



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRENTO

Dipartimento di Ingegneria Civile,  
Ambientale e Meccanica

---

**VALUTAZIONE DELL'IMPATTO DELLE EMISSIONI DAL  
TERMOVALORIZZATORE DI BOLZANO**

**CARATTERIZZAZIONE DELLE EMISSIONI E DELLA  
DISPERSIONE A SUPPORTO DI AZIONI DI  
MONITORAGGIO E DI GESTIONE DI SITUAZIONI  
CRITICHE**

---

**SOMMARIO DELLA RELAZIONE TECNICA**

Il presente documento sintetizza i principali risultati ottenuti nell'ambito dello studio tecnico dal titolo: “*Valutazione dell’impatto delle emissioni dal termovalorizzatore di Bolzano – Caratterizzazione delle emissioni e della dispersione a supporto di azioni di monitoraggio e di gestione di situazioni critiche*”.

Il resoconto completo dei risultati è riportato nella relazione tecnica dello studio, disponibile in lingua italiana sul sito di EcoCenter s.p.a. (<https://www.eco-center.it/it/attivita-servizi/ricerca>).

## 1 Introduzione

Lo studio tecnico è stato condotto con l’obiettivo di determinare la dispersione delle emissioni del termovalorizzatore sulla conca di Bolzano e la loro ricaduta al suolo. In contesti montani come la conca di Bolzano, la modellazione numerica dei fenomeni atmosferici è resa difficoltosa dall’interazione del vento con la topografia complessa, dalla presenza di circolazioni locali (e.g. Giovannini et al., 2014a,b, 2017) e dallo sviluppo di inversioni termiche negli strati più bassi di atmosfera, che non sono sempre colte adeguatamente dai modelli normalmente impiegati. Al fine quindi di far fronte a queste difficoltà, una parte significativa dello studio ha riguardato:

1. la caratterizzazione meteo-climatica della conca di Bolzano e dei processi atmosferici che qui si sviluppano;
2. la progettazione e la validazione di una specifica catena modellistica, costituita da modelli meteorologici e di dispersione degli inquinanti, effettivamente rappresentativa per la conca di Bolzano.

In particolare, la caratterizzazione meteo-climatica è stata condotta attraverso l’analisi di dati meteorologici disponibili da reti osservative esistenti e di altri dati raccolti a seguito di campagne di misura effettuate appositamente mediante l’uso di strumentazione meteorologica sofisticata (SODAR e Doppler Wind-LIDAR). Inoltre, si sono condotte simulazioni numeriche ad altissima risoluzione del campo meteorologico per meglio caratterizzare alcuni processi atmosferici tipici della conca di Bolzano, soprattutto nelle situazioni più critiche per la qualità dell’aria. Invece, la realizzazione di campagne di misura con rilascio controllato di un tracciante passivo ed inerte attraverso il camino del termovalorizzatore e la successiva misura delle concentrazioni di tracciante al suolo, hanno permesso di ottenere un dataset utilizzato per la calibrazione e la validazione della catena modellistica.

Lo studio tecnico ha visto coinvolti i seguenti partner:

1. EcoCenter S.p.A.: Società gestore dell’impianto di termovalorizzazione e committente dello studio.

2. Eco-Research S.r.l.: Laboratorio di analisi di microinquinanti organici ed inorganici.
3. Gruppo di Fisica dell'Atmosfera del Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Meccanica dell'Università degli Studi di Trento.
4. Agenzia Provinciale per l'Ambiente della Provincia Autonoma di Bolzano ed in particolare l'Ufficio Aria/Rumore e il Laboratorio di Chimica-Fisica.

Nel corso dello studio si sono inoltre coinvolti soggetti esterni al fine di avvalersi di supporto qualificato:

1. Per la modellazione numerica dei processi di dispersione degli inquinanti in atmosfera, è stata coinvolta la Società CISMA S.r.l. (Centro di Ingegneria e Sviluppo di Modelli per l'Ambiente), in quanto esperta di modellistica ambientale e con particolare riferimento ai processi atmosferici che caratterizzano l'area di Bolzano.
2. Per le analisi di laboratorio necessarie a determinare le concentrazioni di tracciante contenute nei campioni raccolti durante le campagne sperimentali, ci si è avvalsi della collaborazione con l'Istituto di Ricerche Farmacologiche "Mario Negri".

Sulla base delle analisi, dettagliate nella relazione tecnica dello studio, e dei risultati conseguiti si possono trarre alcune considerazioni in merito alle caratteristiche meteo-climatologiche della conca di Bolzano e ai processi di dispersione a cui sono soggetti gli inquinanti emessi dal camino dell'impianto di termovalorizzazione, a supporto delle azioni di monitoraggio e della gestione di situazioni critiche.

## **2 Caratterizzazione meteo-climatica della conca di Bolzano**

L'analisi climatologica condotta sulla base dei dati rilevati dalla stazione meteorologica di Bolzano Ospedale, gestita dal Servizio Meteorologico della Provincia Autonoma di Bolzano, sia per il periodo invernale sia per il periodo estivo, mostra che nelle ore notturne l'atmosfera nella conca tende ad essere molto stabile, mentre nelle ore centrali della giornata è debolmente convettiva nel periodo invernale e molto convettiva nel periodo estivo. Pertanto, relativamente alla dispersione degli inquinanti, nelle ore notturne il meccanismo di avvezione da parte del vento medio è privilegiato rispetto alla dispersione turbolenta. Viceversa, nelle ore centrali della giornata la convezione dell'aria aumenta il miscelamento dell'atmosfera e quindi la

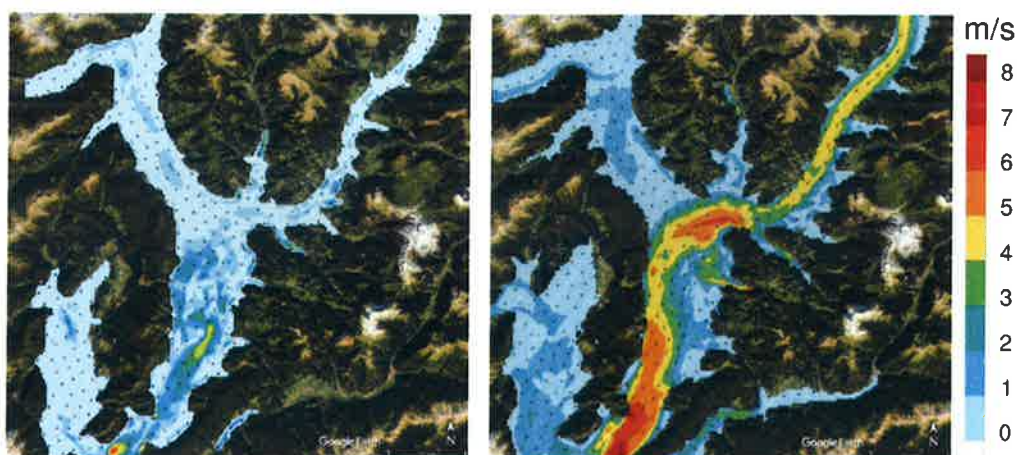


Figura 1: Campo di vento simulato dal modello prognostico WRF per l'evento di *valley-exit jet* osservato nella notte tra il 28 e il 29 gennaio 2017 (mappa di sfondo da Google Earth). Entrambe le immagini si riferiscono al medesimo istante temporale, ma restituiscono il campo di vento a due diverse quote: a 10 m dal suolo (sinistra) e a 750 m s.l.m. (925 hPa), circa 450 m dal suolo (destra).

dispersione degli inquinanti. Tale quadro è ulteriormente confermato dall'analisi dei profili verticali di temperatura, forniti dal profilatore termico installato presso l'aeroporto della città. In particolare, si osserva che la stabilità atmosferica della conca è frequentemente associata allo sviluppo di inversioni termiche al suolo. Tali inversioni sono confinate negli strati prossimi al suolo in estate, mentre nel periodo invernale oltre ad estendersi a quote maggiori (con uno spessore dello strato di inversione di 400-500 m) possono persistere in quota anche nelle ore centrali della giornata. In quest'ultimo caso si determinano situazioni gravose per la qualità dell'aria a seguito dell'accumulo di inquinanti nei bassi strati di atmosfera.

Il regime dei venti è stato esaminato attraverso l'analisi dei profili verticali di vento misurati da un SODAR, installato sul tetto del termovalorizzatore, e da un Doppler Wind-LIDAR, installato sul tetto di Palazzo 12 della Provincia Autonoma di Bolzano. L'analisi dei dati ha evidenziato la complessità della struttura del campo di vento all'interno della conca. Infatti, in assenza di forzanti sinottiche, il campo di vento è dominato da circolazioni termiche locali che si sviluppano in ciascuna delle valli tributarie della conca, nella quale confluiscono interagendo. La circolazione locale più significativa, anche in riferimento ai processi di dispersione degli inquinanti, è senz'altro costituita dal vento di drenaggio nei bassi strati proveniente dalla Val d'Isarco. Si è infatti osservato che il flusso notturno proveniente dalla Val d'Isarco confluisce nella conca di Bolzano assumendo le caratteristiche di una corrente a getto, ossia di una struttura organizzata, caratterizzata da un picco di intensità elevato che può superare i  $10 \text{ m s}^{-1}$ . L'analisi dei dati raccolti dal Dop-

pler Wind-LIDAR e le simulazioni numeriche ad altissima risoluzione (1), condotte per meglio caratterizzare il fenomeno, hanno evidenziato come la corrente a getto interagisce con le inversioni termiche che si sviluppano all'interno della conca. In particolare, la corrente a getto, entrando da Est, fluttua al di sopra dello strato di atmosfera stabile che ristagna sulla città (mediamente sopra i 450 m dal suolo) ed attraversa la conca per poi incanalarsi verso Sud in Val d'Adige. In queste condizioni si osserva un disaccoppiamento del campo di moto, in quanto al di sotto della corrente il vento è pressoché nullo. Pertanto gli inquinanti emessi a livello del suolo restano confinati negli strati bassi di atmosfera e non sono rimossi dalla corrente a getto. Diversa è la situazione per i fumi emessi dal camino del termovalorizzatore: grazie alla elevazione del camino, alla spinta di galleggiamento dovuta alla elevata temperatura di uscita, e alla velocità verticale di espulsione dalla bocca del camino, il pennacchio può raggiungere quote più elevate della inversione termica.

### **3 Simulazione dei processi di dispersione mediante modelli numerici**

Per poter analizzare in dettaglio i processi di dispersione degli inquinanti emessi a camino si è utilizzata una catena di modelli allo stato dell'arte, riconosciuti a livello internazionale per applicazioni a scala locale e su terreno complesso: il modello meteorologico WRF (Weather Research and Forecasting Model) e il modello di dispersione CALMET/CALPUFF. I modelli utilizzati sono descritti nel Capitolo 2 della relazione tecnica.

Per migliorare ulteriormente la loro affidabilità nel contesto della conca di Bolzano si sono organizzate specifiche campagne di misura con il rilascio di traccianti passivi che consentissero di raccogliere osservazioni dirette sulla ricaduta al suolo degli inquinanti emessi al camino.

Gli esperimenti hanno incluso il rilascio al camino di un tracciante passivo, le cui concentrazioni sono state misurate al suolo in diversi punti della Conca di Bolzano e nelle valli vicine. Le campagne svolte il 14 febbraio 2017 hanno consentito di raccogliere 79 campioni di aria ambiente contenente diverse concentrazioni del tracciante.

Le misure di concentrazione determinate con grande accuratezza mediante spettrometri di massa nei laboratori di Eco-Research hanno costituito la base di dati per la calibrazione dei modelli. In particolare, si sono utilizzate le informazioni raccolte per individuare la migliore configurazione del modello CALPUFF, al fine di riprodurre l'evoluzione dei rilasci di tracciante effettuati. Tale configurazione, individuata attraverso un'analisi statistica di confronto fra i valori misurati e quelli

simulati, è stata poi utilizzata per le diverse applicazioni connesse alle valutazioni richieste dal presente studio, ossia la simulazione di mappe di concentrazioni medie annue e la simulazione di mappe di concentrazioni in corrispondenza di scenari potenzialmente critici.

I risultati degli esperimenti rappresentano altresì un prezioso database informativo per studi di dispersione di inquinanti su terreno complesso, di interesse scientifico internazionale in ragione della loro unicità e della ricchezza di dati contestualmente raccolti (misure meteorologiche e di concentrazione).

La prima applicazione della catena modellistica WRF/CALPUFF così calibrata è la simulazione su base annua della dispersione degli inquinanti emessi a camino. Per tale applicazione si è scelto come anno di riferimento l'anno 2016, in quanto meteorologicamente rappresentativo della norma e ben documentato in termini di dati da misure meteorologiche e di emissioni dal camino del termovalorizzatore. La simulazione dei valori meteorologici per l'intero anno 2016, ottenuta mediante il modello meteorologico WRF e la successiva simulazione dei processi di dispersione mediante il modello CALPUFF, hanno consentito di ottenere mappe di concentrazione media annua per tutti gli inquinanti emessi a camino (Allegato tecnico 1), e mappe dei valori massimi orari (Allegato tecnico 2) o giornalieri (Allegato tecnico 3) per gli inquinanti normati per legge. L'affidabilità di tali risultati è molto elevata in quanto essi sono ottenuti dai migliori modelli riconosciuti a livello internazionale per applicazioni su terreno complesso, calibrati sul caso di studio in esame mediante le misure raccolte in campo durante gli esperimenti.

## 4 Monitoraggio della ricaduta delle emissioni

Le mappe di concentrazione ottenute dalle simulazioni su base annua, descritte al Capitolo 5 della relazione tecnica, mostrano che l'impatto delle emissioni dal camino del termovalorizzatore è molto contenuto sulla conca di Bolzano al confronto con altre fonti emissive.

Le simulazioni, finalizzate a fornire indicazioni sul posizionamento di stazioni di misura permanenti per determinare le concentrazioni di inquinanti nelle zone di massima ricaduta, hanno in realtà mostrato che la concentrazione dovuta alle emissioni dal camino è così bassa da risultare non misurabile, per le PM<sub>10</sub>, e non distinguibile dal valore di fondo per gli NO<sub>x</sub>. Infatti,

1. per le PM<sub>10</sub> (mappa in Figura 2), la concentrazione simulata massima annua è di  $0.01 \mu\text{g m}^{-3}$  contro un fondo ambientale di  $17 \mu\text{g m}^{-3}$  (valutato sulla base dei dati rilevati presso la stazione di qualità dell'aria di Piazza Adriano a Bolzano) ed un limite di legge pari a  $40 \mu\text{g m}^{-3}$ ;

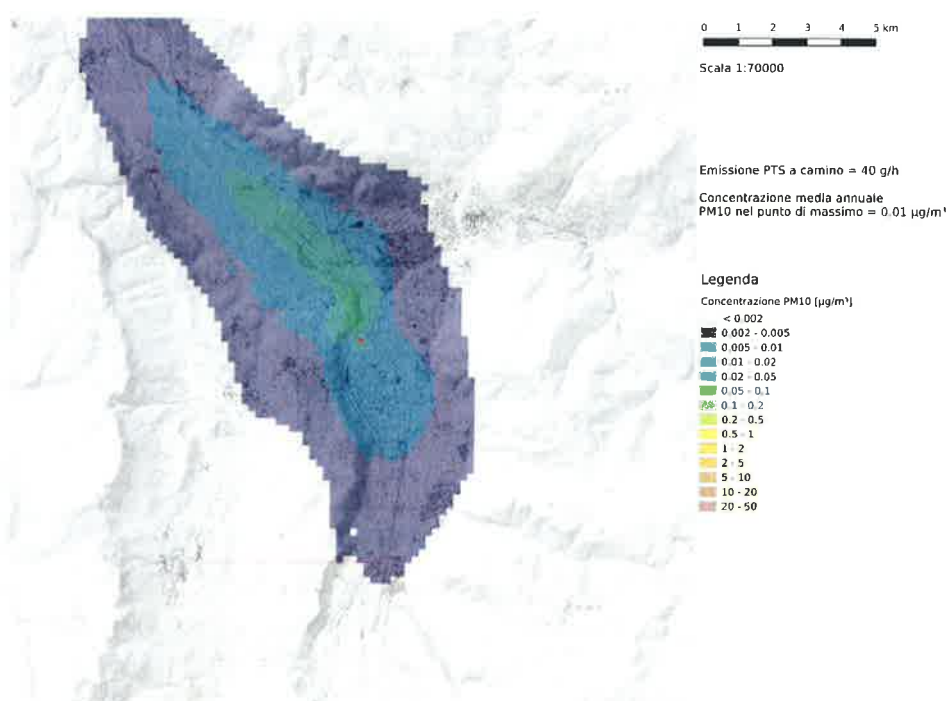


Figura 2: Concentrazioni medie annue di PM10 sulla conca di Bolzano.

- per l' $\text{NO}_2$  (mappa in Figura 3), la concentrazione simulata massima annua è di  $0.36 \mu\text{g m}^{-3}$  contro un fondo ambientale di  $31.3 \mu\text{g m}^{-3}$  (sempre riferito ai dati della stazione di qualità dell'aria di Piazza Adriano a Bolzano) ed un limite di legge pari a  $40 \mu\text{g m}^{-3}$ .

Anche le concentrazioni degli altri inquinanti, dovute al rilascio del termovalorizzatore, risultano essere così basse da non essere rilevabili o comunque difficilmente distinguibili rispetto al fondo.

## 5 Messa a punto di un sistema modellistico specifico per l'impianto

Il sistema modellistico implementato per il presente studio tecnico può essere utilizzato, oltre che per scopi di pianificazione, anche a supporto di operazioni di protezione della popolazione in caso di incidente. Per questa ragione la catena modellistica calibrata è stata utilizzata per ricostruire i campi di concentrazione determinati da ipotetici rilasci accidentali a camino, come descritto al Capitolo 6 della relazione tecnica. Data la natura molto variabile del campo di moto della zona, sia su base giornaliera, sia su base stagionale, si è scelto di individuare alcuni casi critici nei quali si potrebbero realizzare concentrazioni molto elevate su zone

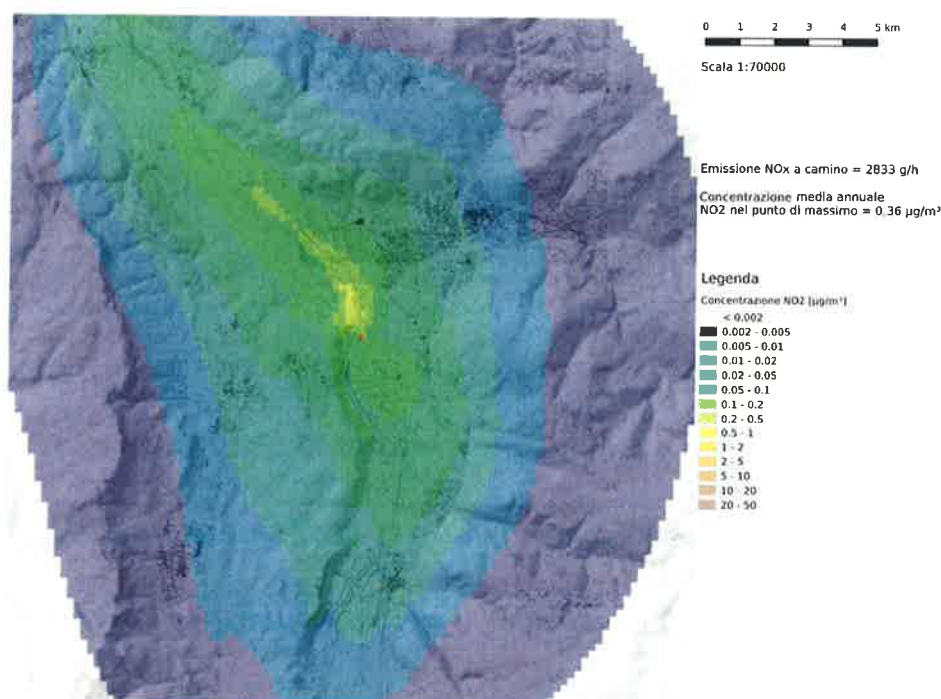


Figura 3: Concentrazioni medie annue di  $\text{NO}_2$  sulla conca di Bolzano.

a maggiore densità abitativa. I risultati ottenuti (Allegato tecnico 4) mostrano un significativo aumento delle concentrazioni al suolo, in relazione alle diverse condizioni di aumento delle emissioni a camino. La catena modellistica implementata può essere resa operativa in tempo reale con tempi di esecuzione molto brevi, a supporto di interventi in caso di eventi accidentali che possano determinare rilasci di inquinanti significativamente superiori alle soglie di pericolo.

## Riferimenti bibliografici

- Giovannini, L., Antonacci, G., Zardi, D., Laiti, L., & Panziera, L. (2014b). Sensitivity of simulated wind speed to spatial resolution over complex terrain. *Energy Procedia*, 59, 323–329.
- Giovannini, L., Laiti, L., Serafin, S., & Zardi, D. (2017). The thermally driven diurnal wind system of the Adige Valley in the Italian Alps. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*.
- Giovannini, L., Zardi, D., de Franceschi, M., & Chen, F. (2014a). Numerical simulations of boundary-layer processes and urban-induced alterations in an Alpine valley. *International Journal of Climatology*, 34(4), 1111–1131.