EN ISO 17294-2:2023
Arsenico	mg/l	UNI EN ISO 17294-2:2023
Bario	mg/l	UNI EN ISO 17294-2:2023
Berillio	mg/l	UNI EN ISO 17294-2:2023
Boro	mg/l	UNI EN ISO 17294-2:2023
Cadmio	mg/l	UNI EN ISO 17294-2:2023
Cobalto	mg/l	UNI EN ISO 17294-2:2023
Cromo totale	mg/l	UNI EN ISO 17294-2:2023
Ferro	mg/l	UNI EN ISO 17294-2:2023
Manganese	mg/l	UNI EN ISO 17294-2:2023
Mercurio	mg/l	UNI EN ISO 17294-2:2023
Molibdeno	mg/l	UNI EN ISO 17294-2:2023
Nichel	mg/l	UNI EN ISO 17294-2:2023
Piombo	mg/l	UNI EN ISO 17294-2:2023
Rame	mg/l	UNI EN ISO 17294-2:2023
Selenio	mg/l	UNI EN ISO 17294-2:2023
Tallio	mg/l	UNI EN ISO 17294-2:2023
Vanadio	mg/l	UNI EN ISO 17294-2:2023
Zinco	mg/l	UNI EN ISO 17294-2:2023

Tabella 2 : elenco dei parametri chimici e dei metodi di analisi applicati, (eseguiti sui deposimetri totali)

Per quanto concerne i campionatori diffusivi le analisi sono state eseguite applicando la metodologia proposta dal produttore stesso e comunque riconosciuta ufficialmente per questo tipo particolare di indagine:

Parametro	U.M.	Metodo analitico
Biossido di Azoto (NO_2)	ppb	RADIELLO F. MAUGERI IRCCS NO2 SO2

Tabella 3 : metodo applicato per la determinazione del Biossido di Azoto nei campionatori diffusivi radiali

10 ELABORAZIONE DEI DATI

L'elaborazione dei dati relativi alle analisi chimiche eseguite sui deposimetri è stata effettuata in modo da ottenere i valori di concentrazione, per singolo parametro di cui alla tabella precedente, espressi in mg/m2/giorno (o ug/m2/giorno nel caso degli IPA).

Per quanto concerne invece il biossido di Azoto il dato analitico è stato utilizzato direttamente per le successive elaborazioni, nella forma presentata dai rapporti di prova, al netto della conversione da ppb a mg/m3

Il posizionamento delle varie stazioni è riportato nelle figure di cui al Capitolo 6.3

Nelle tabelle seguenti sono riportate, in forma aggregata i dati delle analisi chimiche eseguite sui campioni prelevati nei deposimetri [14].

Le elaborazioni sono state eseguite considerando, per i valori al di sotto del limite di rilevabilità (LOD) anziché inserire "0" è stato scelto di inserire il valore del LOD/2. [15]

[14] *I rapporti di prova di riferimento sono stati emessi dal Laboratorio NEOSIS con i seguenti nr AEP241007F-001; AEP241007F-002; AEP241007F-003; AEP241007F-004; AEP241007F-005; AEP241007F-006; AEP241007F-007; AEP241007F-008; AEP241007F-009 mentre per il 2025 i Rapporti di prova sono i seguenti: ADB250908D-01, : ADB250908D-02, : ADB250908D-03, : ADB250908D-04, : ADB250908D-05, : ADB250908D-06, : ADB250908D-07, : ADB250908D-08, : ADB250908D-09*

[15] LOD (limite di rilevabilità analitica): rappresenta la concentrazione più bassa che può essere distinta dal rumore di fondo, ma non necessariamente con una stima quantitativa precisa.

	BLK	TR1 1_4	TR1 2_4	TR1 3_4	TR1 4_4	TR2 1_4	TR2 2_4	TR2 3_4	TR2 4_4
Parametro	mg/m2/day	mg/m2/day	mg/m2/day	mg/m2/day	mg/m2/day	mg/m2/day	mg/m2/day	mg/m2/day	mg/m2/day
Solidi totali - Residuo secco a 105°C	67	90	189	219	406	272	171	74	33
Solidi Totali, Solidi Totali Fissi - Residuo a 550°C	< 0,22	< 0,24	< 0,20	< 0,20	< 0,19	< 0,22	< 0,20	< 0,22	< 0,19
pH §	7,24	6,72	6,22	5,96	6,94	6,85	6,66	6,64	6,44
Conducibilità	20,6	7,94	6,00	5,34	19	19,1	17,7	7,7	6,7
Azoto nitrico (come N)	< 0,39	< 0,42	< 0,36	< 0,36	< 0,34	< 0,39	< 0,35	< 0,38	< 0,33
Azoto nitroso (come N)	< 0,02	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Bromuri	< 1,69	< 1,8	< 1,54	< 1,57	< 1,46	< 1,67	< 1,52	< 1,67	< 1,45
Cloruri (come Cl)	< 1,69	< 1,8	< 1,54	< 1,57	< 1,46	< 1,67	< 1,52	< 1,67	< 1,45
Fluoruri	< 0,17	< 0,18	< 0,15	< 0,16	< 0,15	< 0,17	< 0,19	< 0,17	< 0,14
Fosfati (come PO4)	< 1,69	< 1,8	< 1,54	< 1,57	< 1,46	< 1,67	< 1,52	< 1,67	< 1,45
Solfati (come SO4)	< 1,69	< 1,8	< 1,54	< 1,57	< 1,46	< 1,67	< 1,52	< 1,67	< 1,45
Calcio	< 1,69	< 1,8	< 1,54	< 1,57	11,40	14,4	11,2	4,33	< 1,45
Magnesio	< 1,69	< 1,8	< 1,54	< 1,57	< 1,46	< 1,67	< 1,52	< 1,67	< 1,45
Potassio	< 1,69	< 1,8	< 1,54	< 1,57	< 1,46	< 1,67	< 1,52	< 1,67	< 1,45
Sodio	< 1,69	< 1,8	< 1,54	< 1,57	< 1,46	< 1,67	< 1,52	< 1,67	< 1,45
Alluminio	0,030	0,059	0,52	0,41	1,67	0,61	0,36	0,04	0,02
Antimonio	< 0,008	< 0,009	< 0,008	< 0,008	< 0,007	< 0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,007
Argento	< 0,008	< 0,009	< 0,008	< 0,008	< 0,007	< 0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,007
Arsenico	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Bario	< 0,008	< 0,009	< 0,008	< 0,008	< 0,007	< 0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,007
Berillio	< 0,008	< 0,009	< 0,008	< 0,008	< 0,007	< 0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,007
Boro	< 0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,007
Cadmio	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Cobalto	< 0,008	< 0,009	< 0,008	< 0,008	< 0,007	< 0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,007
Cromo totale	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,003	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Ferro	0,051	0,103	1,02	0,94	3,80	1,19	0,73	0,09	0,023
Manganese	< 0,008	< 0,009	0,04	0,03	0,09	0,06	0,04	< 0,008	< 0,007
Mercurio	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0001
Molibdeno	< 0,008	< 0,009	< 0,008	< 0,008	< 0,007	< 0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,007
Nichel	< 0,008	< 0,009	< 0,008	< 0,008	< 0,007	< 0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,007
Piombo	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,002	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Rame	< 0,008	< 0,009	< 0,008	< 0,008	< 0,007	< 0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,007
Selenio	< 0,008	< 0,009	< 0,008	< 0,008	< 0,007	< 0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,007
Tallio	< 0,008	< 0,009	< 0,008	< 0,008	< 0,007	< 0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,007
Vanadio	< 0,008	< 0,009	< 0,008	< 0,008	< 0,007	< 0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,007
Zinco	< 0,008	< 0,009	0,019	0,016	0,023	0,016	0,03	< 0,008	< 0,007

Tabella 4 : dati analitici elaborati espressi in mg/m2/giorno per la campagna del 2024

	BLK	TR1 1_4	TR1 2_4	TR1 3_4	TR1 4_4	TR2 1_4	TR2 2_4	TR2 3_4	TR2 4_4
Parametro	ug/m2/day	ug/m2/day	ug/m2/day	ug/m2/day	ug/m2/day	ug/m2/day	ug/m2/day	ug/m2/day	ug/m2/day
Acenaftene	< 0,0017	< 0,0018	< 0,0015	< 0,0016	< 0,0015	<0,0017	< 0,0015	< 0,0033	< 0,0029
Acenaftilene	< 0,0017	< 0,0018	< 0,0015	< 0,0016	< 0,0015	<0,0017	< 0,0015	< 0,0033	< 0,0029
Antracene	< 0,0017	< 0,0018	< 0,0015	< 0,0016	< 0,0015	<0,0017	< 0,0015	< 0,0033	< 0,0029
Benzo(a)antracene	< 0,0017	< 0,0018	< 0,0015	< 0,0016	< 0,0015	<0,0017	< 0,0015	< 0,0033	< 0,0029
Benzo(a)pirene	< 0,0017	< 0,0018	< 0,0015	< 0,0016	< 0,0015	<0,0017	< 0,0015	< 0,0033	< 0,0029
Benzo(b)fluorantene	< 0,0017	< 0,0018	< 0,0015	< 0,0016	< 0,0015	<0,0017	< 0,0015	< 0,0033	< 0,0029
Benzo(g,h,i)perilene	< 0,0017	< 0,0018	< 0,0015	< 0,0016	< 0,0015	<0,0017	< 0,0015	< 0,0033	< 0,0029
Benzo(j)fluorantene	< 0,0017	< 0,0018	< 0,0015	< 0,0016	< 0,0015	<0,0017	< 0,0015	< 0,0033	< 0,0029
Benzo(k)fluorantene	< 0,0017	< 0,0018	< 0,0015	< 0,0016	< 0,0015	<0,0017	< 0,0015	< 0,0033	< 0,0029
Crisene	< 0,0017	< 0,0018	< 0,0015	< 0,0016	< 0,0015	<0,0017	< 0,0015	< 0,0033	< 0,0029
Dibenzo(a,h)antracene	< 0,0017	< 0,0018	< 0,0015	< 0,0016	< 0,0015	<0,0017	< 0,0015	< 0,0033	< 0,0029
Fenantrene	< 0,0017	< 0,0018	< 0,0015	< 0,0016	< 0,0015	<0,0017	< 0,0015	< 0,0033	< 0,0029
Fluorantene	< 0,0017	< 0,0018	< 0,0015	< 0,0016	< 0,0015	<0,0017	< 0,0015	< 0,0033	< 0,0029
Fluorene	< 0,0017	< 0,0018	< 0,0015	< 0,0016	< 0,0015	<0,0017	< 0,0015	< 0,0033	< 0,0029
Indeno(1,2,3-cd)pirene	< 0,0017	< 0,0018	< 0,0015	< 0,0016	< 0,0015	<0,0017	< 0,0015	< 0,0033	< 0,0029
Naftalene	< 0,0017	< 0,0018	< 0,0015	< 0,0016	< 0,0015	<0,0017	< 0,0015	< 0,0033	< 0,0029
Pirene	< 0,0017	< 0,0018	< 0,0015	< 0,0016	< 0,0015	<0,0017	< 0,0015	< 0,0033	< 0,0029

Tabella 5 : dati analitici Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA) elaborati espressi in ug/m2/giorno per la campagna del 2024

	BLK	TR1 1_4	TR1 2_4	TR1 3_4	TR1 4_4	TR2 1_4	TR2 2_4	TR2 3_4	TR2 4_4
Parametro	mg/m2/day	mg/m2/day	mg/m2/day	mg/m2/day	mg/m2/day	mg/m2/day	mg/m2/day	mg/m2/day	mg/m2/day
Solidi totali - Residuo secco a 105°C	12	11	56	47	117	62	34	20	7
Solidi Totali, Solidi Totali Fissi - Residuo a 550°C	< 0,06	< 0,06	27	23	27	23	< 0,08	< 0,09	< 0,09
pH §	6,61	6,25	6,22	6,00	6,88	6,77	5,82	5,34	5,47
Conducibilità	30,1	28,20	17	19,8	14	50,9	39,8	12,9	11,2
Azoto nitrico (come N)	< 0,22	0,360	0,41	0,370	< 0,15	< 0,17	< 0,14	< 0,16	< 0,17
Azoto nitroso (come N)	<0,028	0,01	0,03	0,010	0,012	0,014	0,011	0,015	0,02
Bromuri	< 0,47	< 0,56	< 0,62	< 0,53	< 0,65	< 0,72	< 0,72	< 0,72	< 0,73
Cloruri (come Cl)	< 0,47	< 0,56	< 0,62	< 0,53	< 0,65	< 0,72	< 0,72	< 0,72	< 0,73
Fluoruri	< 0,047	< 0,06	< 0,06	< 0,53	< 0,06	< 0,07	< 0,07	< 0,07	< 0,07
Fosfati (come PO4)	< 0,47	1,67	< 0,62	< 0,53	< 0,65	< 0,72	< 0,72	< 0,72	< 0,73
Solfati (come SO4)	< 0,47	1,56	1,36	1,38	1,43	< 0,72	< 0,72	< 0,72	< 0,73
Calcio	2,25	1,45	0,13	1,38	7,4	12,8	3,9	1,72	< 0,73
Magnesio	< 4,77	< 0,56	< 0,62	< 0,53	< 0,65	< 0,72	< 0,62	< 0,72	< 0,73
Potassio	< 4,77	< 0,56	< 0,62	< 0,53	< 0,65	< 0,72	< 0,62	< 0,72	< 0,73
Sodio	< 4,77	< 0,56	< 0,62	< 0,53	< 0,65	< 0,72	< 0,62	< 0,72	< 0,73
Alluminio	0,011	0,010	0,12	0,008	0,070	0,023	0,013	0,014	0,01
Antimonio	< 0,002	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,004	< 0,003	< 0,004	< 0,004
Argento	< 0,002	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,004	< 0,003	< 0,004	< 0,004
Arsenico	< 0,0002	< 0,0003	< 0,0003	< 0,0003	< 0,0003	< 0,0004	< 0,0003	< 0,0004	< 0,0004
Bario	< 0,002	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,004	< 0,003	< 0,004	< 0,004
Berillio	< 0,002	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,004	< 0,003	< 0,004	< 0,004
Boro	< 0,002	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,004	< 0,003	< 0,004	< 0,004
Cadmio	< 0,0002	< 0,0003	< 0,0003	< 0,0003	< 0,0003	< 0,0004	< 0,0003	< 0,0004	< 0,0004
Cobalto	< 0,002	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,004	< 0,003	< 0,004	< 0,004
Cromo totale	< 0,002	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,004	< 0,003	< 0,004	< 0,004
Ferro	0,008	0,007	0,01	0,010	0,007	0,01	< 0,003	0,004	< 0,004
Manganese	< 0,002	0,007	0,02	< 0,003	< 0,003	0,03	0,02	0,017	< 0,004
Mercurio	< 0,00005	< 0,00005	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,00007	< 0,0001	< 0,00007	< 0,0001
Molibdeno	< 0,002	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,004	< 0,003	< 0,004	< 0,004
Nichel	< 0,002	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,004	< 0,003	< 0,004	< 0,004
Piombo	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0003	< 0,0003	< 0,0003	< 0,0004	< 0,0003	< 0,0004	< 0,0004
Rame	< 0,002	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,004	< 0,003	< 0,004	< 0,004
Selenio	< 0,002	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,004	< 0,003	< 0,004	< 0,004
Tallio	< 0,002	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,004	< 0,003	< 0,004	< 0,004
Vanadio	< 0,002	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,004	< 0,003	< 0,004	< 0,004
Zinco	< 0,002	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,004	< 0,003	< 0,004	< 0,004

Tabella 6 : : dati analitici elaborati espressi in mg/m2/giorno per la campagna del 2025

	BLK	TR1 1_4	TR1 2_4	TR1 3_4	TR1 4_4	TR2 1_4	TR2 2_4	TR2 3_4	TR2 4_4
Parametro	ug/m2/day	ug/m2/day	ug/m2/day	ug/m2/day	ug/m2/day	ug/m2/day	ug/m2/day	ug/m2/day	ug/m2/day
Acenaftene	< 0,001	< 0,0005	< 0,0006	< 0,0005	< 0,0007	< 0,0008	< 0,0006	< 0,0007	< 0,0007
Acenaftilene	< 0,001	< 0,0005	< 0,0006	< 0,0005	< 0,0007	< 0,0008	< 0,0006	< 0,0007	< 0,0007
Antracene	< 0,001	< 0,0005	< 0,0006	< 0,0005	< 0,0007	< 0,0008	< 0,0006	< 0,0007	< 0,0007
Benzo(a)antracene	< 0,001	< 0,0005	< 0,0006	< 0,0005	< 0,0007	< 0,0008	< 0,0006	< 0,0007	< 0,0007
Benzo(a)pirene	< 0,001	< 0,0005	< 0,0006	< 0,0005	< 0,0007	< 0,0008	< 0,0006	< 0,0007	< 0,0007
Benzo(b)fluorantene	< 0,001	< 0,0005	< 0,0006	< 0,0005	< 0,0007	< 0,0008	< 0,0006	< 0,0007	< 0,0007
Benzo(g,h,i)perilene	< 0,001	< 0,0005	< 0,0006	< 0,0005	< 0,0007	< 0,0008	< 0,0006	< 0,0007	< 0,0007
Benzo(j)fluorantene	< 0,001	< 0,0005	< 0,0006	< 0,0005	< 0,0007	< 0,0008	< 0,0006	< 0,0007	< 0,0007
Benzo(k)fluorantene	< 0,001	< 0,0005	< 0,0006	< 0,0005	< 0,0007	< 0,0008	< 0,0006	< 0,0007	< 0,0007
Crisene	< 0,001	< 0,0005	< 0,0006	< 0,0005	< 0,0007	< 0,0008	< 0,0006	< 0,0007	< 0,0007
Dibenzo(a,h)antracene	< 0,001	< 0,0005	< 0,0006	< 0,0005	< 0,0007	< 0,0008	< 0,0006	< 0,0007	< 0,0007
Fenantrene	< 0,001	< 0,0005	< 0,0006	< 0,0005	< 0,0007	< 0,0008	< 0,0006	< 0,0007	< 0,0007
Fluorantene	< 0,001	< 0,0005	< 0,0006	< 0,0005	< 0,0007	< 0,0008	< 0,0006	< 0,0007	< 0,0007
Fluorene	< 0,001	< 0,0005	< 0,0006	< 0,0005	< 0,0007	< 0,0008	< 0,0006	< 0,0007	< 0,0007
Indeno(1,2,3-cd)pirene	< 0,001	< 0,0005	< 0,0006	< 0,0005	< 0,0007	< 0,0008	< 0,0006	< 0,0007	< 0,0007
Naftalene	< 0,001	< 0,0005	< 0,0006	< 0,0005	< 0,0007	< 0,0008	< 0,0006	< 0,0007	< 0,0007
Pirene	< 0,001	< 0,0005	< 0,0006	< 0,0005	< 0,0007	< 0,0008	< 0,0006	< 0,0007	< 0,0007

Tabella 7 : *dati analitici Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA) elaborati espressi in ug/m2/giorno per la campagna del 2025*

In base alle analisi chimiche eseguite ed ai risultati ottenuti si possono effettuare alcune valutazioni:

- Gli inquinanti organici non volatili IPA (**Idrocarburi Policiclici Aromatici**) non sono stati rilevati in nessun campione sia nella campagna 2024 che in quella 2025. Tali parametri sono tipici delle emissioni da motori diesel
- **Metalli:** in ambedue le campagne che sono stati rilevati su alcuni campioni sono metalli riconducibili alla natura geologica dell'area (Ferro, Alluminio, Calcio e Manganese). In alcuni casi, nella campagna del 2024, sono stati anche identificati, su un numero limitato di campioni Zinco e in un campione del transetto 1 sono state rilevate tracce di Piombo.
- La presenza di acqua piovana nei deposimetri si ripercuote sui valori di acidità (**pH**) che nel 2024 erano compresi tra 7.24 – 5,96 mentre nel 2025 i valori erano all'interno dell'intervallo 6,88 – 5,34; la presenza di acqua piovana si rileva anche dai valori di **Conducibilità elettrica** che sono, ovviamente molto bassi: nel 2024 sono compresi tra 20,6 e 5,34 uS/cm mentre nel 2025 i valori sono nel range 50,9-11,2 uS/cm.
- Da notare che nel 2025 si è rilevata anche la presenza di **azoto nitroso** ed **azoto nitrico**, molto probabilmente di origine biologica e collegata alla presenza di alghe verdi e rosse che sono state rilevate in fase di campionamento.
- Per quanto concerne la presenza di **materiali sedimentati** (polveri da ricaduta) dal grafico seguente si possono valutare delle interessanti correlazioni:

  infatti mentre la quantità, in termini assoluti, è di un ordine di grandezza diverso tra il 2024 ed il 2025, la distribuzione delle quantità risulta essere praticamente la stessa indipendentemente dal periodo di misura e dalle condizioni anemologiche.

  Tale dato è interessante in quanto definisce delle zone in cui, comunque, la ricaduta di polveri "grossolane" risulta essere di magnitudo maggiore.

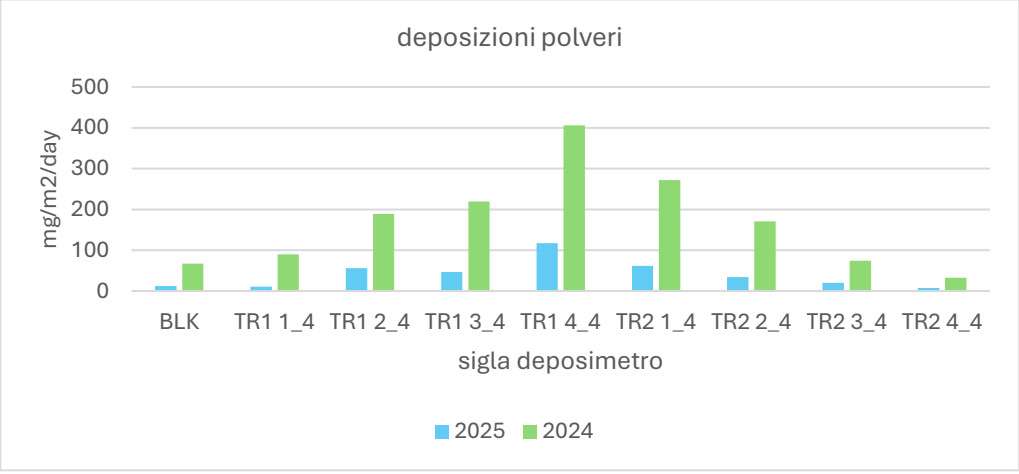


Figura 16 : raffronto della quantità di materiale depositato per singola postazione tra il 2024 ed il 2025

Per quanto concerne i campionatori diffusivi i dati analitici rilevati sono riportati nella tabella seguente e rimandiamo ai capitoli successivi per le elaborazioni del caso:

ID	ppb 2024	ppb 2025
BLK 1_2	<0,0145	0,009
BLK 2_2	<0,0145	0,009
CA 1_8	0,0288	ND
CA 2_8	0,0569	0,033
CA 3_8	<0,0145	0,014
CA 4_8	0,0173	0,096
CA 5_8	0,0393	0,013
CA 6_8	0,0221	0,032
CA 7_8	0,0294	0,009
CA 8_8	0,0295	0,076
RCA 1_2	0,0247	0,055
RCA 2_2	0,0406	0,066
CB 1_8	0,0231	0,03
CB 2_8	0,0204	0,039
CB 3_8	0,0258	0,037
CB 4_8	0,0298	0,077
CB 5_8	0,0327	0,031
CB 6_8	0,0272	0,009
CB 7_8	<0,0145	0,009
CB 8_8	0,0361	0,046

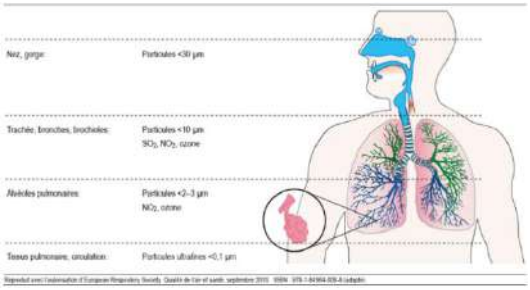
Tabella 8 : risultati analitici dei campionatori a diffusione radiale campagne 2024 e 2025

10.1 GRANULOMETRIA

Per quanto concerne le polveri atmosferiche da ricaduta sono state effettuate, oltre alle analisi chimiche, anche le determinazioni di tipo granulometrico sulla parte insolubile (residuo) presente in tutti i deposimetri. Tale tipologia di indagine permette di definire la suddivisione delle dimensioni delle diverse particelle di polvere presenti.

Per poter raffrontare la dimensione delle particelle con quanto elaborato in termini di impatto la suddivisone della granulometria è stata uniformata su tre tagli dimensionali:

- Particelle con dimensione > 10 um
- Particelle con dimensione 5-10 um
- Particelle con dimensione < 5um



I grafici seguenti riportano la distribuzione percentuale delle polveri ottenute, per i diversi punti di campionamento, nelle due campagne di misura.

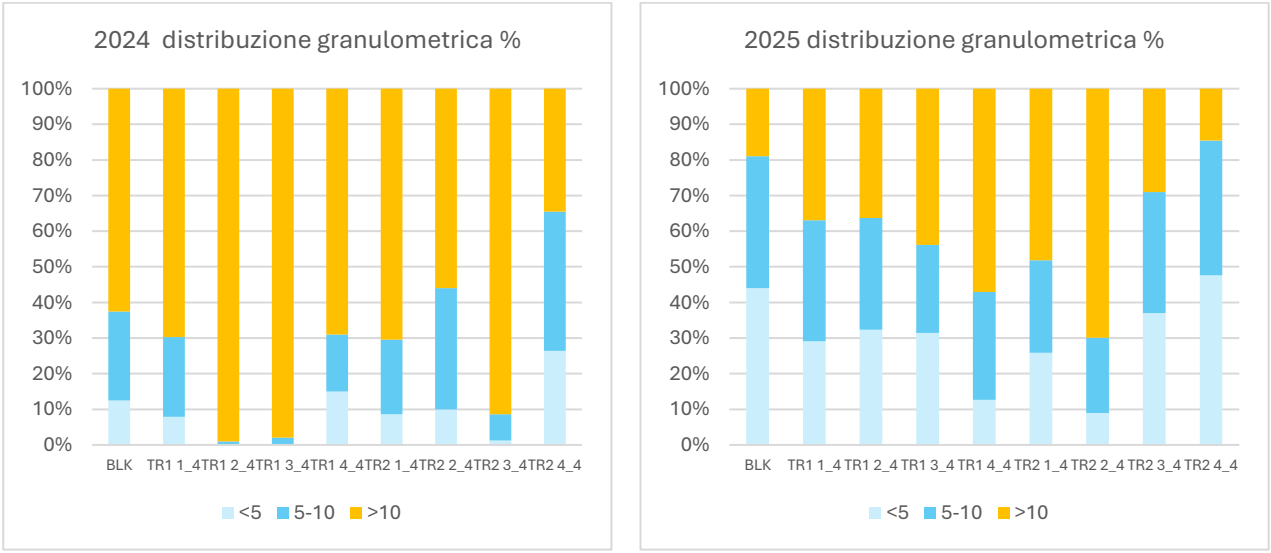


Figura 17 : suddivisione % delle frazioni granulometriche sui diversi campioni di solido presenti nei deposimetri per le due campagne annuali

Le valutazioni sulla distribuzione granulometrica nei campioni del 2024 non sono state confermate per quelli del 2025 se non per pochi punti di campionamento:

- Per il campione di bianco (BLK) nel 2024 la frazione dominante era costituita dalla frazione grossolana (>10um) con il 63% di distribuzione mentre per il 2025 la grossolana si riduce al 19% mentre la preponderante risulta essere quella con diametro < 5 um (44%)
- Per campioni del Transetto 1 (Casa Assietta) solo quello denominato 4_4 (posizionato a lato della strada) risulta mantenere un andamento simile per i due periodi di misura in cui comunque la frazione prevalente è quella con dimensione > 10um (69% nel 2024 e 57% nel 2025). Per il campione 1_4 (quello posizionato più lontano dalla zona di transito/parcheggio) presenta un decremento della frazione >10um che passa dal 70% al 37% mentre vi è un netto incremento delle frazioni a diametro inferiore. Per le altre due postazioni anche in questo caso la situazione viene ribaltata rispetto al 2024. Per tali punti si passa da una percentuale elevatissima di polveri a diametro > 10um (circa il 98-99%) ad una situazione, nel 2025, più "equilibrata". Questi ultimi due punti sono comunque stati posizionati in zone critiche per quanto concerne il passaggio/sosta dei mezzi.

- Per il Transetto 2 la situazione è si diversa ma molto più equilibrata. Il campione 4_4 (posizionato vicino alla zona umida) la frazione a granulometria >10 um passa da 34 al 15% dal 2024 al 2025; mantiene una distribuzione abbastanza omogenea anche il campione 2_4 che passa dal 56 al 70% di polveri con granulometria >10um. Così come il campione 1_4 (a lato della zona di transito) la cui riduzione delle particelle con diametro >10um passa dal 70 al 48%. Discorso a parte per il campione 3_4 in cui la distribuzione percentuale delle particelle >10um viene praticamente capovolta: 70% nel 2024 e 29% nel 2025

Al metto delle valutazioni sui singoli transetti riportate in precedenza riteniamo importante una valutazione in senso più ampio della diversità di distribuzione granulometrica nei due anni di misura.
Nei diagrammi seguenti sono riportati i diagrammi radiali del 2025 rispetto al 2025 per le granulometrie > 10um e per quelle inferiori (somma di 5-10 um e < 5 um).



Dai diagrammi si nota che nel 2025 vi è stato una riduzione dei campioni che presentano la preponderanza di granulometria >10um con conseguente incremento delle frazioni "sottili" su quasi tutti i punti di misura rispetto a quanto rilevato nella campagna del 2024.

E' quindi più marcata la presenza di particelle molto fini il cui comportamento aerodinamico è generalmente associato ad un comportamento simile ai gas in quanto tali particelle vengono considerate "galleggianti" nell'atmosfera.

Figura 18 : diagrammi radiali di raffronto dimensionale tra le due campagne di misura

10.2 MORFOLOGIA

Come riportato precedentemente sulle particelle di polvere sono state eseguite oltre al dimensionamento granulometrico, anche delle valutazioni legate alla morfologia delle particelle stesse (forma delle particelle).

Di seguito vengono riportate alcune immagini relative alle indagini sulla morfologia dei campioni prelevati. Le analisi sono state eseguite sul residuo insolubile e, nella maggioranza dei casi, i campioni si presentano sotto forma di scaglie di dimensione variabile in forma più o meno in forma aggregata la cui composizione rileva presenza preponderante di Silicio (Si) ed Alluminio (Al), in rapporti variabili, oltre a concentrazioni di Ferro (Fe), Potassio (K) e di altri metalli appartenenti ai gruppi alcalino ed alcalino-terrosi (Na, Mg, ecc.)

Le figure seguenti sono rappresentative dei campioni di polveri presenti nei deposimetro di Bianco (Gran Serin) ed nei deposimetri più vicini all'arteria viaria nelle due postazioni in cui sono stati installati i transetti (TR1 4_4 posizionato al Rifugio Casa Assietta e il TR2 1_4 posizionato al Col .Blanget.

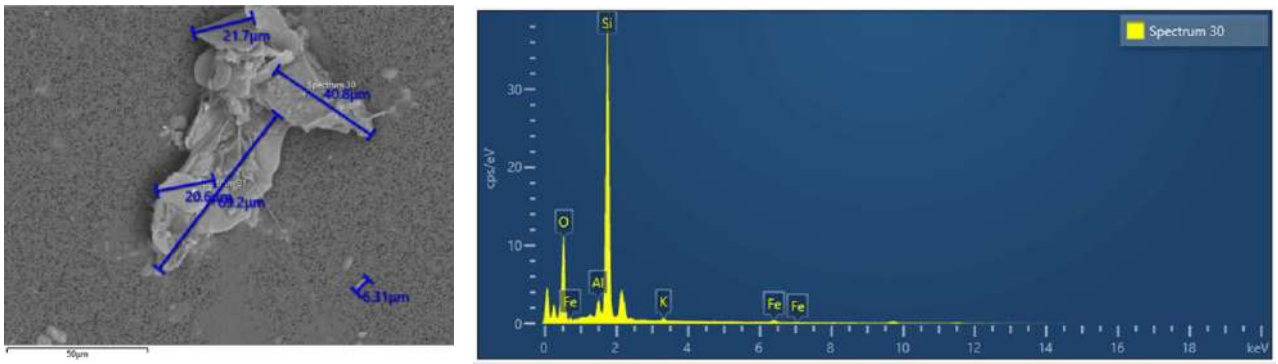


Figura 19 : morfologia campione di bianco (scala 50um)

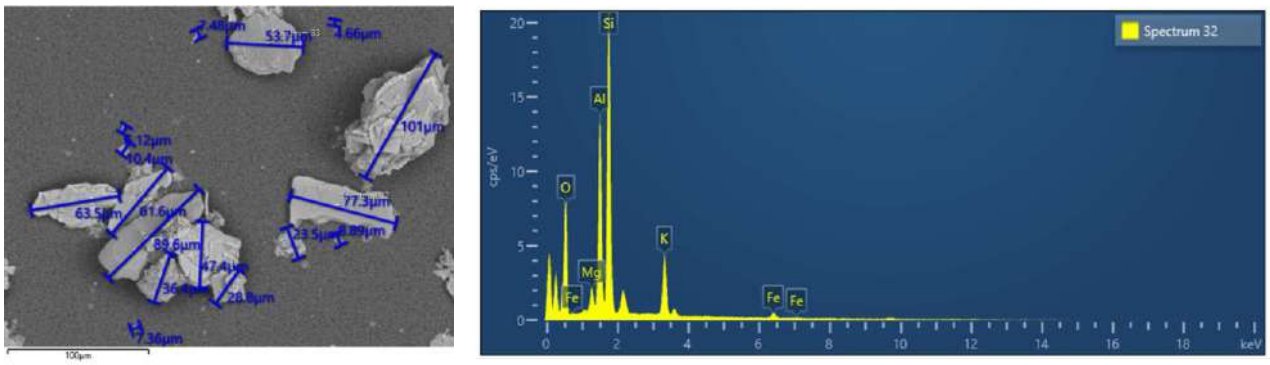


Figura 20 : morfologia campione TR1 4_4 (scala 100um)

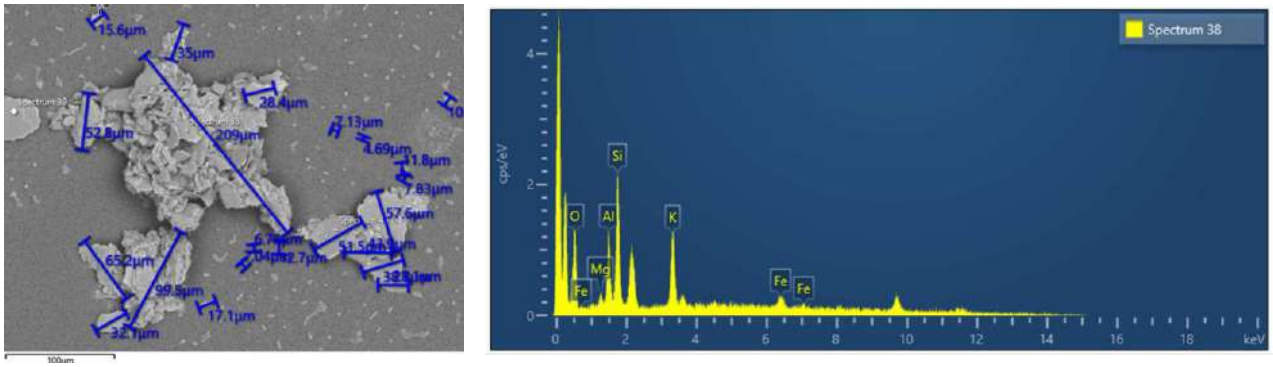


Figura 21 : morfologia campione TR2 1_4 (scala 100 um)

Le immagini riportate sono relative alla campagna del 2024 e sono sostanzialmente tale morfologia è riconfermata per la campagna del2025.

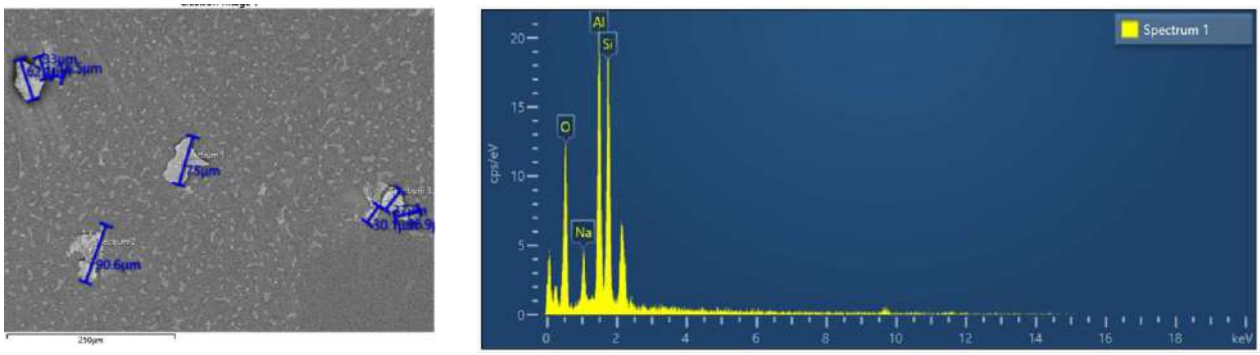


Figura 22 : morfologia campione TR1 1_4 (scala 250 um)

11 APPLICAZIONI MODELLISTICHE

I dati chimici ottenuti non permettono delle interpretazioni se non una semplice verifica tra le quantità di polveri rilevate in base alle diverse posizioni dei deposimetri; per poter avere una visione di più ampio respiro interpretativo si è ricorso alla modellistica diffusionale che permette di elaborare dei dati di input che in base all'applicazione di algoritmi matematici, vengono restituiti sotto forma di dati di output elaborati che riportati in forma grafica danno una "fotografia" della situazione rilevata.

11.1 CENNI DELLA TEORIA DEL MODELLO DIFFUSIONALE APPLICATO

L'applicazione della modellizzazione matematica del trasporto e dispersione degli inquinanti atmosferici e polveri prodotti dalle attività di transito veicolare permette di predisporre due diversi approcci con diverso grado di approfondimento e conseguente dettaglio:

1. approccio short term con la valutazione delle immissioni in atmosfera degli inquinanti atmosferici identificati in base ai dati rilevati dalla stazione metereologica posizionata in sito (tale dato serve a verificare la direzione di impatto in base alle verifiche meteo ed all'orografia dell'area)
2. approccio long term con la valutazione delle immissioni in atmosfera dei principali inquinanti atmosferici valutate/pesate sulla statistica della meteorologia locale

In questo studio è stato utilizzato un insieme di modelli matematici dispersione atmosferica del tipo non stazionario, sviluppati dalla "Sigma Research Corporation" (Earth Tech, Inc.), nel 1990, e denominato "CALPUFF Model System".

Il sistema sviluppato è composto da tre componenti principali:

- un processore meteorologico (CALMET) in grado di ricostruire campi con cadenza oraria, tridimensionali di vento e temperatura, bidimensionali di altre variabili come turbolenza, altezza di mescolamento, ecc.;
- un modello di dispersione non stazionario (CALPUFF), che simula il rilascio di inquinanti dalla sorgente come una serie di pacchetti discreti di materiale ("puff"), emessi ad intervalli di tempo prestabiliti; CALPUFF può avvalersi dei campi tridimensionali generati da CALMET, oppure utilizzare altri formati di dati meteorologici;
- un programma di post-processamento degli output di CALPUFF (CALPOST), che consente di ottenere i formati richiesti dall'utente ed è in grado di interfacciarsi col software SURFER per l'elaborazione grafica dei risultati.

La versione attuale del modello include i tre componenti principali (CALMET/ CALPUFF/ CALPOST), ed un set di vari programmi che consentono al sistema di interfacciarsi a dataset standard di dati meteorologici e geofisici (purtroppo non sempre facilmente reperibili in Italia).

Dopo varie fasi di validazione e analisi di sensibilità, CALPUFF è stato inserito nella "Guideline on Air Quality Model" tra i modelli ufficiali di qualità dell'aria riconosciuti dall'U.S.EPA.

11.1.1 IL PRE-PROCESSORE METEREOLOGICO CALMET

Tutti i principali dati meteorologici del dominio di studio, vengono forniti al modello di dispersione CALPUFF mediante il file di output del preprocessore CALMET (CALMET.DAT). Il file contiene (oltre alle informazioni generali per quanto riguarda le dimensioni del dominio di studio e l'intervallo di tempo della simulazione) le serie temporali giornaliere per le variabili meteorologiche con risoluzione oraria (intervallo di tempo su cui sono calcolate le concentrazioni).

CALMET è un pacchetto di simulazione per la ricostruzione del dominio meteorologico, il quale è in grado di sviluppare campi di vento sia diagnostici che prognostici, rendendo così il sistema capace di trattare condizioni atmosferiche complesse, variabili nel tempo e nello spazio. CALMET consente di tener conto di diverse caratteristiche, quali la pendenza del terreno, la presenza di ostacoli al flusso, la presenza di zone marine o corpi d'acqua. È dotato inoltre di un processore micrometeorologico, in grado di calcolare i parametri dispersivi all'interno dello strato limite (CBL), come altezza di miscelamento e coefficienti di dispersione; inoltre, consente di produrre campi tridimensionali di temperatura e, a differenza di altri processori meteorologici (come per esempio AERMET), calcola internamente la classe di stabilità atmosferica, tramite la localizzazione del dominio (coordinate UTM), l'ora del giorno e la copertura del cielo.

11.1.2 CALPUFF

CALPUFF è un modello Lagrangiano Gaussiano a puff, non stazionario, multistrato e multispecie, le cui caratteristiche principali sono:

- capacità di trattare sorgenti puntuali, lineari, areali, di volume, con caratteristiche variabili nel tempo (flusso di massa dell'inquinante, velocità di uscita dei fumi, temperatura, ecc.);
- notevole flessibilità relativamente all'estensione del dominio di simulazione, da poche decine di metri (scala locale) a centinaia di chilometri dalla sorgente (mesoscala);
- capacità di trattare situazioni meteorologiche variabili e complesse, come calme di vento, parametri dispersivi non omogenei, effetti vicino alla sorgente, come transitional plume rise (innalzamento del plume dalla sorgente), building downwash (effetti locali di turbolenza dovuti alla presenza di ostacoli lungo la direzione del flusso), partial plume penetration (parziale penetrazione del plume nello strato d'inversione), fumigation;
- possibilità di trattare emissioni odorigene.

Per poter tener conto della non stazionarietà dei fenomeni, l'emissione di inquinante (plume) viene suddivisa in "pacchetti" discreti di materiale (puff) la cui forma e dinamica dipendono dalle condizioni di rilascio e dalle condizioni meteorologiche locali.
Il contributo di ogni puff in un recettore viene valutato mediante un metodo "a foto": ad intervalli di tempo regolari (sampling step), ogni puff viene "congelato" e viene calcolato il suo contributo alla concentrazione. Il puff può quindi muoversi, evolversi in forma e dimensioni fino all'intervallo successivo
La concentrazione complessiva in un recettore, è quindi calcolata come sommatoria del contributo di tutti gli elementi vicini, considerando la media di tutti gli intervalli temporali (sampling step) contenuti nel periodo di base (basic time step), in genere equivalente ad un'ora.

11.1.3 IL POST-PROCESSORE CALPOST

CALPOST elabora l'output primario del modello, il file con i valori orari della concentrazione di inquinante in corrispondenza dei recettori (CONC.DAT), per ottenere i parametri d'interesse (concentrazione massima o media per vari periodi, frequenze di superamento di soglie stabilite dall'utente).
Quindi, la funzione di questo post-processore è quella di manipolare l'output di CALPUFF per renderlo adatto ad una migliore visualizzazione dei risultati. Inoltre, CALPOST è in grado di produrre file direttamente interfacciabili con programmi di visualizzazione grafica dei risultati delle simulazioni (in particolare SURFER)

Nel caso specifico è stata eseguita l'analisi e caratterizzazione meteorologica finalizzata a verificare le condizioni medie e maggiormente critiche per il trasporto e dispersione degli inquinanti limitato al solo periodo di esposizione dei sistemi di captazione che coincide con il periodo di "transito" dei mezzi. Questa situazione non è quindi espandibile per gli altri periodi dell'anno in cui non vi è transito sulla SP173.
Per quanto concerne la quantificazione delle emissioni di inquinanti gassosi e di polveri (Ossidi di Azoto e Polveri) prodotte dalle attività di transito sulla SP 173 sono stati utilizzati due approcci differenti che verranno illustrati nei capitoli seguenti.

11.2 DATI DI TRAFFICO

Parallelamente alle attività di captazione il Parco Alpi Cozie ha installato, per i due periodi estivi, dei sistemi per il conteggio del traffico in transito sulla SP 173.

E' stato quindi possibile definire con esattezza il numero di veicoli che sono transitati sulla strada nei due periodi estivi.

Per le elaborazioni riportate di seguito sono stati utilizzati i valori medi di traffico giornaliero relativi alla postazione di Pian dell'Alpe.

Tra il 2024 ed il 2025 il sistema conteggio del traffico è stato modificato in termini di dimensione dei mezzi. Per mantenere omogeneità nell'elaborazione dei dati abbiamo utilizzato la suddivisione dei mezzi rilevata nel 2024[16] anche per il 2025[17]

Distribuzione transiti	2024 [191 transiti/giorno]	2025 [294] transiti/giorno
38% fuoristrada	73	112
43% moto	82	126
19% biciclette	37	56

Figura 23 : transiti medi giornalieri in funzione della suddivisione della tipologia di traffico

11.3 DETERMINAZIONE DELLE POLVERI DA SOLLEVAMENTO E RI-SOLLEVMENTO

Per la valutazione delle emissioni di polveri totali sono stati utilizzati, adattandoli alla tipologia dei mezzi in transito sulla SP173, i fattori di emissione indicati dagli algoritmi sviluppati dall'Ente di Protezione Ambientale (EPA) degli Stati Uniti d'America[18], in particolare US-EPA AP42 cap. 13.2.2 "unpaved road" modificando le condizioni di emissione per adattarle la meglio ai mezzi in transito.

In particolare sono state calcolate le concentrazioni di polveri totali (ug/m3) e le ricadute attese (ug/m2/day) in base ad una stima rielaborata sulla base del fattore di emissione EPA per il transito di mezzi su strade sterrate considerando:

- un fuoristrada = 2000 kg,
- una moto 200 kg e
- una bici 100 kg (ovviamente compreso il ciclista)

16 tali dati sono stati ottenuti dalle elaborazioni eseguite dal Parco Alpi Cozie in seguito ai rilievi di traffico sulla SP 173 eseguiti nell'estate del 2024

17 Dati forniti dal Parco Alpi Cozie in seguito ai rilievi di traffico sulla SP 173 eseguiti nell'estate del 2025

18 U.S. EPA. Compilation of Air Pollutant Emission Factors. AP-42. Fifth Edition, Research Triangle Park, NC. 1995

Questa tipologia di approccio ha quindi permesso per ogni area di misura (ad esclusione del bianco in quanto non sono presenti passaggi di veicoli motorizzati) di elaborare i dati sia relativi all'emissione di polveri totali in seguito al transito dei mezzi sulla strada che di valutare la ricaduta di tali polveri sul territorio circostante, visualizzando, inoltre, l'ampiezza della loro diffusione in atmosfera, nonché i valori attesi di diffusione di Ossidi di Azoto.

Ricordiamo che questa tipologia di elaborazione rimane svincolata dai dati acquisiti in seguito alle analisi chimiche ma si basa sui soli dati emissivi tabulati in funzione della tipologia di mezzi in transito lungo l'asse viario.

Dopo gli step legati alle elaborazioni, per rendere fruibile i dati ottenuti sono stati utilizzati sistemi di visualizzazione grafica che prendono in carico la distribuzione di concentrazione dei vari parametri sovrapponendola all'orografia della zona considerata.

11.4 DETERMINAZIONE DEGLI OSSIDI DI AZOTO

Pr quanto concerne invece la valutazione della concentrazione emessa di ossidi di azoto sono stati utilizzati i fattori di emissione ISPRA[19] utilizzando sempre i dati di traffico suddivisi per tipologia di mezzo.

Le elaborazioni dei dati che sono riportate nei capitoli seguenti sono quindi relative alla distribuzione spaziale elaborata con modelli matematici utilizzando dati tabulati di emissione in funzione della tipologia di veicoli.

[19] https://fetransp.isprambiente.it/#/- a metodologia elaborata ed applicata alla stima delle emissioni degli inquinanti atmosferici è basata sull' EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023 ed è coerente con le Guidelines IPCC 2006 relativamente ai gas serra.
Ai fini dell'aggiornamento della banca dati, è stato applicato COPERT version 5.7.3, software il cui sviluppo è coordinato dall' Agenzia Europea dell'Ambiente, nell'ambito delle attività dello European Topic Centre for Air Pollution and Climate Change Mitigation.
Le stime sono state elaborate sulla base dei dati di input nazionali riguardanti il parco e la circolazione dei veicoli (numerosità del parco, percorrenze e consumi medi, velocità per categoria veicolare con riferimento ai cicli di guida urbano, extraurbano ed autostradale, altri specifici parametri nazionali). I fattori di emissione sono calcolati sia rispetto ai km percorsi che rispetto ai consumi, con riferimento sia al dettaglio delle tecnologie che all'aggregazione per settore e combustibile, elaborati sia a livello totale che distintamente per l'ambito urbano, extraurbano ed autostradale.

12 ELABORAZIONI DEI DATI - OSSIDI DI AZOTO

Le elaborazioni che seguono, in forma tabellare, riportano, per ogni sito di misura, il raffronto tra i dati ottenuti dalle misure in campo con quelli ottenuti applicando la modellistica diffusionale.
Queste elaborazioni sono riportate sia per la campagna del 2024 che per quella del 2025.
Oltre ai dati tabellari sono indicati di seguito le visualizzazioni relative a quando ottenuto dall'elaborazione modellistica per i due anni utilizzando la metodologia riportata nei capitoli precedenti.

Tale tipologia di elaborazione non è stata eseguita per il punto di bianco (Gran Serin) in quanto i dati forniti sono il riferimento in assenza di traffico veicolare. I valori relativi alle analisi chimiche, per ambedue i campioni hanno dato una concentrazione < 0,02 ug/m2.

12.1 CASA ASSIETTA – TRANSETTO 1

Per quanto concerne i valori di Ossidi di Azoto i raffronti tra i dati ottenuti dalle analisi chimiche con quelli ottenuti con le elaborazioni modellistiche, per le due campagne di misura, sono riportati nella tabella seguente

ID	Coord. GB. Fuso W		2024		2025	
	X	Y	Misura NOx (NO2)	Modello NOx (NO2)	Misura NOx (NO2)	Modello NOx (NO2)
	m	m	ug/m3	ug/m3	ug/m3	ug/m3
T1 D4-4 (RCA1_2)	337935	4991895	0,04	0,13	0,11	0,29
T1 D3-4 (RCA2_2)	337851	4991859	0,075	0,08	0,13	0,12

Tabella 9 : Ossidi di Azoto – Casa Assietta - raffronto tra i dati ottenuti dalle misure in campo con quelli delle elaborazioni modellistiche anni 2024 e 2025



Figura 24 : Distribuzione spaziale degli ossidi di azoto NOx Transetto 1 ANNO 2024



Figura 25 : Distribuzione spaziale degli ossidi di azoto NOx Transetto 1 ANNO 2025

12.2 COL BLEGIER – TRANSETTO 2

Per quanto concerne i valori di Ossidi di Azoto i raffronti tra i dati ottenuti dalle analisi chimiche con quelli ottenuti con le elaborazioni modellistiche, per le due campagne di misura, sono riportati nella tabella seguente

ID	Coord. GB. Fuso W		2024		2025	
	X	Y	Misura NOx (NO2)	Modello NOx (NO2)	Misura NOx (NO2)	Modello NOx (NO2)
	m	m	ug/m3	ug/m3	ug/m3	ug/m3
T2 D1-4 (CB 8_8)	335904	4989191	0,07	0,11	0,09	0,12
T2 D2-4 (CB 5_8)	335889	4989203	0,06	0,10	0,06	0,14
T2 D3-4 (CB 6_8)	335879	4989214	0,05	0,03	< 0,02	0,01
T2 D4-4 (CB 7_8)	335829	4989247	0,03	0,01	< 0,02	0,00

Tabella 10 : Col Blagier –- raffronto tra i dati ottenuti dalle misure in campo con quelli delle elaborazioni modellistiche anni 2024 e 2025

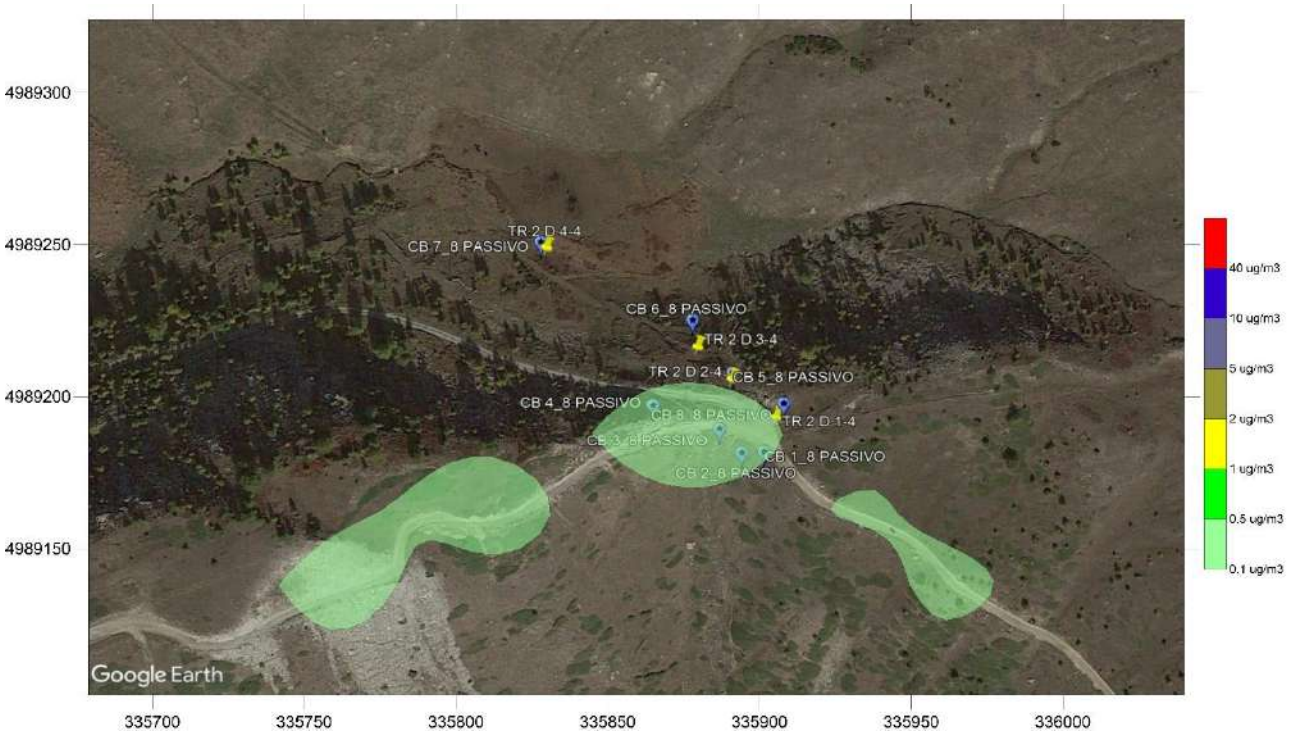


Figura 26: Distribuzione spaziale degli ossidi di azoto NOx Transetto 2 ANNO 2024

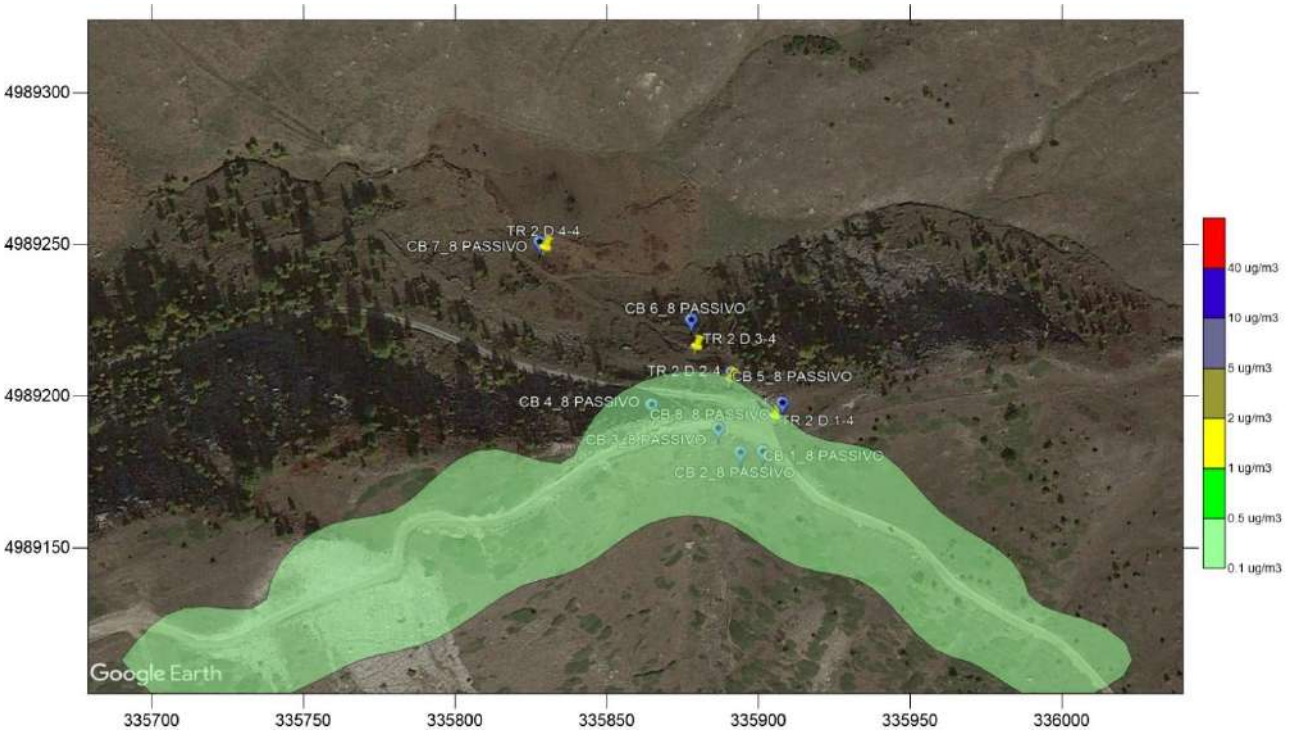


Figura 27: Distribuzione spaziale degli ossidi di azoto NOx Transetto 2 ANNO 2025

12.3 COLLE DELL'ASSIETTA

Per quanto concerne i valori di Ossidi di Azoto i raffronti tra i dati ottenuti dalle analisi chimiche con quelli ottenuti con le elaborazioni modellistiche, per le due campagne di misura, sono riportati nella tabella seguente

ID	Coord. GB. Fuso W		2024		2025	
	X	Y	Misura NOx (NO2)	Modello NOx (NO2)	Misura NOx (NO2)	Modello NOx (NO2)
	m	m	ug/m3	ug/m3	ug/m3	ug/m3
CA 1_8	339216	4992809	0,042	0,09	ND	--
CA 2_8	339182	4992823	0,037	0,06	0,06	0,10
CA 3_8	339162	4992805	0,047	0,06	0,03	0,03
CA 4_8	339156	4992794	0,055	0,07	0,18	0,07
CA 5_8	339216	4992808	0,060	0,15	0,02	0,09
CA 6_8	339217	4992720	0,041	0,04	0,06	0,08
CA 7_8	339121	4992722	0,054	0,08	< 0,02	0,11
CA 8_8	339153	4992710	0,054	0,10	0,15	0,21

Tabella 11 : Colle dell'Assietta –- raffronto tra i dati ottenuti dalle misure in campo con quelli delle elaborazioni modellistiche anni 2024 e 2025



Figura 28 : Colle dell'Assietta - Distribuzione spaziale degli ossidi di azoto NOx ANNO 2024

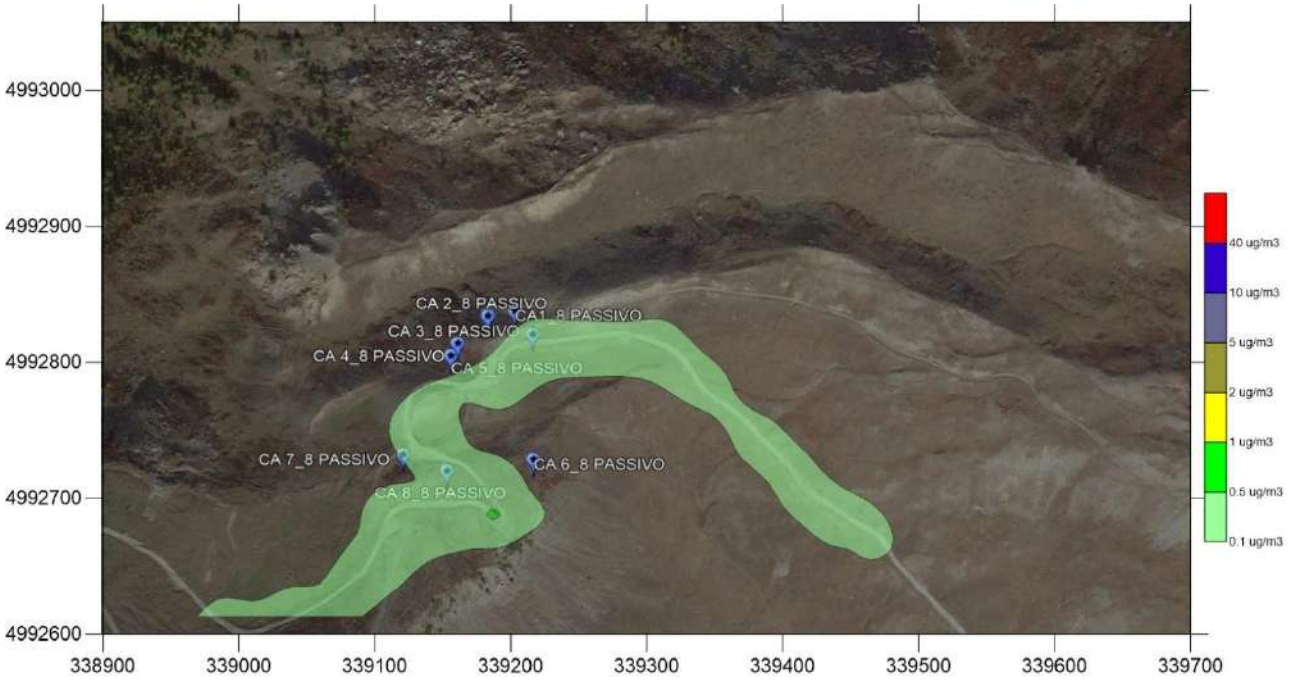


Figura 29 : Colle dell'Assietta - Distribuzione spaziale degli ossidi di azoto NOx ANNO 2025

12.4 VALUTAZIONI DEI DATI OTTENUTI PER GLI OSSIDI DI AZOTO

Dai dati ottenuti risulta abbastanza evidente che per questa tipologia di inquinante nonostante le due metodologie applicate siano concettualmente diverse, i valori finali sono comunque coerenti e, in alcuni casi, sovrapponibili.

Ricordiamo brevemente che i dati raffrontati sono stati i:

- dati chimici – da esposizione di sensori passivi per un periodo di qualche mese e successiva analisi chimica di laboratorio
- dati da modellistica- dai dati di traffico suddivisi per categorie di motore (nello specifico auto/fuoristrada e moto) e i corrispondenti dati di emissione tabulati oltre all'ausilio della modellistica (dati meteo, orografia, ecc.), è stato possibile visualizzare la diffusione degli ossidi di Azoto nell'intorno dell'asse viario e rilevare per le coordinate dei punti di interesse i valori di concentrazione attesi.

In ultima analisi è stata anche eseguita una successiva verifica relativa alla distribuzione spaziale dei punti di misura.

Come riportato all'inizio del presente documento, i punti di misura sono stati distribuiti a distanze crescenti (e quote diverse) rispetto all'asse viario.

Nei grafici seguenti sono riportati i valori di concentrazione per tutti i punti indagati, ottenuti con le due tipologie di approccio, in funzione della distanza (in m) dall'asse viario.

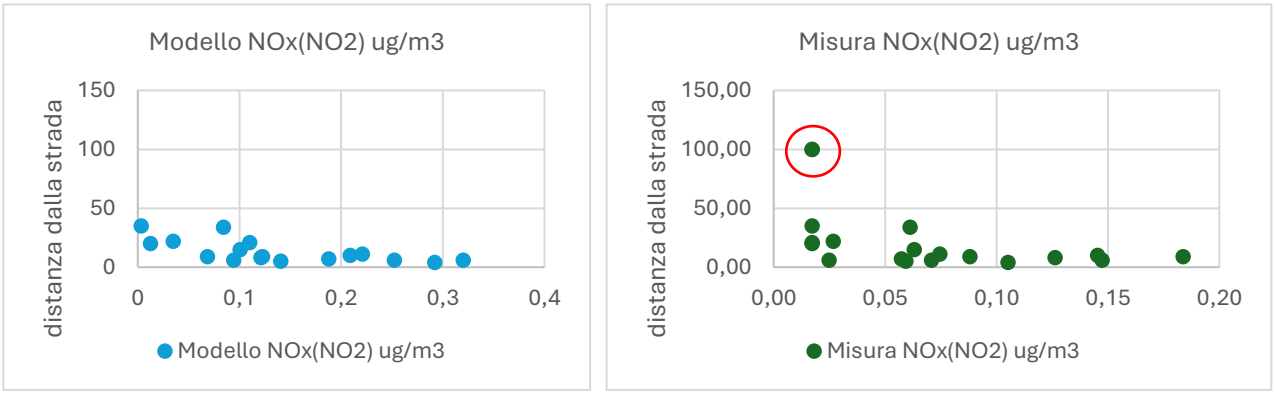


Figura 30 : valori di concentrazione rilevati con le due tecniche, in funzione della distanza dall'asse viario (tutti i punti di misura); il cerchio rosso indica i dati rilevati al Gran Serin (BLK) che non sono presenti nei dati modellistici in quanto non vi è traffico veicolare.

13 ELABORAZIONI DEI DATI – POLVERI TOTALI

Come riportato in precedenza i dati relativi alla modellistica per le polveri totali sono stati generati utilizzando come dati di input al modello:

- i dati relativi al traffico suddiviso per le diverse tipologie di mezzi
- I valori di emissione di polveri (tratti da *US-EPA AP42 cap. 13.2.2 "unpaved road"*) in funzione del peso dei mezzi in transito.

Tale elaborazione ha restituito, in forma grafica, delle visualizzazioni relative al valore ed alla distribuzione attesa della "nuvola" di polvere emessa dalla strada la cui "polverosità" è espressa in mg/m3.

Le mappe relative alle ricadute al suolo di polvere sono state ottenute inserendo alcuni algoritmi all'interno del modello che hanno permesso di valutare tale valore espresso in g/m2/giorno

Nelle figure che seguono vengono riportati i raffronti tra le mappe relative al 2024 con quelle del 2025; per comodità di raffronto le mappe sono riportate per sito e ogni mappa tematica è affiancata per tipologia di elaborazione (polveri diffuse e polveri ricadute).

Per quanto concerne i limiti normativi ricordiamo che per le polveri totali non esiste limite di immissione nell'ambiente. Il limite, in base al DLgs 155/2010 è stato tabulato solo per le polveri PM_{10}.

13.1 CASA ASSIETTA -TRANSETTO 1

13.1.1 POLVERI TOTALI DISPERSE mg/m3

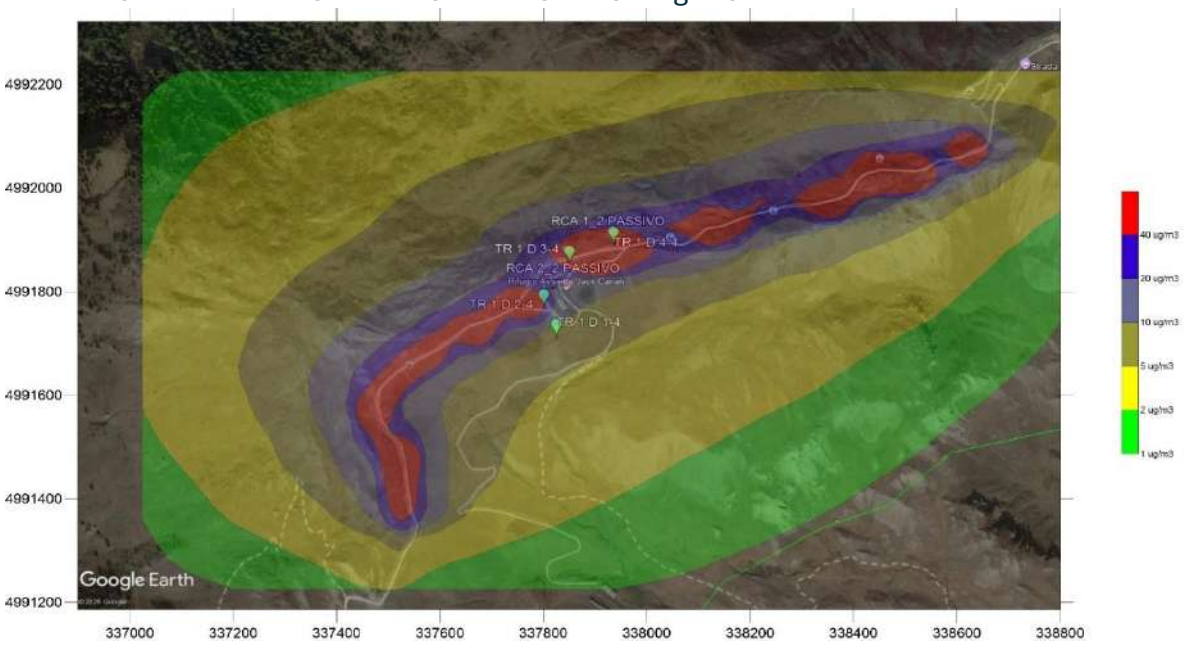


Figura 31 : Distribuzione spaziale delle polveri totali - Transetto 1 - ANNO 2024

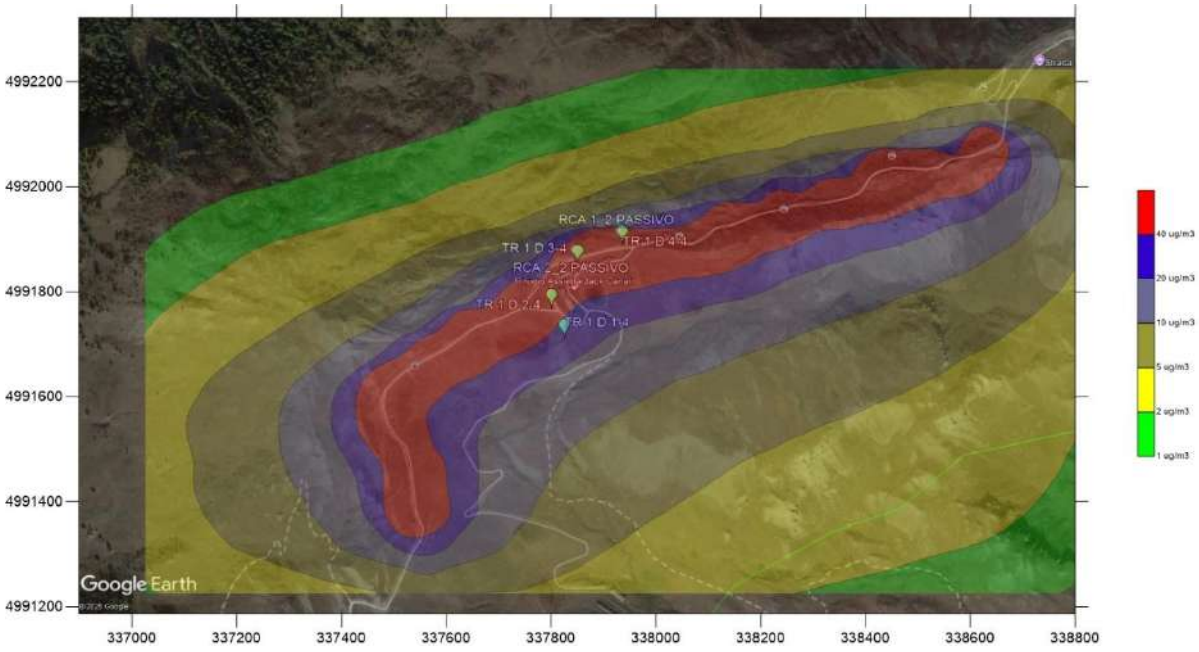


Figura 32 : Distribuzione spaziale delle polveri totali – Transetto 1 – ANNO 2025

13.1.2 POLVERI TOTALI RICADUTE g/m2/giorno



Figura 33 : Deposizioni polveri totali Transetto 1 - ANNO 2024

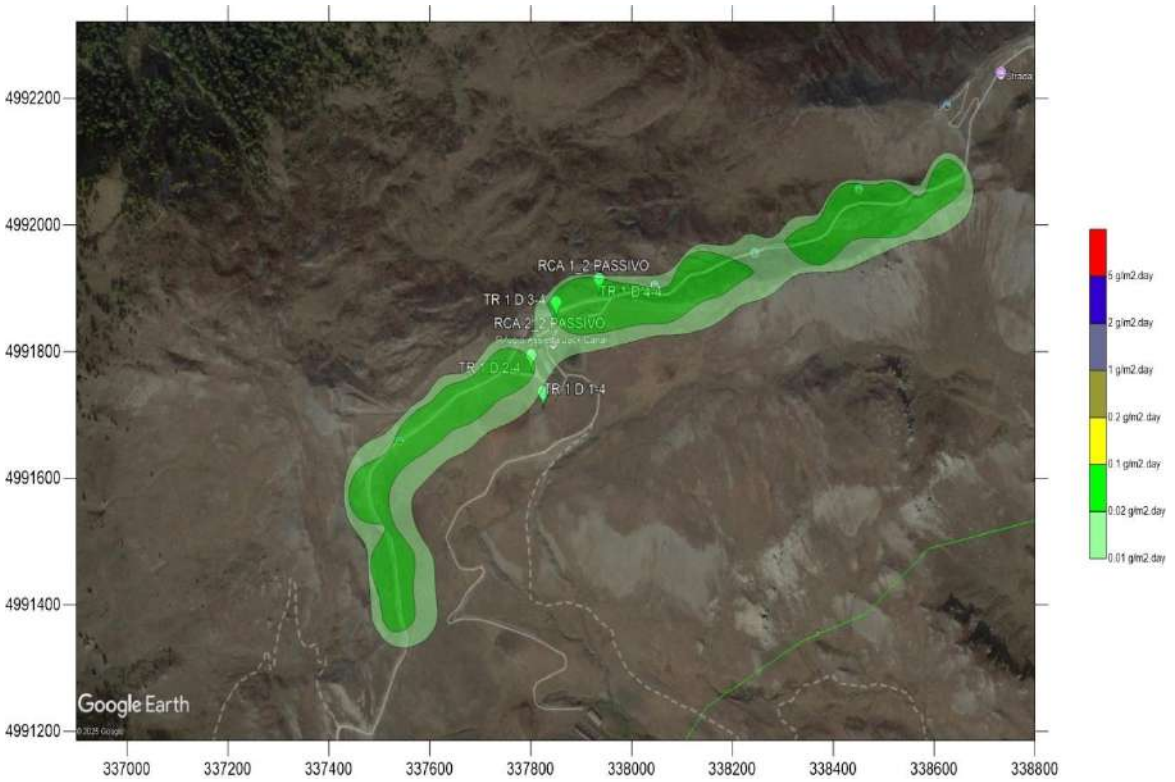


Figura 34 : Deposizioni polveri totali – Transetto 1 – ANNO 2025

13.2 COL BLEGIET -TRANSETTO 2

13.2.1 POLVERI TOTALI DISPERSE mg/m3

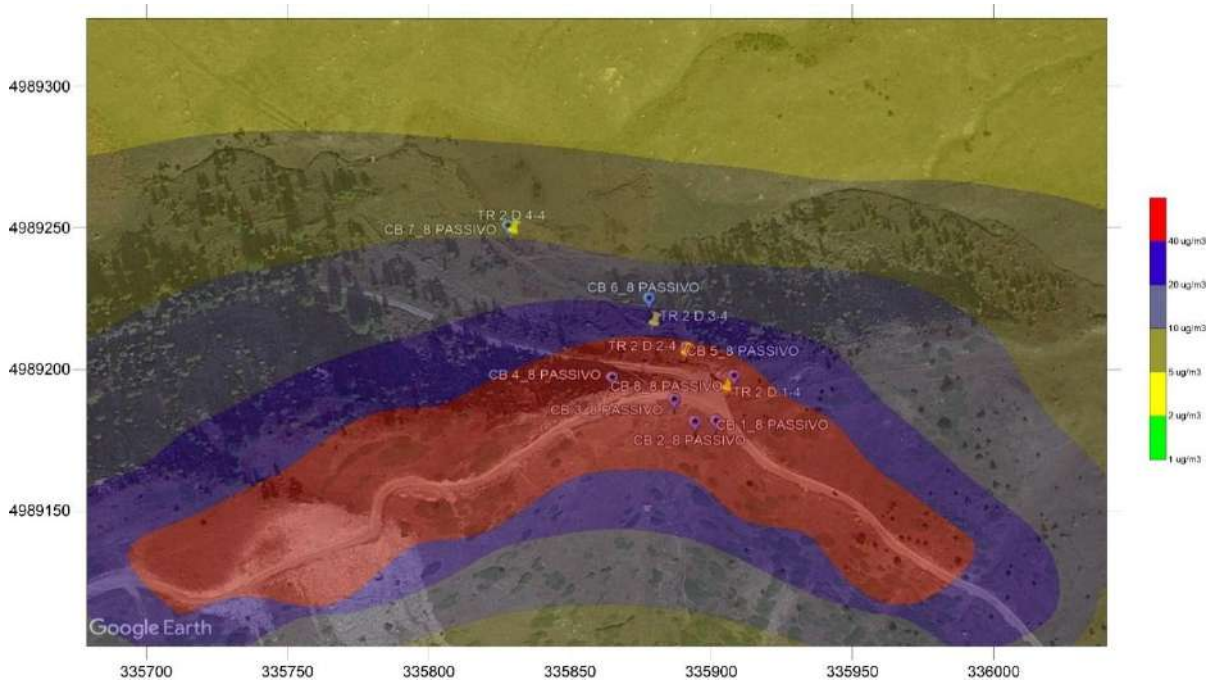


Figura 35 : Distribuzione spaziale delle polveri totali - Transetto 2- ANNO 2024

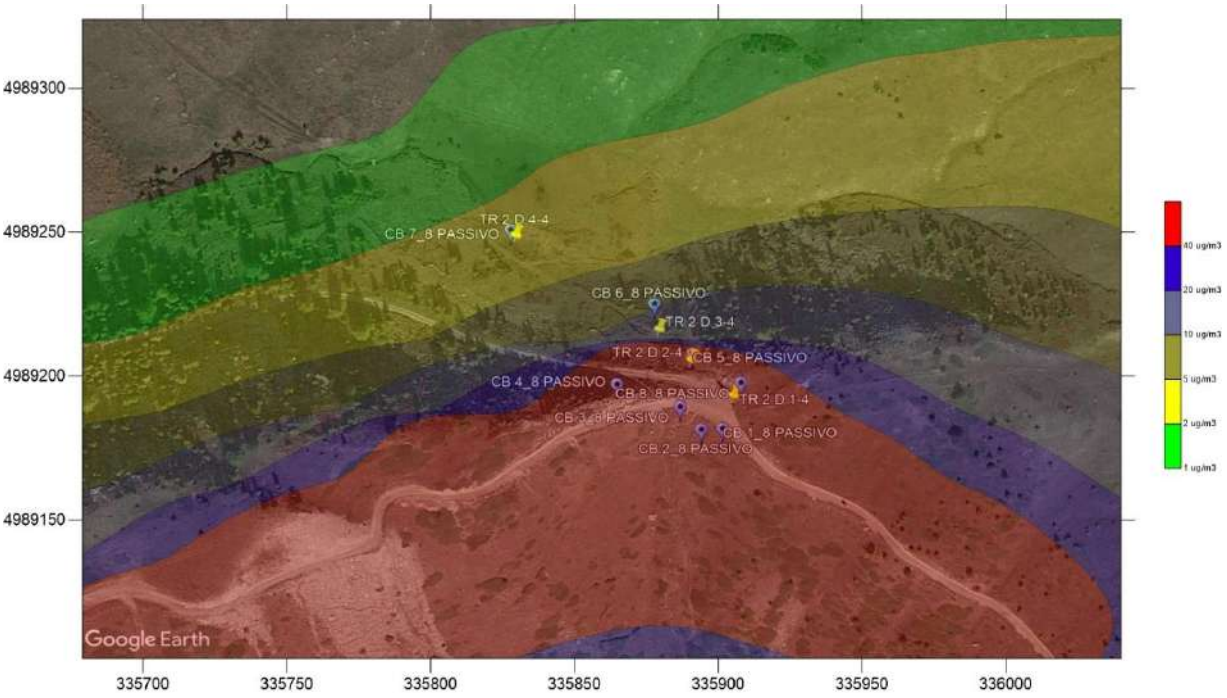


Figura 36 : Distribuzione spaziale delle polveri totali - Transetto 2- ANNO 2025

13.2.2 POLVERI TOTALI RICADUTE g/m2/giorno

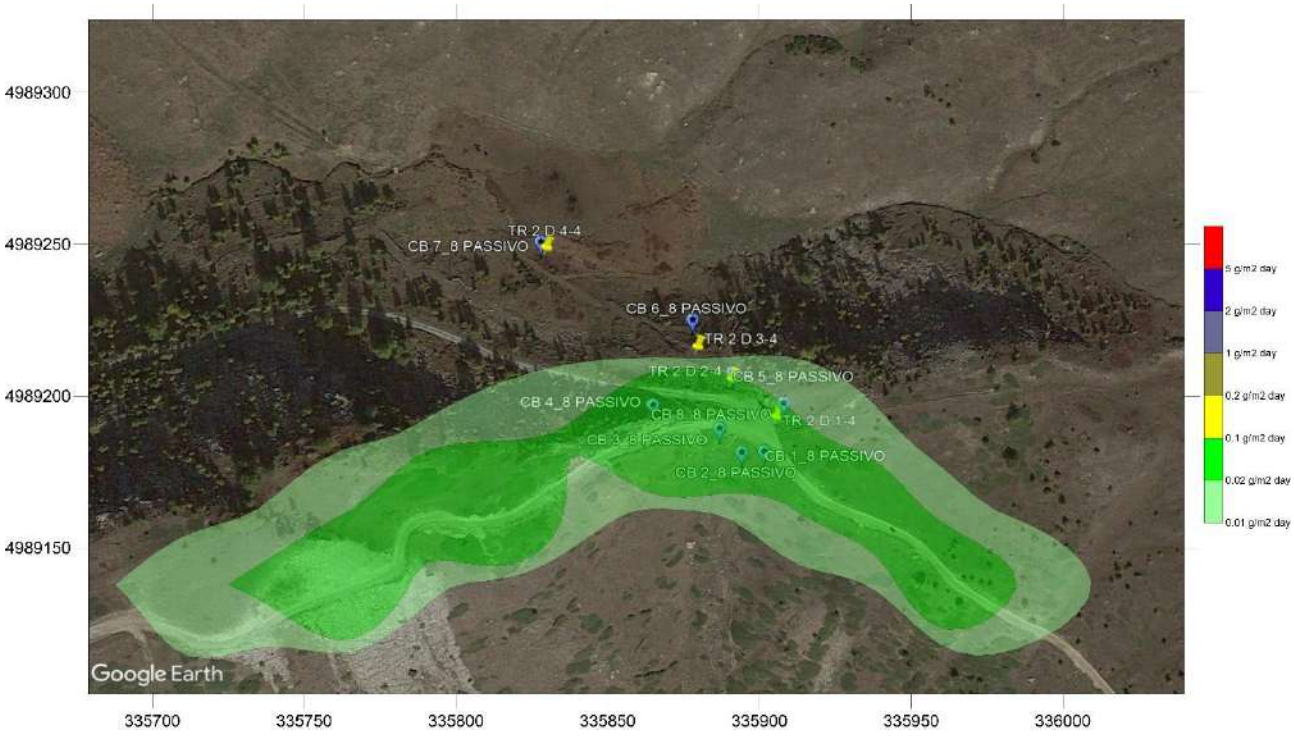


Figura 37 : Deposizioni polveri totali Transetto 2- ANNO 2024

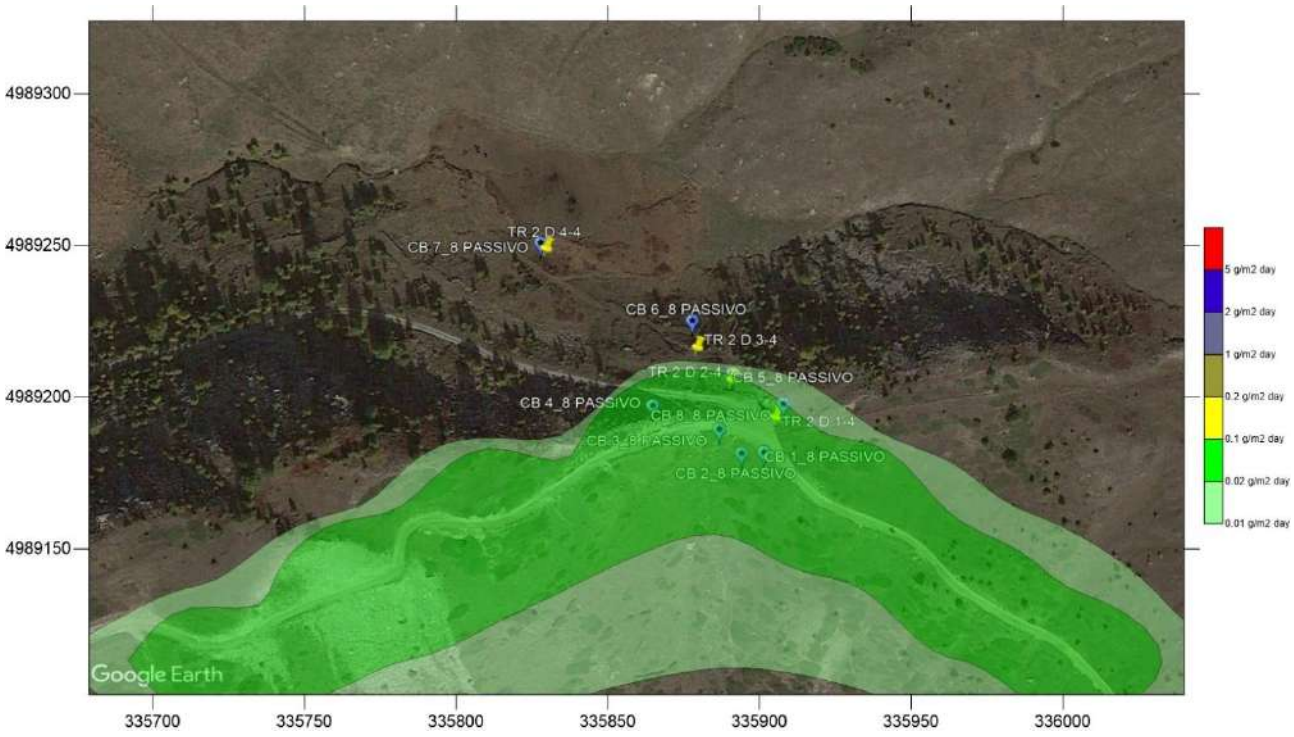


Figura 38 : Deposizioni polveri totali Transetto 2- ANNO 2025

13.3 COLLE DELL' ASSIETTA

13.3.1 POLVERI TOTALI DISPERSE mg/m3

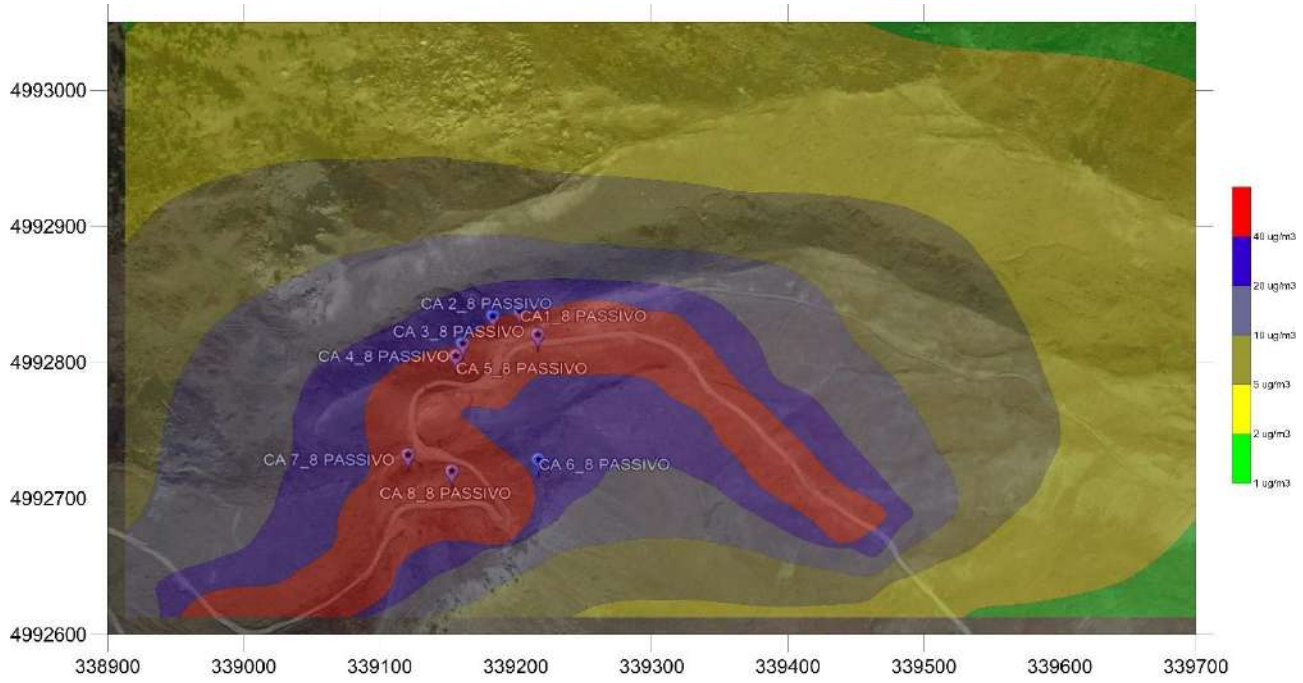


Figura 39 : Distribuzione spaziale delle polveri totali - Colle dell'Assietta – ANNO 2024

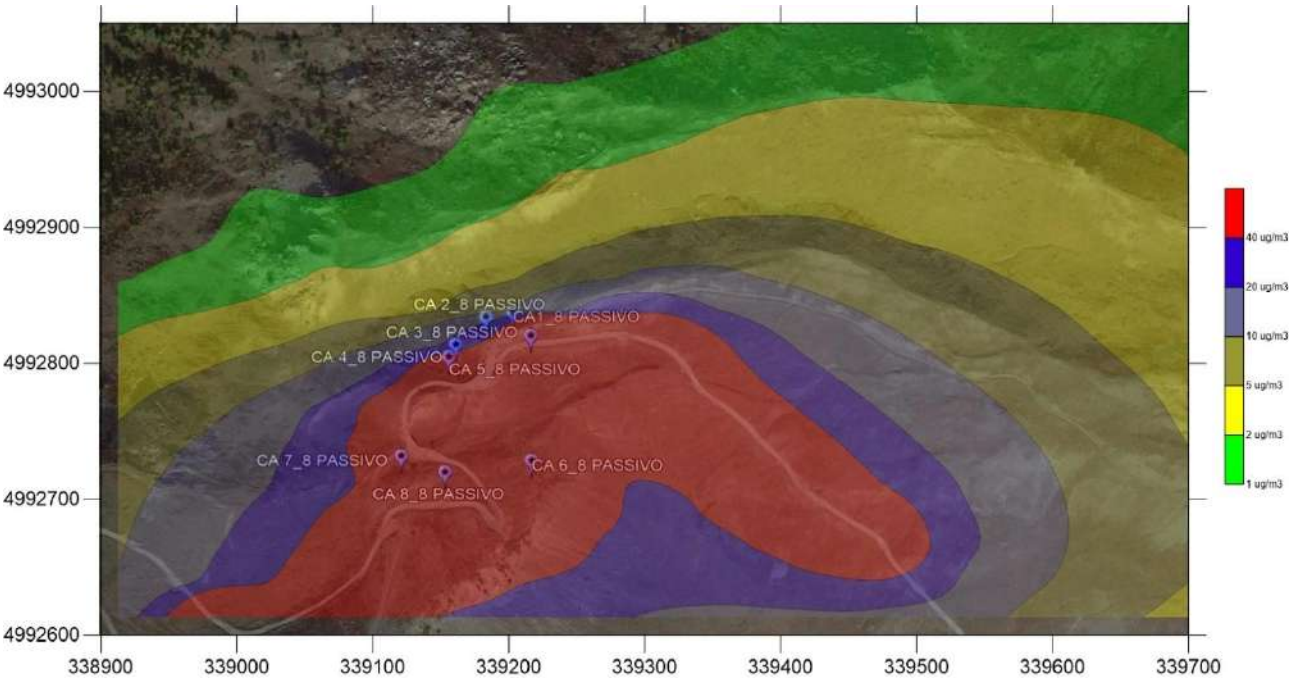


Figura 40 : Distribuzione spaziale delle polveri totali - Colle dell'Assietta – ANNO 2025

13.3.2 POLVERI TOTALI RICADUTE g/m2/giorno

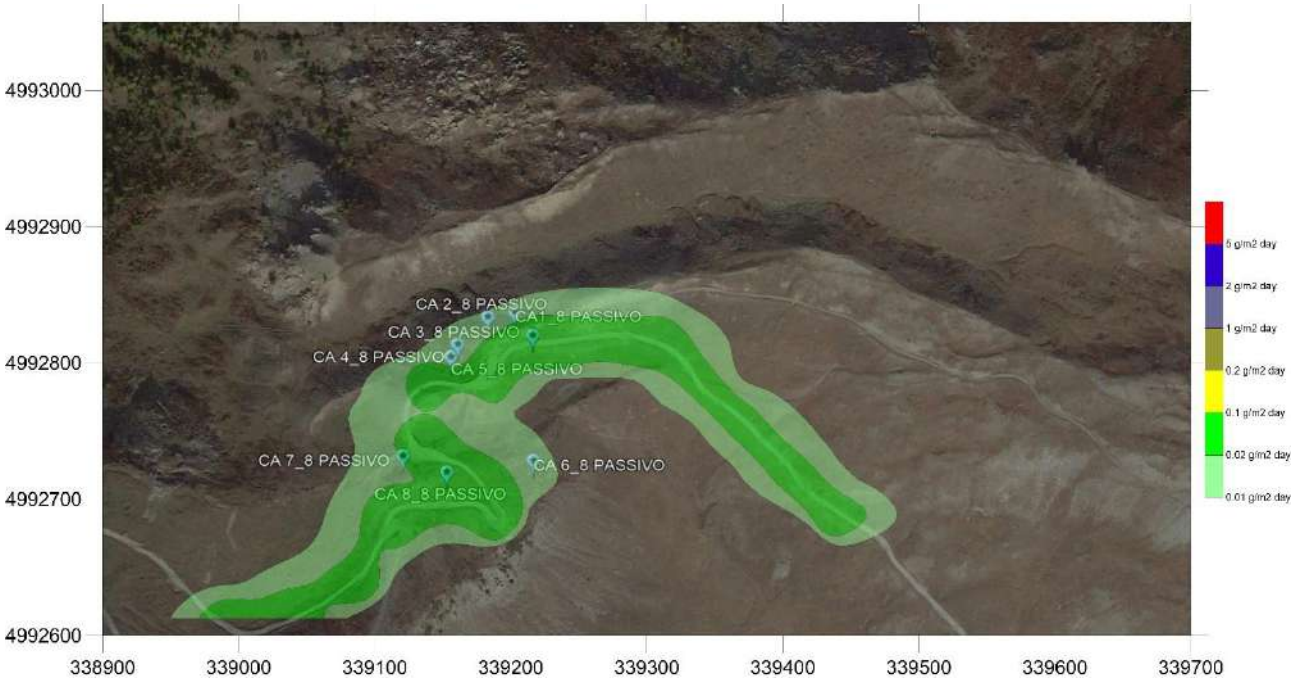


Figura 41 : Deposizioni polveri totali Colle dell'Assietta- ANNO 2024

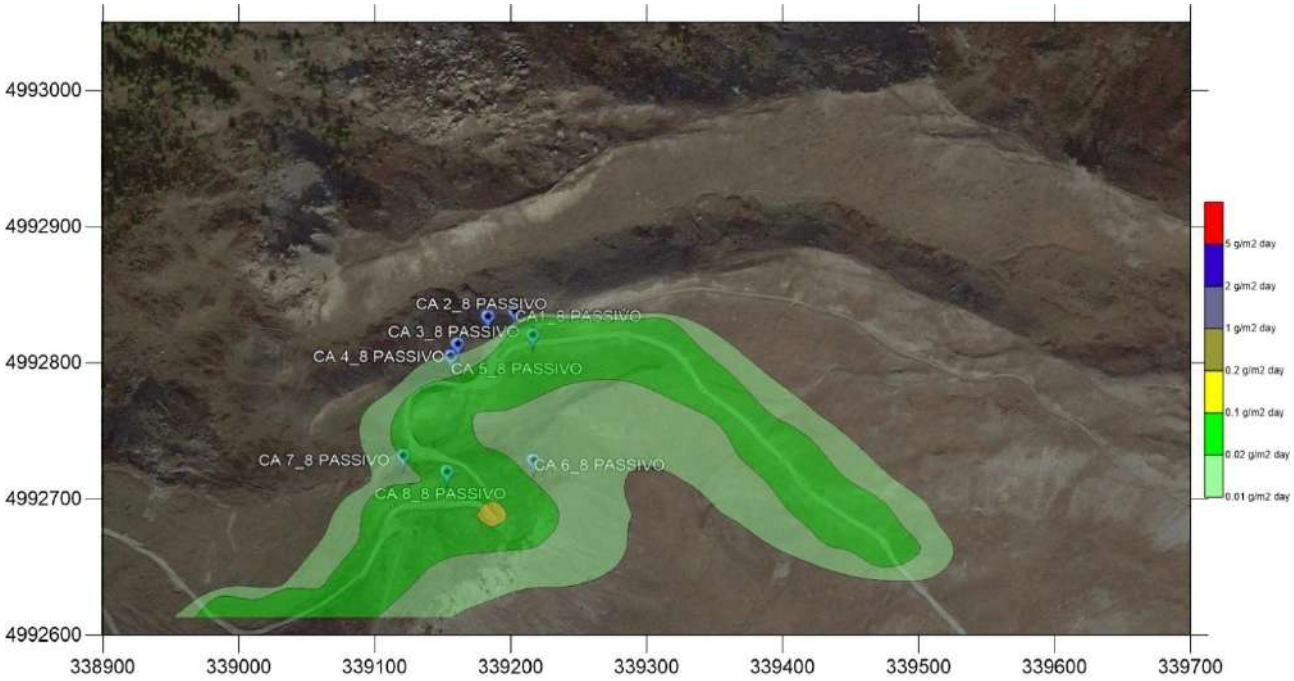


Figura 42 : Deposizioni polveri totali Colle dell'Assietta- ANNO 2025

14 VALUTAZIONI FINALI

14.1 ANALISI CHIMICHE

Relativamente alle due campagne di misura effettuate sui campioni prelevati dai deposimetri i risultati delle analisi chimiche hanno permesso di effettuare le seguenti considerazioni:

- non sono stati rilevati IPA nei sedimenti provenienti da sollevamento e risollevamento delle polveri che si sono poi depositate al suolo (all'interno del deposimetro)
- i metalli rilevati sono prevalentemente di natura litologica (Fe, Mn, Ca, Al), per alcuni metalli rilevati in spot (Ba e Pb) non si possono esprimere pareri su un solo rilevamento. Non sono stati rilevati metalli tossici (Cd, As, Hg, Pb)
- i valori di pH (acidità) e Conducibilità elettrica sono allineati con valori di rilevati in condizioni normali in assenza cioè di fenomeni perturbativi antropici. (Piogge acide pH<5 Conducibilità acqua piovana 5-30 uS/cm…acqua potabile 100-700 uS/cm)
- I valori della quantità di deposizioni di polveri al suolo (mg/m2/day) e la loro distribuzione granulometrica, sono risultati variabili nelle due campagne di misura effettuate. Tale variabilità è senz'altro da attribuirsi alle condizioni meteo dell'area e andrebbe verificato quanto, nella variabilità rilevata è attribuibile al numero (e tipo) di transiti veicolari medi giornalieri.

14.2 MODELLISTICA MATEMATICA

Per quanto concerne gli Ossidi di Azoto (NOx) la sovrapposizione tra dati modellizzati e dati chimici è decisamente buona nonostante tutte le incertezze intrinseche dei due metodi applicati.

Per le polveri totali, nulla si può dire per quelle diffuse (mg/m3) in quanto non vi è un raffronto con analisi di tipo chimico; per quanto concerne le polveri totali da ricaduta, nella campagna del 2025 i dati risultano allineati tra dati chimici e dati ottenuti dal modello, tale valutazione non è estendibile al 2024 soprattutto per i punti che, chimicamente, hanno rilevato valori più elevati. In questo caso la restituzione modellistica è di un ordine di grandezza inferiore.

Al netto di quanto riportato è però interessante verificare che, i dati dei modelli in cui viene visualizzata la ricaduta di polveri, se applicati in aree in cui non erano stati installati deposimetri (colle dell'Assietta), ha comunque permesso, in base ai dati di input inseriti (fattori tabulati di emissioni da transito frazionato, orografia e meteorologia) di visualizzare l'estensione dei valori attesi di ricaduta al suolo indicando anche aree in cui tali valori sono più elevati (Figura 42).

L'area in questione in cui è presente un colore giallo, è effettivamente una zona in cui la viabilità è particolarmente "difficoltosa" in quanto è costituita da una curva a gomito che richiede spesso doppia manovra per il suo superamento il cui transito generalmente viene effettuato in salita. Tale visualizzazione ci permette di ipotizzare che l'elaborazione modellistica sia molto vicina alla realtà.

A conferma della "robustezza" dell'applicazione modellistica per i dati di polveri totali depositate, relativi al 2025, è stato eseguito anche un raffronto numerico tra i valori di polvere totale rilevati tramite analisi di laboratorio con quelli individuati dal modello sulle coordinate dei deposimetri; tali dati sono riportati nella tabella seguente

mg/m2/giorno	BLK	TR1 1_4	TR1 2_4	TR1 3_4	TR1 4_4	TR2 1_4	TR2 2_4	TR2 3_4	TR2 4_4
misurati	12	11	56	47	117	62	34	20	15
modello	--	7,9	21,8	28,7	68,6	43,6	38.1	3,0	0,7

Tabella 12 : raffronto, per l'anno 2025, tra i dati di polveri totali depositati ottenuti con le analisi chimiche e quelli ottenuti con la sola elaborazione modellistica

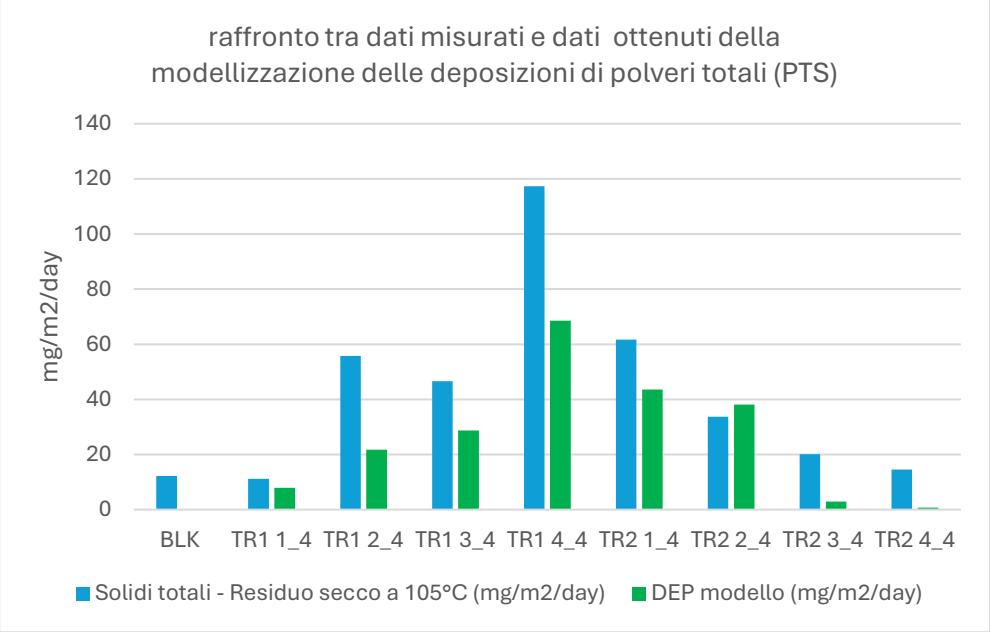


Figura 43 : raffronto dati polveri da misura e da modello

15 CONCLUSIONI

Poiché l'area oggetto di studio è ad elevato grado di naturalizzazione è stato necessario utilizzare, per le due campagne di misura, tecniche di campionamento di tipo "passivo"; tali tecniche vengono comunemente utilizzate in situazioni in cui non vi è la possibilità di collegarsi alla rete di energia elettrica che è necessaria per l'utilizzo di sensoristica "standard" per il rilevamento della tipologia di parametri scelti.
Ricordiamo che il campionamento passivo sfrutta fenomeni fisici naturali per accumulare inquinanti nel tempo senza bisogno di energia, fornendo una media concentrata. La sensoristica standard (attiva) usa dispositivi meccanici per aspirare aria e fornire misurazioni in tempo reale.

Le campagne di misura effettuate nell'estate del 2024 ed in quella del 2025 hanno permesso di effettuare delle valutazioni legate all'impatto del transito veicolare sia come valore globale di emissione (polveri totali) che in seguito alla ricerca di parametri "mirati" tipici di inquinamento legato ai motori a combustione.
Oltre alle Polveri sono stati ricercati anche gli Ossidi di azoto.
Per quanto concerne le polveri le valutazioni effettuate sui dati ottenuti (raffrontando le due campagne di misura) conducono alle seguenti conclusioni:

- Nelle polveri depositate **non sono stati rilevati inquinanti tipici dei motori a combustione interna legati alle frazioni di particolato**: non sono stati rilevati né IPA (idrocarburi Policiclici Aromatici) né metalli tossici (As, Cd, Pb, Hg). Solo un campione "spot", ha evidenziato tracce di Pb nella campagna eseguita nel 2024; tale presenza non è stata rilevata né negli altri campioni dello stesso periodo (2024) né in quelli relativi a tutte le stazioni della campagna di misura dell'anno successivo
- **I metalli rilevati nelle polveri sono di natura litogenica** e questa affermazione è supportata dall'analisi eseguita in microscopia elettronica (SEM) con l'ausilio di sonda EDX

Tali dati sono confortanti se valutati da un punto di vista di presenza di metalli/sostanze tossiche all'interno delle polveri di sollevamento e risollevamento ma questo non esclude di effettuare, per completezza di informazione, anche delle valutazioni legate alla dimensione delle polveri (granulometria) e alla loro distribuzione nell'intorno dell'asse viario.

La presenza di frazioni fini ed ultra fini di polveri, seppur di natura litogenica, è comunque un elemento da considerare in relazione agli effetti che tali frazioni hanno nell'ambito dell'apparato respiratorio degli utenti della strada e degli animali che vivono nelle immediate vicinanze. I dati del bianco di riferimento (stazione di misura posizionata al Gran Serin), indicano che, allo stato naturale non perturbato, cioè in assenza di mezzi motorizzati in transito, il livello di polveri totali è comunque molto basso e presentano una suddivisione granulometrica variabile (nel 2025 la prevalenza granulometrica era costituita da polveri fini < 10um).

Raffrontando i dati quantitativi di polvere depositata nel punto di bianco con quella depositata (mg/m2 day) nelle stazioni dei due transetti più prossime all'asse viario (TR1 4/4 e TR2 1/4), è evidente un incremento di quantità di polvere totale depositata compresa tra il 306% e il 506% nel 2024 e tra il 417% e l' 875% nella campagna del 2025.

Tale differenza di "arricchimento" di polveri nel 2025 è ragionevolmente legata sia all'incremento di transito giornaliero di veicoli (circa 100 unità/giorno) che alle condizioni meteo rilevate. Infatti anche se nel 2025 vi sono stati un numero maggiore di giorni di pioggia, distribuiti durante il periodo di misura, la quantità di pioggia era sempre modeste (quindi con bassa penetrazione nel suolo) e la presenza costante di vento su tutto il tracciato che ricordiamo si sviluppa lungo un crinale montuoso, ha senz'altro permesso di asciugare velocemente la superficie stradale.

A questo punto però va posta particolare attenzione alla granulometria delle polveri infatti poiché tali polveri hanno una costituente importante di frazione fine (frazione respirabile) questa situazione va a scapito sia degli utenti che percorrono la strada a piedi o in bicicletta che degli animali che transitano in prossimità della strada. Infatti applicando la modellistica diffusionale risulta che le concentrazioni di polveri fini si estendono, in base alla situazione anemologica, fino a qualche centinaio di metri rispetto all'asse viario.

Per quanto concerne la valutazione della presenza di Ossidi di Azoto i dati modellistici hanno presentato un'ottima sovrapposizione con i dati rilevati dai campionatori radiali ed è stato evidenziato che le quantità rilevate durante le due campagne di misura di tali gas si esauriscono a circa 50 metri dalla sorgente. In ambedue le campagne le concentrazioni rilevate sono estremamente basse ben al di sotto dei limiti normativi (40ug/m3 media annuale secondo Dlgs 155/2010) eventualmente applicati a campagne spot come nel nostro caso, e non sulla media annuale come prevede la Norma.

Per quanto concerne l'impatto sulla flora e sulla fauna la situazione rilevata non permette di effettuare valutazioni di merito solo con l'utilizzo dei dati "dalla sorgente"; immaginiamo che gli impatti su queste particolari tipi di matrice debbano essere eseguiti tramite rilievi direttamente sui bersagli con tecniche di tipo botanico/naturalistico.