

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE:



S.O. INGEGNERIA AMBIENTALE E DEL TERRITORIO

PROGETTO DEFINITIVO

LINEA A.V./A.C. MILANO-VERONA

NODO DI BRESCIA

POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA

Dossier emissioni e produzioni atmosfera e rumore

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA Progr. REV.

IN1M 10 D 69 SP CA00000 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato	Data
A	Emissione a seguito richieste integrazioni MITE	F. Massari	Agosto 2022	J. Perrini	Agosto 2022	A. Campanella	Agosto 2022	Ing. Paolo Scattolon	Agosto 2022

ITALFERR S.p.A.
Ing. Paolo Scattolon
Ordine degli Ingegneri di Roma
n. 25827 sei A

File: IN1M10D69SPCA0000001A.doc

n. Elab.:

Indice

1. FINALITÀ DEL DOCUMENTO	3	4.2.1 Metodologia di calcolo e dati utilizzati	46
2. SISTEMA DELLA CANTIERIZZAZIONE.....	3	4.2.2 Emissioni relative allo Scope 1	47
3. EMISSIONI E PRODUZIONI	4	4.2.3 Emissioni relative allo Scope 2.....	49
3.1 DATI DI BASE.....	4	4.2.4 Emissioni relative allo Scope 3.....	50
3.1.1 Ricettori.....	4	4.2.5 Quantificazione delle emissioni totali	52
3.1.2 Identificazione delle aree di cantiere e degli scenari di simulazione.....	5	4.3 AZIONI DI MITIGAZIONE PER LA RIDUZIONE DELLA CO ₂ EQ EMESSA	52
3.1.3 Quantità, tipologia e frequenza dei macchinari	6	5. ALLEGATI	53
3.2 CLIMA ACUSTICO.....	7	5.1 ALLEGATO 1 - MAPPE DI RUMORE ANTE MITIGAZIONE	53
3.2.1 Descrizione del contesto ambientale e territoriale.....	7	5.2 ALLEGATO 2 - MAPPE DI RUMORE POST MITIGAZIONE	54
3.2.2 Valutazione degli aspetti ambientali legati al cantiere.....	9		
3.2.3 Analisi dell'impatto potenziale sulla componente	11		
3.2.4 Valutazione	20		
3.3 ARIA E CLIMA	21		
3.3.1 Descrizione del contesto ambientale e territoriale.....	21		
3.3.2 Valutazione degli aspetti ambientali legati al cantiere.....	29		
3.3.3 Misure di prevenzione e mitigazione	42		
4. STIMA DELLA CO ₂ EQUIVALENTE.....	45		
4.1 PREMessa	45		
4.2 GHG PROTOCOL	45		

1. FINALITÀ DEL DOCUMENTO

Il presente documento ha per oggetto l'individuazione degli aspetti ambientali significativi legati alla fase di cantierizzazione, la definizione delle misure di prevenzione e di mitigazione e delle procedure operative per contenere gli impatti ambientali relativi al Progetto Definitivo del potenziamento infrastrutturale dello scalo di Brescia della linea A.V./A.C. Milano-Verona nel Comune di Brescia.

Nello specifico, il presente elaborato è stato redatto al duplice fine di rispondere in prima istanza alle richieste di integrazione da parte del Ministero della transizione ecologica e della Regione Lombardia sulle componenti ambientali Atmosfera e Rumore, recependo contestualmente quanto richiesto dal Ministero della cultura rese con nota prot. 12549 del 17/06/2022, relativamente allo spostamento, rispetto alle previsioni progettuali, delle aree di cantiere e le eventuali opere a supporto della cantierizzazione.

Stanti tali scopi, la presente relazione non solo integra quanto presente all'interno del Progetto ambientale della cantierizzazione (IN1M10D69RGCA0000001A), ma ne costituisce a tutti gli effetti la sostituzione, divenendo il documento di riferimento relativamente alle componenti ambientali di cui sopra.

La struttura del presente lavoro si articola in:

- Finalità del documento
- Sistema della cantierizzazione
- Emissione e produzioni
 - Dati di base
 - Clima acustico
 - Aria e clima

2. SISTEMA DELLA CANTIERIZZAZIONE

Il sistema della cantierizzazione nella sua versione aggiornata prevede diverse modifiche rispetto alla precedente organizzazione prevista nel Progetto ambientale della cantierizzazione (IN1M10D69RGCA0000001A), come espressamente richiesto dal Ministero della cultura.

La localizzazione delle aree di cantiere e della viabilità di accesso alle stesse è illustrata nella planimetria IN1M10F53P6CA0000001B; i dati principali delle singole aree sono sintetizzati nella tabella seguente.

Tabella 2-1 Caratteristiche delle aree di cantiere

<i>Denominazione cantiere</i>	<i>Sigla</i>	<i>Superficie</i>
Cantiere Operativo	CO.01	1.800 m ²
Cantiere Operativo	CO.01 bis	3.200 m ²
Cantiere Base	CB.01	1.700 m ²
Area di Stoccaggio	AS.01	1.500 m ²
Area di Stoccaggio	AS.01 bis	1.500 m ²
Area di Stoccaggio	AS.02	1.300 m ²
Area di Stoccaggio	AS.03	600 m ²
Area di Stoccaggio	AS.04	2.300 m ²
Cantiere Armamento	CA.01	2.100 m ²
Area Tecnica	AT.01	1.000 m ²
Area Tecnica	AT.02	1.100 m ²

In sintesi, per il progetto in esame sono pertanto previste:

- n.5 Aree di Stoccaggio;
- n.2 Cantieri Operativi;
- n.1 Campo Base;
- n.1 Cantiere Armamento;
- n.2 Aree Tecniche.

La viabilità è costituita da piste di cantiere, realizzate specificatamente per l'accesso o la circolazione nelle aree di lavoro e dalla rete stradale esistente. Si prevede di utilizzare la rete stradale esistente per l'approvvigionamento dei materiali da costruzione ed il trasporto dei materiali scavati, diretti ai centri di smaltimento.

La scelta delle strade da utilizzare per la movimentazione dei materiali, dei mezzi e del personale è stata effettuata sulla base dei seguenti criteri:

- minimizzazione della lunghezza dei percorsi in aree residenziali o lungo viabilità con elementi di criticità (strettezze, semafori, passaggi a livello, ecc.);
- scelta delle strade a maggior capacità di traffico;

- scelta dei percorsi più rapidi per il collegamento tra il cantiere/area di lavoro e la viabilità a lunga percorrenza.

Le viabilità primarie identificate per il trasporto dei materiali sono costituite da via Orzinuovi, dalla tangenziale Ovest e Via Dalmazia.

Nelle schede descrittive delle singole aree di cantiere riportate nella “Relazione di Cantierizzazione”, sono illustrati i percorsi che verranno impiegati dai mezzi di lavoro per l’accesso alle stesse.

3. EMISSIONI E PRODUZIONI

3.1 Dati di base

3.1.1 Ricettori

Il tracciato di progetto di lunghezza pari a circa 2 km che prevede la realizzazione delle opere per il Potenziamento Infrastrutturale dello Scalo di Brescia, il quale è suddiviso in due interventi:

- Realizzazione aste di manovra di 350 metri e 750 metri lato Milano;
- Nuovo PRG dello scalo di Brescia, sviluppato in aree ferroviarie.

Il territorio attraversato risulta essere di tipo industriale-residenziale, dove il primo tratto lato Milano risulta essere industriale ed il secondo tratto vi sono dei ricettori di tipo residenziali posti però ad una distanza di circa 100 metri dall’asse del binario.

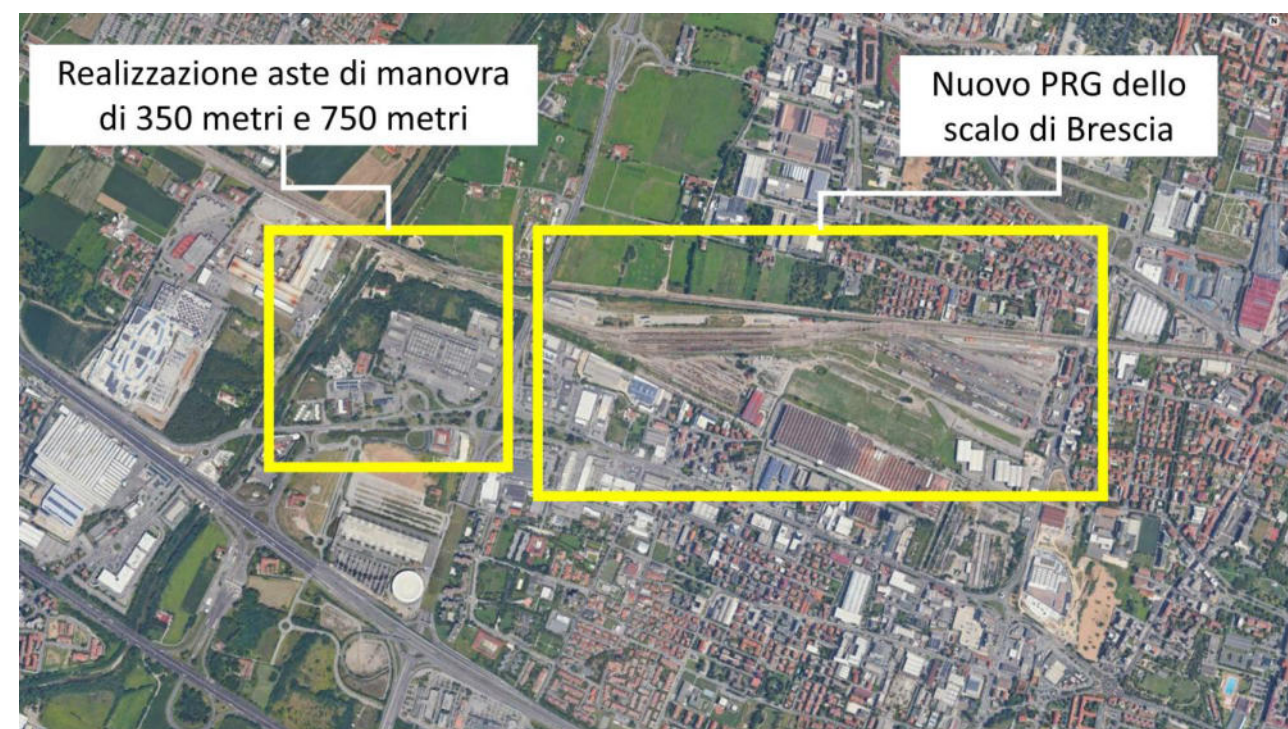


Figura 3-1 Contesto localizzativo delle aree di lavoro oggetto di analisi

In riferimento alle due tipologie di contesti ambientali individuati si riportano una serie di stralci planimetrici.

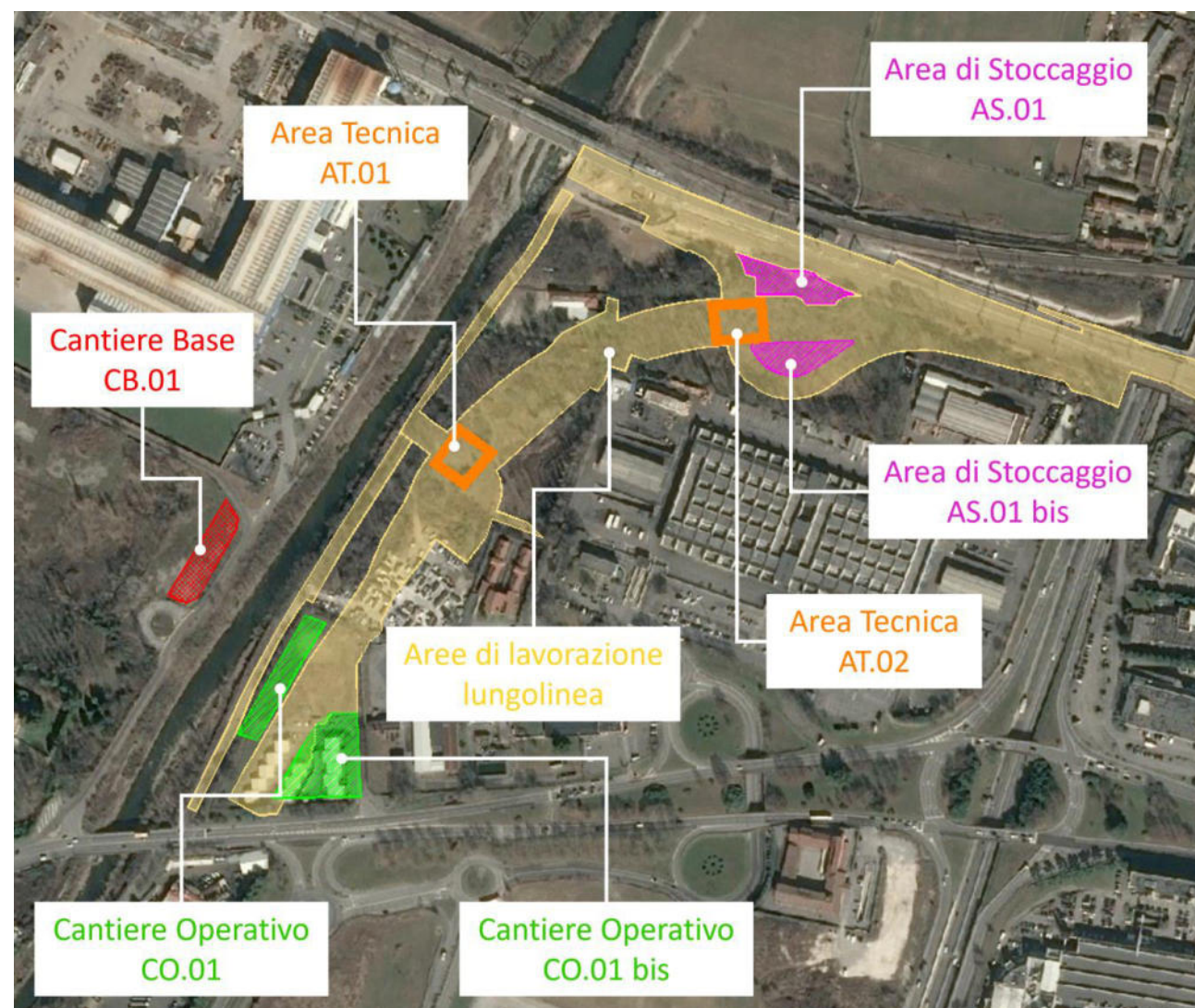


Figura 3-2 Contesto ambientale 1 – Area industriale



Figura 3-3 Contesto ambientale 2 – Area con presenza di ricettori

3.1.2 Identificazione delle aree di cantiere e degli scenari di simulazione

Sulla scorta delle valutazioni avanzate nel precedente paragrafo è possibile identificare le aree di cantiere fisso e/o mobile, che potrebbero interferire in termini di emissioni acustiche, vibrazionali e atmosferiche con i ricettori contermini.

Escludendo il contesto ambientale 2, ovvero dove i ricettori in prossimità delle aree di cantiere di tipo fisso e/o mobile sono posti ad una distanza elevata e pertanto non significativi dal punto di vista delle analisi condotte, è stato approfondito il primo contesto ambientale definito in precedenza. Relativamente al contesto ambientale 2, si sottolinea la presenza di barriere antirumore di esercizio della linea ferroviaria.

Gli scenari per i quali si è ritenuto necessario condurre un approfondimento sono quelli legati alle aree di lavoro lungolinea relative alla realizzazione delle opere civili e alle aree di cantiere fisso CO.01 e CO.01 bis, CB.,01, AS.01 e AS.01 bis.

Lo scenario di massimo impatto così identificato viene di seguito approfondito.

Scenario di riferimento

Lo scenario di simulazione analizzato ricade all'interno di un'area di tipo industriale, dove sono localizzate le aree di stoccaggio AS.01 e AS.01 bis, le aree tecniche AT.01 e AT.02, il cantiere base CB.01 ed i cantieri operativi CO.01 e CO.01 bis, nonché l'area di lavorazione lungolinea destinata alla realizzazione delle aste di manovra di 350 metri e di 750 metri lato Milano. Le aree in questione sono localizzate in prossimità di un ricettore ad uso commerciale a nord ed uno ad uso residenziale a sud-ovest. Lo scenario si configura nel seguente modo.

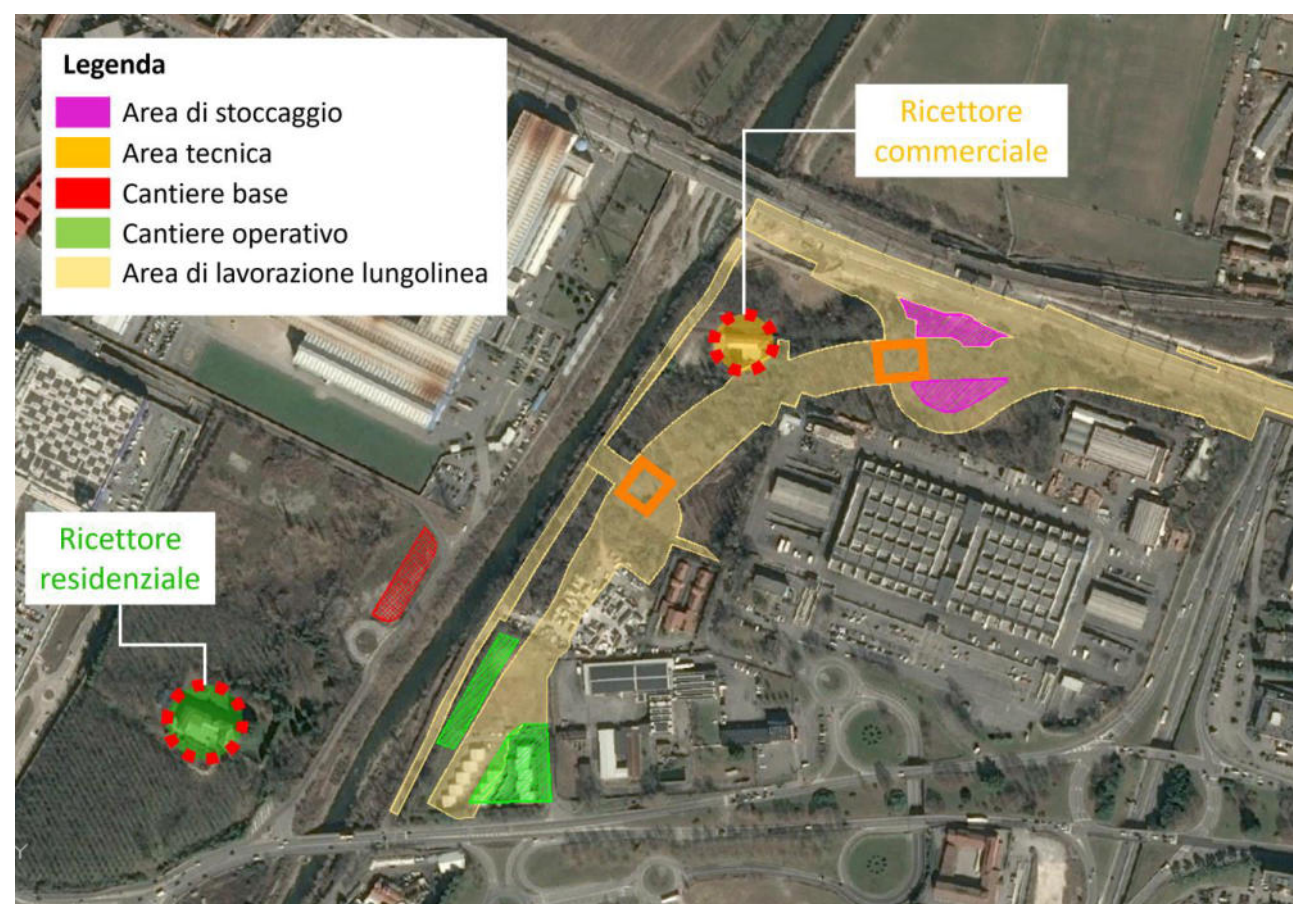


Figura 3-4 Scenario oggetto di simulazione modellistica

3.1.3 Quantità, tipologia e frequenza dei macchinari

Per le analisi acustiche e atmosferiche nelle tabelle seguenti sono illustrati i dati identificativi, ai fini della caratterizzazione delle due componenti, di ciascuna tipologia di cantiere considerate, comprendenti il tipo e il numero di mezzi operativi utilizzati all'interno dell'area di cantiere oggetto di simulazione.

Poiché la definizione del numero di macchinari non è in questa fase un dato certo si è operato in maniera quanto più realistica nel ricostruire i vari scenari, con ipotesi adeguatamente cautelative e pertanto a favore di sicurezza.

Si riportano di seguito il numero e la tipologia di mezzi di cantiere utilizzati all'interno delle aree di lavorazione.

Tabella 3-1 Numero e tipologia di mezzi di cantiere utilizzati all'interno di un'Area di stoccaggio

Numero	Macchinari
1	Pala meccanica
2	Autocarro

Tabella 3-2 Numero e tipologia di mezzi di cantiere utilizzati all'interno di un Cantiere operativo

Numero	Macchinari
1	Escavatore
1	Autocarro
1	Gruppo elettrogeno

Tabella 3-3 Numero e tipologia di mezzi di cantiere utilizzati all'interno di un Cantiere base

Numero	Macchinari
1	Gruppo elettrogeno
1	Impianto aria compressa

Per quanto concerne le aree di lavoro lungolinea, per il numero e la tipologia di mezzi utilizzati per le lavorazioni oggetto di analisi si rimanda ai paragrafi relativi a ciascuna sottocomponente.

Le attività saranno eseguite in entrambi i casi in orario diurno.

Si precisa che nel presente paragrafo sono stati indicati il numero e la tipologia dei macchinari mentre nei paragrafi specifici "Clima Acustico" e "Aria e Clima" verranno riportate le caratteristiche tecniche relative alle emissioni acustiche, vibrazionali e atmosferiche dei singoli mezzi.

Infine, per quanto concerne il traffico di cantiere indotto dalle lavorazioni esso è stato quantificato in 6,5 v/h pesanti bidirezionali, impostando una velocità di 30 km/h.

3.2 Clima acustico

3.2.1 Descrizione del contesto ambientale e territoriale

Si riporta di seguito la principale legislazione esistente in riferimento all'aspetto ambientale rumore:

DM 02.04.1968, art. 2	Zone territoriali omogenee;
DPCM 01.03.1991	Limiti massimi di esposizione al rumore negli ambienti abitativi e nell'ambiente esterno;
L n.447 del 26.10.1995	Legge quadro sull'inquinamento acustico;
DPCM 14.11.1997	Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore;
DM 16.03.1998	Tecniche di rilevamento e di misurazione dell'inquinamento acustico;
DPR n.459 del 18.11.1998	Regolamento recante norme di esecuzione dell'articolo 11 della Legge 26 ottobre 1995, n. 447, in materia di inquinamento acustico derivante da traffico ferroviario";
DM 29.11.2000	Criteri per la predisposizione, da parte delle società e degli enti gestori dei servizi pubblici di trasporto e delle relative infrastrutture, dei piani degli interventi di contenimento e abbattimento del rumore;
DPR n.142 del 30.03.2004	Disposizioni per il contenimento e la prevenzione dell'inquinamento acustico derivante dal traffico veicolare, a norma dell'articolo 11 della legge 26 ottobre 1995, n. 447;
D.Lgs. n. 194 19.08.2005	Attuazione della direttiva 2002/49/CE relativa alla determinazione e alla gestione del rumore ambientale.

A livello regionale

L.R. n. 16 del 14.08.1999	Istituzione dell'Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente
L.R. n. 13 del 10.08.2001	Norme in materia di inquinamento acustico

Contesto di intervento

La metodologia assunta per l'analisi delle interferenze rispetto al clima acustico riferita alla fase di cantierizzazione si basa sulla teoria del "Worst Case Scenario". Tale metodo individua la condizione operativa di cantiere più gravosa in termini di emissioni acustiche sul territorio in modo che verificandone le condizioni di esposizione del territorio al rumore indotto rispetto ai limiti acustici territoriali possano essere individuate le eventuali soluzioni di mitigazione più opportune al fine di contenere il disturbo sui ricettori più esposti.

Ai fini dell'inquadramento del clima acustico dell'ambito interessato dagli interventi, gli elementi conoscitivi ai quali si è fatto riferimento sono i seguenti:

- Stato approvativo del Piano Comunale di Classificazione Acustica;
- Individuazione dei limiti normativi di riferimento;
- Ricognizione dei ricettori presenti all'intorno dell'area di intervento.

Per quanto concerne lo stato della pianificazione, come noto, ai sensi di quanto disposto dalla L447/95 i Comuni provvedono alla classificazione del proprio territorio nelle zone previste dal DPCM 14 Novembre 1997 "Determinazione dei valori limiti delle sorgenti sonore".

Nello specifico, in applicazione di quanto disposto dall'articolo 3 della citata legge, il DPCM 14.11.1997 individua diverse Classi di destinazione d'uso, ossia classificazione del territorio comunale in zone ad ognuna delle quali corrisponde un diverso limite del rumore ammissibile (cfr. Tabella 3-4)

Tabella 3-4: Descrizione delle classi acustiche (DPCM 14/11/1997)

Classe	Aree
I	Aree particolarmente protette: rientrano in questa classe le aree nelle quali la quiete rappresenta un elemento di base per la loro utilizzazione: aree ospedaliere, scolastiche, aree destinate al riposo ed allo svago, aree residenziali rurali, aree di particolare interesse urbanistico, parchi pubblici, ecc
II	Aree destinate ad uso prevalentemente residenziale: rientrano in questa classe le aree urbane interessate prevalentemente da traffico veicolare locale, con bassa densità di popolazione, con limitata presenza di attività commerciali ed assenza di attività industriali ed artigianali.
III	Aree di tipo misto: rientrano in questa classe le aree urbane interessate da traffico veicolare locale o di attraversamento, con media densità di popolazione, con presenza di attività commerciali, uffici, con limitata presenza di attività artigianali e con assenza di attività industriali; aree rurali interessate da attività che impiegano macchine operatrici.
IV	Aree di intensa attività umana: rientrano in questa classe le aree urbane interessate da intenso traffico veicolare, con alta densità di popolazione, con elevata presenza di attività commerciali e uffici, con presenza di attività artigianali; le aree in prossimità di strade di grande comunicazione e di linee ferroviarie; le aree portuali; le aree con limitata presenza di piccole industrie.
V	Aree prevalentemente industriali: rientrano in questa classe le aree interessate da insediamenti industriali e con scarsità di abitazioni.
VI	Aree esclusivamente industriali: rientrano in questa classe le aree esclusivamente interessate da attività industriali e prive di insediamenti abitativi.

Tabella 3-5: Valori limite di emissione - Leq in dBA

Classi di destinazione d'uso del territorio	tempi di riferimento	
	diurno (06.00-22.00)	Notturmo (22.00-06.00)
I aree particolarmente protette	45	35
II aree prevalentemente residenziali	50	40
III aree di tipo misto	55	45
IV aree di intensa attività umana	60	50
V aree prevalentemente industriali	65	55
VI aree esclusivamente industriali	65	65

In relazione alla sopra descritte Classi di destinazione d'uso del territorio, il DPCM 14/11/1997 fissa, in particolare, i seguenti valori limite:

- i valori limiti di emissione - valore massimo di rumore che può essere emesso da una sorgente sonora, misurato in prossimità della sorgente stessa;
- i valori limiti assoluti di immissione - il valore massimo di rumore, determinato con riferimento al livello equivalente di rumore ambientale, che può essere immesso dall'insieme delle sorgenti sonore nell'ambiente abitativo o nell'ambiente esterno misurato in prossimità dei ricettori.

Tabella 3-6: Valori limite assoluti di immissione- Leq in dBA

Classi di destinazione d'uso del territorio	tempi di riferimento	
	diurno (06.00-22.00)	Notturmo (22.00-06.00)
I aree particolarmente protette	50	40
II aree prevalentemente residenziali	55	45
III aree di tipo misto	60	50
IV aree di intensa attività umana	65	55
V aree prevalentemente industriali	70	60
VI aree esclusivamente industriali	70	70

3.2.2 Valutazione degli aspetti ambientali legati al cantiere

Caratteristiche fisiche del rumore

Il rumore è un fenomeno fisico, definibile come un'onda di pressione che si propaga attraverso un gas. Nell'aria le onde sonore sono generate da variazioni della pressione sonora sopra e sotto il valore statico della pressione atmosferica, e proprio la pressione diventa quindi una grandezza fondamentale per la descrizione di un suono.

La gamma di pressioni è però così ampia da suggerire l'impiego di una grandezza proporzionale al logaritmo della pressione sonora, in quanto solamente una scala logaritmica è in grado di comprendere l'intera gamma delle pressioni.

In acustica, quando si parla di livello di una grandezza, si fa riferimento al logaritmo del rapporto tra questa grandezza ed una di riferimento dello stesso tipo.

Al termine livello è collegata non solo l'utilizzazione di una scala logaritmica, ma anche l'unità di misura, che viene espressa in decibel (dB). Tale unità di misura indica la relazione esistente tra due quantità proporzionali alla potenza.

Si definisce, quindi, come livello di pressione sonora, corrispondente ad una pressione p, la seguente espressione:

$$L_p = 10 \log (P/p_0)^2 \text{ dB} = 20 \log (P/p_0) \text{ dB}$$

dove p_0 indica la pressione di riferimento, che nel caso di trasmissione attraverso l'aria è di 20 micro-pascal, mentre P rappresenta il valore RMS della pressione.

I valori fisici riferibili al livello di pressione sonora non sono, però, sufficienti a definire l'entità della sensazione acustica. Non esiste, infatti, una relazione lineare tra il parametro fisico e la risposta dell'orecchio umano (sensazione uditiva), che varia in funzione della frequenza.

A tale scopo, viene introdotta una grandezza che prende il nome di intensità soggettiva, che non risulta soggetta a misura fisica diretta e che dipende dalla correlazione tra livello di pressione e composizione spettrale.

I giudizi di eguale intensità a vari livelli e frequenze hanno dato luogo alle curve di iso-rumore, i cui punti rappresentano i livelli di pressione sonora giudicati egualmente rumorose da un campione di persone esaminate.

Dall'interpretazione delle curve iso-rumore deriva l'introduzione di curve di ponderazione, che tengono conto della diversa sensibilità dell'orecchio umano alle diverse frequenze; tra queste, la curva di ponderazione A è quella che viene riconosciuta come la più efficace nella valutazione del disturbo, in quanto è quella che si avvicina maggiormente alla risposta della membrana auricolare.

In acustica, per ricordare la curva di peso utilizzata, è in uso indicarla tra parentesi nell'unità di misura adottata, che comunque rimane sempre il decibel, vale a dire dB(A).

Allo scopo di caratterizzare il fenomeno acustico, vengono utilizzati diversi criteri di misurazione, basati sia sull'analisi statistica dell'evento sonoro, che sulla quantificazione del suo contenuto energetico nell'intervallo di tempo considerato.

Il livello sonoro che caratterizza nel modo migliore la valutazione del disturbo indotto dal rumore è rappresentato dal livello continuo equivalente di pressione sonora ponderato A, Leq , definito dalla relazione analitica:

$$Leq = 10 \log [1/T] \int_0^T (p(t)/p_0)^2 dt$$

essendo:

$p(t)$ = valore istantaneo della pressione sonora secondo la curva A;

p_0 = valore della pressione sonora di riferimento, assunta uguale a 20 micro-pascal in condizioni standard;

T = intervallo di tempo di integrazione.

Il Leq costituisce la base del criterio di valutazione proposto sia dalla normativa italiana che dalla raccomandazione internazionale I.S.O. n. 1996 sui disturbi arrecati alle popolazioni, ed inoltre viene adottato anche dalle normative degli altri paesi.

Il livello equivalente continuo costituisce un indice dell'effetto globale di disturbo dovuto ad una sequenza di rumore compresa entro un dato intervallo di tempo; esso corrisponde cioè al livello di rumore continuo e costante che nell'intervallo di tempo di riferimento possiede lo stesso "livello energetico medio" del rumore originario.

Il criterio del contenuto energetico medio è basato sull'individuazione di un indice globale, rappresentativo dell'effetto sull'organo uditivo di una sequenza di rumori entro un determinato intervallo di tempo; esso in sostanza commisura, anziché i valori istantanei del fenomeno acustico, l'energia totale in un certo intervallo di tempo.

Il Leq non consente di caratterizzare le sorgenti di rumore, in quanto rappresenta solamente un indicatore di riferimento; pertanto, per meglio valutare i fenomeni acustici è possibile considerare i livelli percentili, i livelli massimo e minimo, il SEL.

I livelli percentili (L1, L5, L10, L33, L50, L90, L95, L99) rappresentano i livelli che sono stati superati per una certa percentuale di tempo durante il periodo di misura:

- l'indice percentile L1 connota gli eventi di rumore ad alto contenuto energetico (livelli di picco);
- l'indice percentile L10 è utilizzato nella definizione dell'indicatore "clima acustico", che rappresenta la variabilità degli eventi di rumore rilevati;
- l'indice L50 è utilizzabile come indice di valutazione del flusso autoveicolare;
- l'indice percentile L95 è rappresentativo del rumore di fondo dell'area;
- il livello massimo (Lmax), connota gli eventi di rumore a massimo contenuto energetico;
- il livello minimo (Lmin), consente di valutare l'entità del rumore di fondo ambientale;
- il SEL rappresenta il livello sonoro di esposizione ad un singolo evento sonoro.

Cenni sulla propagazione

Nella propagazione del suono avvengono più fenomeni che contemporaneamente provocano l'abbassamento del livello di pressione sonora e la modifica dello spettro in frequenza. Principale responsabile dell'abbassamento del livello di pressione sonora è la divergenza del campo acustico, che porta in campo libero (propagazione sferica) ad una riduzione di un fattore quattro dell'intensità sonora (energia per secondo per unità di area) per ogni raddoppio della distanza. Di minore importanza, ma capace di grandi effetti su grandi distanze, è l'assorbimento dovuto all'aria, che dipende però fortemente dalla frequenza e dalle condizioni meteorologiche (principalmente dalla temperatura e dall'umidità).

Vi sono poi da considerare l'assorbimento da parte del terreno, differente a seconda della morfologia (suolo, copertura vegetativa e altimetria) dell'area in analisi, inoltre l'effetto dei gradienti di temperatura, della velocità del vento ed effetti schermanti vari causati da strutture naturali e create dall'uomo.

La differente attenuazione delle varie frequenze costituenti il rumore da parte dei fattori citati e la contemporanea tendenza all'equipartizione dell'energia sonora tra le stesse portano ad una modifica dello spettro sonoro "continua" all'aumentare della distanza da una sorgente, specialmente se questa è complessa ed estesa come una struttura stradale o ferroviaria.

Influenza dell'orografia sulla propagazione sonora

La presenza di ostacoli modifica la propagazione teorica delle onde sonore generando sia un effetto di schermo e riflessione, sia un effetto di diffrazione, ovvero di instaurazione di una sorgente secondaria. Quindi, come è nell'esperienza di tutti, colli o, in alcuni casi, semplici dossi o trincee sono in grado di limitare sensibilmente la propagazione del rumore, o comunque di variarne le caratteristiche. Tale attenuazione aumenta al crescere della dimensione dell'ostacolo e del rapporto tra dimensione dell'ostacolo e la distanza di questo dal ricevitore; in particolare le metodologie di analisi più diffuse utilizzano il cosiddetto "numero di Fresnel" che prende in considerazione parametri come la lunghezza d'onda del suono e la differenza del cammino percorso dall'onda sonora in presenza o meno dell'ostacolo.

Infine, si segnala tra gli altri, il fenomeno della concentrazione dell'energia sonora che può essere determinato da riflessioni multiple su ostacoli poco fonoassorbenti. Tipicamente tale fenomeno può creare un effetto di amplificazione con le sorgenti poste nelle gole.

Metodologia di lavoro utilizzata

Lo studio acustico si pone come obiettivo quello di definire e valutare i livelli di immissione acustici indotti dal sistema di cantierizzazione previsto per la realizzazione delle opere relative all'intervento di realizzazione di aste di manovra di 350 metri e 750 metri lato Milano e nuovo PRG dello scalo di Brescia, sviluppato in aree ferroviarie per il Potenziamento Infrastrutturale dello Scalo di Brescia. In ragione di detta finalità, le azioni di progetto che concorrono all'alterazione del clima acustico nel presente studio sono rappresentate dai mezzi di cantiere connessi alla realizzazione delle diverse opere progettuali.

Lo studio acustico, finalizzato alla valutazione dei livelli di immissione indotti dalla fase di cantiere, è esteso a tutti i ricettori la cui facciata è direttamente esposta alle aree di cantiere.

In virtù degli obiettivi che lo studio acustico si pone, questo è articolato in due macro-sezioni, all'interno delle quali sono stati valutati i seguenti scenari:

- Scenario AM valutazione delle immissioni acustiche nei ricettori delle attività di cantiere;
- Scenario PM valutazione delle immissioni acustiche nei ricettori delle attività di cantiere comprensivo di interventi di mitigazione acustica.

Il modello di simulazione SoundPlan

Il modello di calcolo utilizzato è SoundPlan versione 8.2: un software previsionale per effettuare simulazioni acustiche in grado di rappresentare al meglio le reali condizioni ambientali che caratterizzano il territorio studiato. Questo modello di simulazione è uno tra gli strumenti più completi oggi presenti sul mercato per la valutazione della propagazione del rumore prodotto da sorgenti di ogni tipo: da quelle infrastrutturali, quali ad esempio strade, ferrovie o aeroporti, a quelle fisse, quali ad esempio strutture industriali, impianti energetici, etc.

SoundPlan è uno strumento previsionale ad “ampio spettro”, progettato per modellizzare la propagazione acustica in ambiente esterno prendendo in considerazione tutti i fattori interessati al fenomeno, come la disposizione e forma degli edifici, la topografia del sito, le barriere antirumore, il tipo di terreno e gli effetti meteorologici.

Tra i diversi standard di propagazione acustica per le strade, ferrovie o infrastrutture industriali, disponibili all'interno del software, è presente inoltre CNOSSOS – EU Road: 2015 riconosciuto dal Decreto Legislativo 17 febbraio 2017 n.42 «Attuazione della direttiva UE 2015/996 che stabilisce metodi comuni per la determinazione del rumore a norma della direttiva 2002/49/CE del Parlamento europeo e del Consiglio.

Una delle principali innovazioni di questo software si riscontra proprio nella precisione di dettaglio con cui viene rappresentata la reale orografia del territorio.

L'area di studio viene caratterizzata orograficamente mediante l'utilizzo di file georeferenziati con la creazione di un DGM (Digital Ground Model) ottenuto attraverso algoritmo TIN (Triangular Irregular Network), che è ritenuto il più attendibile per la realizzazione di modelli digitali del terreno partendo da mappe vector. Questo sistema sfrutta alcune potenzialità del DEM (Digital Elevation Model) come la possibilità di mediare le distanze tra le isoipse, ma introduce, in caso di soli punti quotati noti, la tecnica di triangolazione ad area minima, crea cioè una serie di triangoli tridimensionali, i quali hanno come vertici i punti quotati noti e con la minor area possibile e attribuisce a queste aree triangolari valori di quota calcolati sulla differenza dX, dY e dZ, ovvero le pendenze dei versanti.

La realizzazione di un file di input può essere coadiuvata dall'innovativa capacità del software di generare delle visualizzazioni tridimensionali del sito, mediante un vero e proprio simulatore di volo in cui è possibile impostare il percorso e la quota del volo, variabili anche in itinere del sorvolo secondo necessità; tale strumento permette di osservare graficamente la totalità dei dati di input immessi, verificandone la correttezza direttamente muovendosi all'interno di scenari virtuali tridimensionali.

Durante lo svolgimento delle operazioni matematiche, questo software permette di effettuare calcoli complessi e di archiviare tutti i livelli parziali collegati con le diverse sorgenti, per qualsiasi numero di

punti di ricezione al fine di individuare i singoli contributi acustici. Inoltre, i livelli acustici stimati sui punti della griglia (mappe acustiche) possono essere sommati, sottratti ed elaborati, con qualsiasi funzione definita dall'utente.

Il software permette, infine, di ottenere in formato tabellare qualunque valore acustico si voglia conoscere di un ricettore, per ognuna delle sue facciate, per ogni piano, restituendo anche l'orientamento delle facciate rispetto alla sorgente sonora, la differenza di quota sorgente-ricettore ed altre informazioni presenti nel modello: è, ad esempio, in grado di effettuare calcoli statistici relativi all'impatto sonoro a cui è soggetta la popolazione presente nell'area di studio, seguendo i dettati delle ultime normative europee.

In ogni caso, SoundPlan presenta un'ampia flessibilità di gestione, permettendo di risolvere i differenti casi che di volta in volta è possibile incontrare.

In particolare, si osserva la possibilità di definire il materiale della struttura acustica in modo che presenti completo assorbimento acustico senza riflessione, definendo un coefficiente di riflessione per ognuna delle facce della barriera, o introducendo un coefficiente di assorbimento acustico differente in funzione della frequenza dell'onda sonora prodotta dalla sorgente.

I dati di input del modello sono i seguenti:

- Cartografia 3D: un fattore di fondamentale importanza per poter sviluppare una corretta modellizzazione acustica è la realizzazione di una cartografia tridimensionale compatibile con le esigenze “acustiche” del modello previsionale adottato. Per una precisa descrizione del terreno da inserire all'interno del modello è necessario definire all'interno del software le isoipse, l'edificato e le infrastrutture di trasporto interessate;
- Sorgenti stradali: per ogni infrastruttura è necessario definire la conformazione geometrica, i dati relativi ai flussi e alle velocità di percorrenza in ciascun tratto, il tipo di asfalto e il senso di marcia;
- Edifici: per ciascun edificio è necessario definire posizione e altezza;
- Griglia di calcolo: occorre definire la griglia di calcolo in cui verranno effettuate le simulazioni;
- Tempi di riferimento: secondo quanto predisposto dalla legge n°447 26/10/1995 e s.m.i. gli scenari temporali di riferimento sono due: diurno (6.00-22:00) e notturno (22:00-6:00).

3.2.3 Analisi dell'impatto potenziale sulla componente

Per le attività di cantiere, le sorgenti di emissione acustica sono rappresentate dai macchinari ed attrezzature utilizzati in cantiere.

L'entità dell'impatto è funzione della tipologia di macchinari utilizzati e, dunque, delle relative potenze sonore, del numero di macchinari e della loro contemporaneità, delle fasi di lavoro e delle percentuali di utilizzo. L'entità dell'impatto acustico varia, inoltre, in relazione alla conformazione del territorio ed agli eventuali ostacoli presenti.

I fattori sulla scorta dei quali è stata condotta la stima degli effetti connessi alla fase di cantierizzazione sono discesi dalla considerazione sia degli aspetti progettuali che di quelli riguardanti il contesto di localizzazione dell'opera in progetto.

Nello specifico, per quanto attiene ai fattori progettuali, sono stati considerati in seguenti aspetti:

- Tipologia delle aree di cantierizzazione

Sulla base dell'analisi della Relazione generale di cantierizzazione, sono state prese in considerazione le aree di cantiere fisso (CB.01, CO.01, CO.01 bis, AS.01; AS.01 bis, AS.02, AS.03, AS.04, AT.01, AT.02, CA.01) e le aree di lavoro.

In merito alle aree di cantiere fisso, sintetizzando quanto riportato nella citata relazione, le principali funzioni alle quali queste sono destinate, sono descrivibili nei seguenti termini:

CB.01	Cantiere base destinato ad ospitare le principali strutture logistiche e operative funzionali all'esecuzione dei lavori;
CO.01 e CO.01bis	Cantieri operativi contenenti gli impianti principali di supporto alle lavorazioni che si svolgono nel lotto, insieme alle aree di stoccaggio dei materiali da costruzione e potrà essere utilizzato per l'assemblaggio e il varo delle opere metalliche;
AS.01, AS.01bis, AS.02, AS.03 e AS.04	Aree di stoccaggio a supporto delle lavorazioni
AT.01 e AT.02	Aree tecniche (che in fase di progettazione esecutiva potranno anche essere incrementate in funzione delle possibili ottimizzazioni progettuali), che fungono da base per la costruzione di singole opere d'arte e per l'assemblaggio e varo delle opere metalliche;
CA.01	Cantiere di armamento costituito da tronchini di ricovero dei mezzi di cantiere su rotaia individuato nei pressi dell'opera da

realizzare onde consentire la realizzazione delle opere di armamento e realizzazione dell'attrezzaggio tecnologico.

Per quanto riguarda le aree di lavoro lungolinea, le attività e le lavorazioni previste sono state desunte dall'analisi degli elaborati grafici delle opere civili (IN1M10F53P6CA0000001B).

- Rilevanza delle lavorazioni, in relazione ai valori di potenza sonora dei mezzi d'opera, macchinari utilizzati. In buona sostanza, le attività e lavorazioni previste ai fini della realizzazione delle opere in progetto possono essere distinte nelle due seguenti tipologie:
 - Realizzazione di micropali per il muro MU02 (L=145.1 m);
 - Realizzazione rilevato RI03;

Infine, per quanto concerne il traffico di cantiere indotto dalle lavorazioni esso è stato quantificato in 6,5 v/h pesanti bidirezionali, impostando una velocità di 30km/h.

Per quanto concerne i fattori di contesto, gli aspetti presi in considerazione hanno riguardato l'articolazione della struttura territoriale e, specificatamente, di quella insediativa, sotto il profilo funzionale e rispetto alla regolamentazione in materia di classificazione acustica.

In breve, per quanto attiene alla articolazione funzionale, il contesto di localizzazione è stato analizzato prendendo in esame le tipologie di usi in atto ed in particolare la densità dei tessuti edilizi ad uso residenziale.

Le analisi in tal senso condotte sono sintetizzate in Figura 3-5: Contesto localizzativo delle aree di lavoro oggetto di analisi, Figura 3-6 e Figura 3-7, nelle quali sono riportati gli areali di concentrazione di ricettori ad uso residenziale in relazione alle aree di cantiere fisso ed alle aree di lavoro lungolinea.

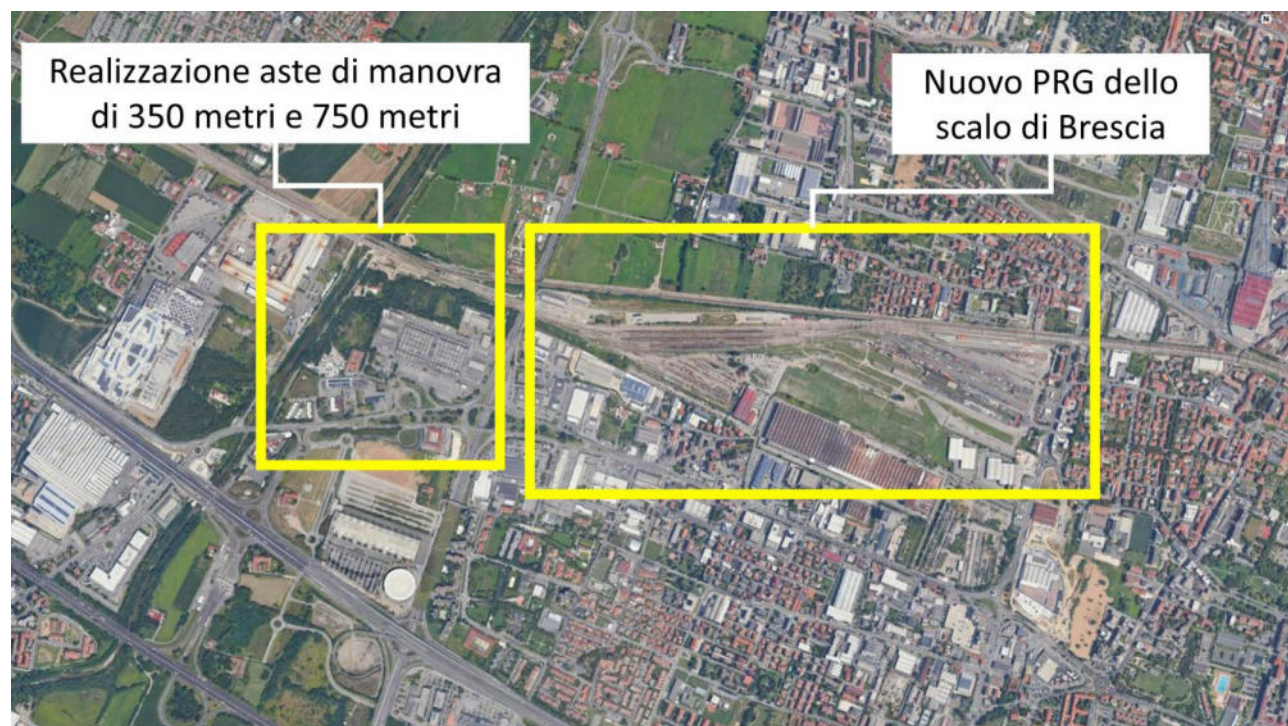


Figura 3-5: Contesto localizzativo delle aree di lavoro oggetto di analisi

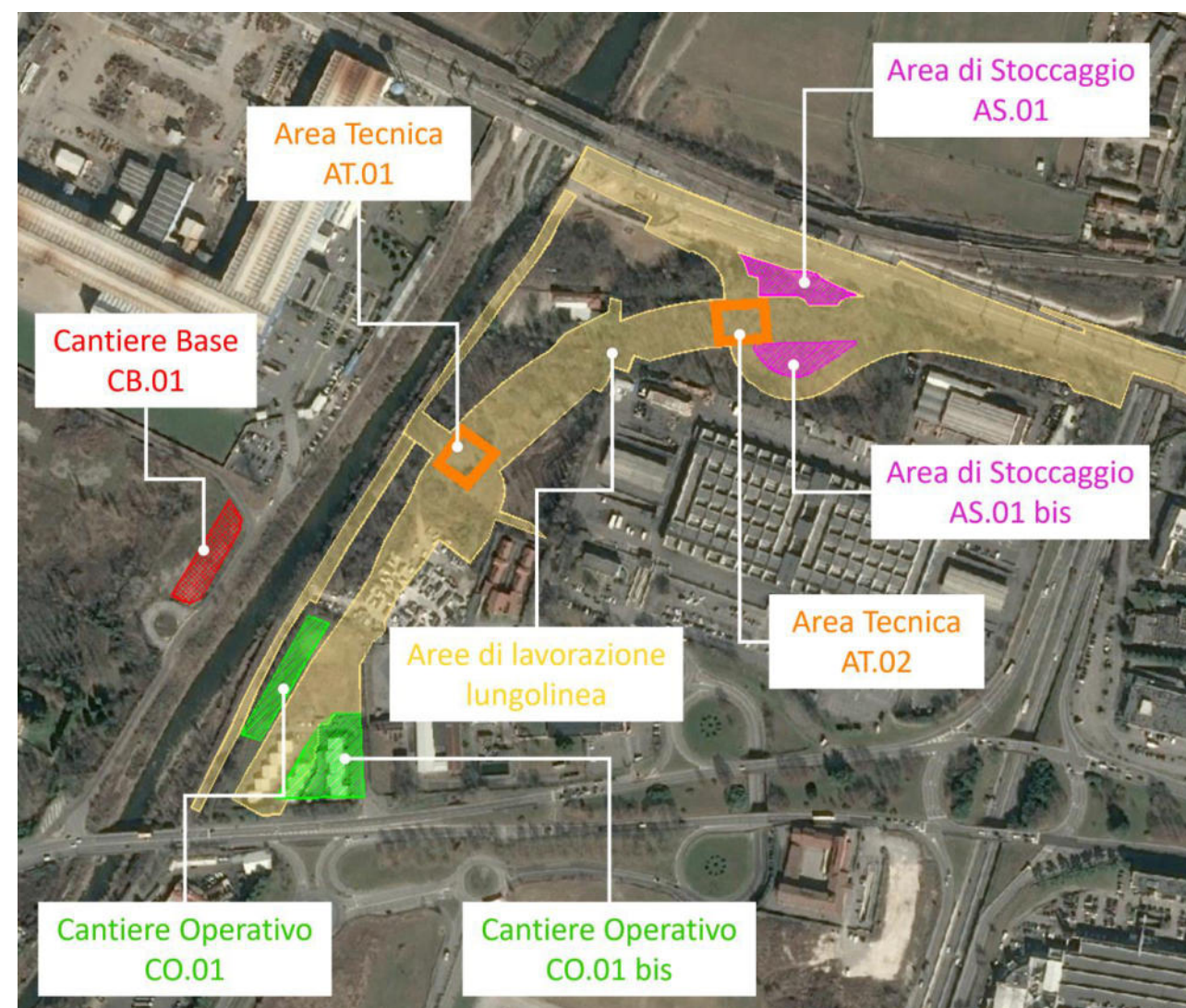


Figura 3-6: Contesto ambientale 1 – Area industriale



Figura 3-7: Contesto ambientale 2 – Area con presenza di ricettori

Come anticipato nel paragrafo 3.1.2, si esclude il contesto ambientale 2, ovvero dove i ricettori in prossimità delle aree di cantiere di tipo fisso e/o mobile sono posti ad una distanza elevata e pertanto non significativi dal punto di vista delle analisi condotte, approfondendo in questa sede esclusivamente il primo contesto ambientale definito in precedenza.

Per quanto attiene al secondo profilo di analisi del contesto localizzativo, si è fatto riferimento ai Piani di Classificazione Acustica Comunale.

Il Comune di Brescia ha approvato il PCCA con Delibera del Consiglio Comunale n.194 del 29.09.2006, mentre il Comune di Roncadelle ha approvato il PCCA con Delibera del Consiglio Comunale n. 29 del 22.07.2019.

Provincia	Comune	Estremi di approvazione zonizzazione acustica
Brescia	Brescia	D.C.C. n. 194 del 29 settembre 2006
Brescia	Roncadelle	D.C.C. n. 29 del 22 luglio 2019

Si riporta di seguito uno stralcio della cartografia riferita all'area in esame, che ricade nelle classi III e IV (cfr. Figura 3-8).

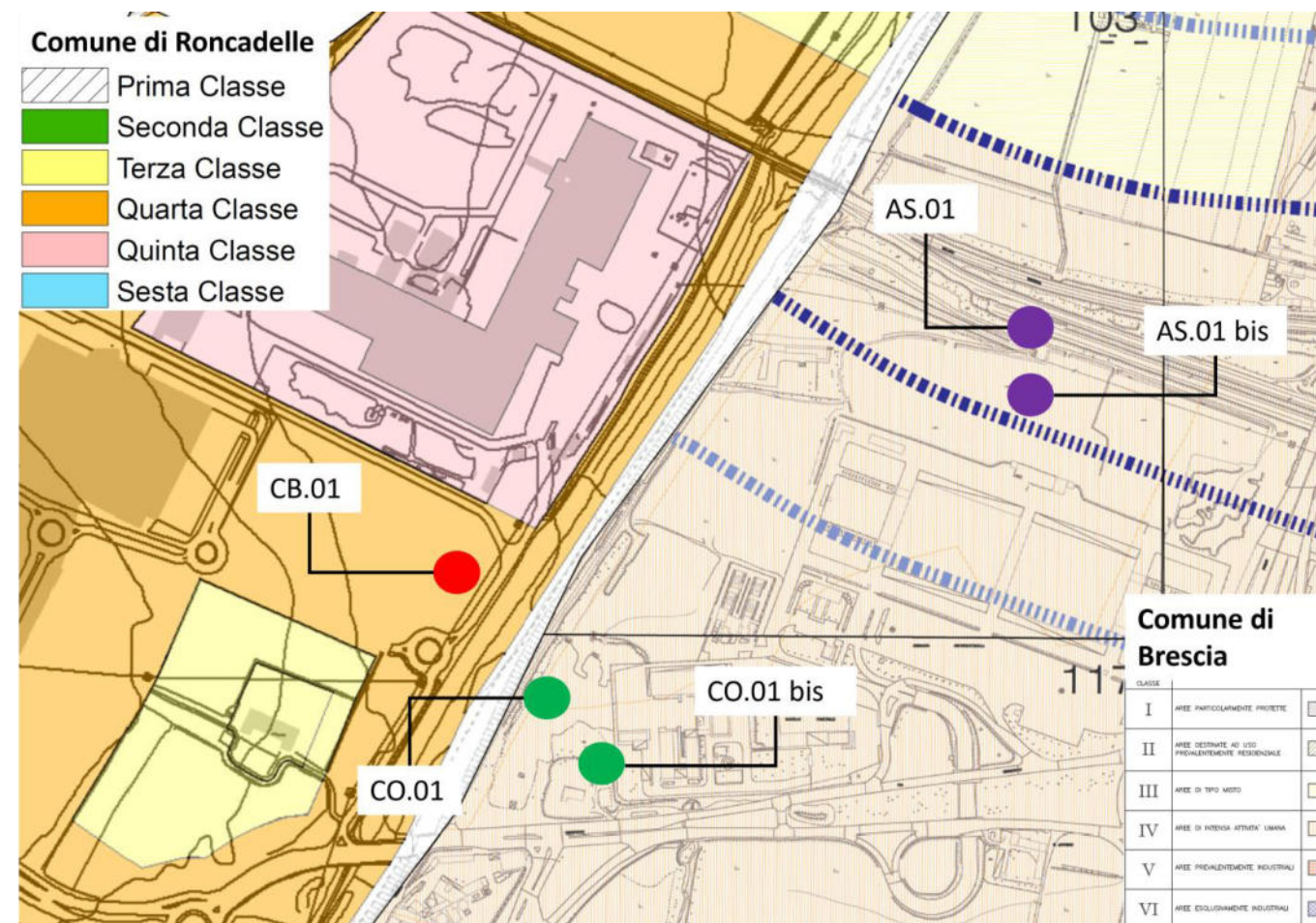


Figura 3-8: Stralci dei Piani Comunali di Classificazione Acustica dei Comuni di Brescia e di Roncadelle

Sulla scorta dell'analisi delle figure precedenti emerge come tutte le aree di cantiere fisso sono localizzate in aree zonizzate in Classe IV "Aree di intensa attività umana", con valore limite assoluto di immissione per il periodo diurno: 65 dB(A).

Gli scenari per i quali si è ritenuto necessario condurre un approfondimento sono i seguenti:

- A. Aree di lavoro lungolinea – Realizzazione di micropali per il muro di sostegno MU02;
- B. Aree di lavoro lungolinea – Realizzazione di rilevato RI03;
- C. Aree di cantiere fisse – Lavorazioni all'interno delle aree CO.01 e CO.01 bis, CB.,01, AS.01 e AS.01 bis.

Si sottolinea come, a valle di un'analisi del programma dei lavori "IN1M10D53PHCA0000001B", le attività relative ai punti A e B di cui sopra non risultino effettuate in contemporanea. Tuttavia, come misura

cautelativa, dette lavorazioni lungolinea sono state considerate contemporaneamente all'interno dello scenario di simulazione.

Al fine di stimare l'effetto prodotto da dette attività e, sulla scorta del confronto tra i valori di pressione stimati ed i valori limite di immissione previsti dal Piano di Classificazione Acustica Comunale, verificare l'eventuale necessità di predisporre interventi di mitigazione acustica, è indispensabile assumere alcune ipotesi in merito al tipo e numero di mezzi d'opera ed automezzi presenti nelle aree di cantiere, alla loro localizzazione e percentuali di utilizzo, nonché al periodo giornaliero nel quale saranno svolte dette attività.

Le ipotesi nel seguito riportate sono state sviluppate sulla base dell'analisi di cantieri analoghi a quelli qui considerati per la realizzazione delle opere in progetto.

La tabella seguente (cfr. Tabella 3-7) riporta le ipotesi assunte con riferimento a:

- Tipologia e numero dei mezzi d'opera ed automezzi presenti nell'area di cantiere;
- Potenza sonora attribuita alla sorgente (i valori derivano, a seconda dei casi, da dati bibliografici, tra cui "Conoscere per prevenire n°11: la valutazione dell'inquinamento acustico prodotto dai cantieri edili" redatto dal Comitato Paritetico Territoriale per la prevenzione infortuni, l'igiene e l'ambiente di lavoro di Torino e Provincia, o da valori massimi prescritti dalla normativa - D. Lgs. 262/2002);
- Periodo di attività di ciascun macchinario all'interno del cantiere e periodo di effettivo utilizzo;
- Potenza sonora complessiva relativa a ciascuna tipologia di sorgente, ottenuta moltiplicando il valore della potenza sonora (% di impiego) e considerando il periodo effettivo di attività.

Posto che, in questa fase, non rappresentano dei dati certi, la definizione del numero di macchinari e la potenza sonora dei macchinari (dipendente dal modello, dallo stato di manutenzione, dalle condizioni d'uso, ecc.), si è operato in maniera quanto più realistica possibile nel ricostruire lo scenario di riferimento, assumendo ipotesi adeguatamente cautelative.

La determinazione dei livelli di rumore indotti dalle attività di cantiere è stata effettuata con l'ausilio del modello previsionale di calcolo SoundPLAN 8.2 della soc. Braunstein + BerntGmbH.

Tutti gli scenari si limitano al solo periodo diurno, in quanto in tutti i casi non sono previste attività o lavorazioni nel periodo notturno. Si è assunta perciò una operatività di un turno lavorativo pari a 8 ore, sia per i cantieri fissi che mobili, nel solo periodo diurno nell'arco temporale tra le 6:00 – 22:00.

Dati di input

Parametri territoriali

Il primo step della modellizzazione acustica consiste nella ricostruzione della morfologia del territorio interessato dalle attività di cantiere. Attraverso i dati cartografici territoriali è stata modellata l'orografia dell'area di studio mediante interpolazione delle linee di elevazione, punti quota, infrastrutture, etc.

All'interno del modello sono stati ricreati inoltre gli edifici, distinti per altezza, ed altre strutture che influenzano la propagazione delle onde di pressione, rappresentate, nel caso in esame, dalle barriere antirumore di esercizio della ferrovia.

Scenario reale



Ricostruzione 3D in SoundPlan

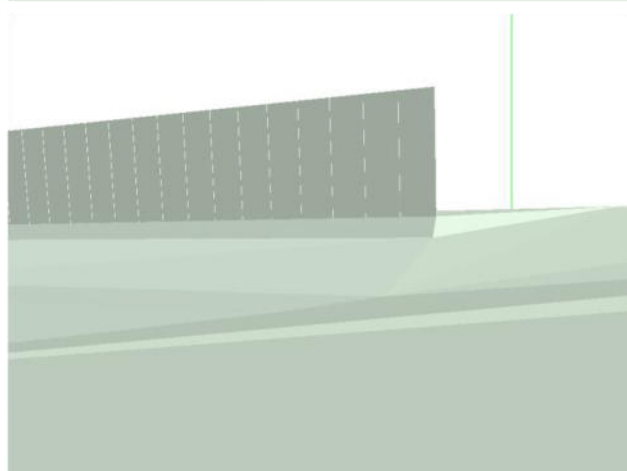
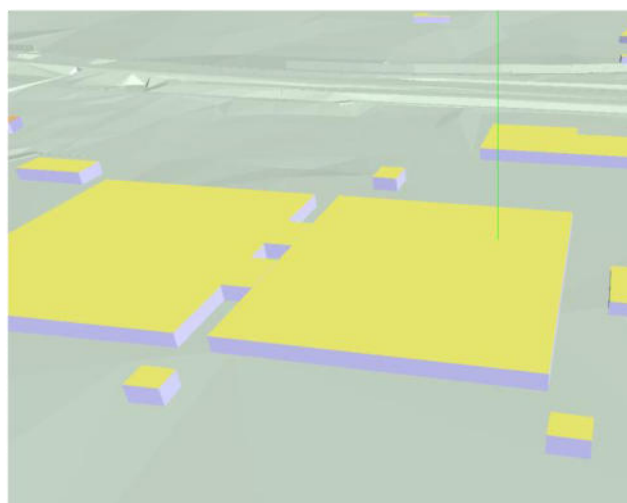


Figura 3-9 Modellazione tridimensionale in SoundPlan, esempio di costruzione del DGM, degli edifici e delle barriere antirumore di esercizio della linea ferroviaria.

Modellizzazione acustica

Per ogni area di lavoro sono stati considerati i dati indicati nelle tabelle seguenti, con le relative potenze sonore, la percentuale di attività effettiva, la percentuale di impiego nel periodo di attività del cantiere e il livello di potenza sonora per ogni singola macchina. I cantieri fissi sono stati simulati come sorgenti areali, poste ad un'altezza di 1,5 metri, con frequenza centrale pari a 500 Hz. Per quanto concerne le lavorazioni lungolinea, le macchine all'interno del modello di simulazione, rappresentate da sorgenti puntiformi, sono poste ad un'altezza pari a 1,5 metri dal suolo e con frequenza centrale pari a 500 Hz. I valori di potenza sonora vengono posizionati all'interno dell'area di cantiere, ipotizzandoli come una sorgente puntuale. Si ricorda che il cantiere risulterà attivo per un periodo di 8 ore al giorno.

Tabella 3-8 Caratteristiche dei mezzi di cantiere nelle aree di lavoro considerate nelle simulazioni

Aree di stoccaggio AS.01 e AS.01 bis					
Numero	Macchinari	Lw [dB(A)]	% impiego	% attività effettiva	Lw [dB(A)] effettivo
1	Pala meccanica	102.6	100%	50%	99.6
2	Autocarro	101.9	100%	100%	101.9
Totale					106.0

Cantiere Operativo CO.01 e CO.01 bis					
Numero	Macchinari	Lw [dB(A)]	% impiego	% attività effettiva	Lw [dB(A)] effettivo
1	Escavatore	107.0	100%	60%	104.8
1	Autocarro	101.9	100%	100%	101.9
1	Gruppo elettrogeno	99.4	100%	100%	99.4
Totale					107.3

Cantiere Base CB.01					
Numero	Macchinari	Lw [dB(A)]	% impiego	% attività effettiva	Lw [dB(A)] effettivo
1	Gruppo elettrogeno	99.4	100%	100%	99.4
1	Impianto aria compressa	99.4	100%	100%	99.4
Totale					102.4

Realizzazione micropali per muro MU.02					
Numero	Macchinari	Lw [dB(A)]	% impiego	% attività effettiva	Lw [dB(A)]
1	Autocarro	107,0	100 %	60 %	104,8
1	Escavatore	101,9	100 %	100 %	101,9
1	Macchina per micropali	90,4	100%	50%	87,4

Realizzazione rilevato RI.03					
Numero	Macchinari	Lw [dB(A)]	% impiego	% attività effettiva	Lw [dB(A)]
2	Escavatore	107,0	100%	60%	104,8
2	Autocarro	101,9	100%	100%	101,9
1	Rullo compattatore	105,1	100%	50%	102,1

Per quanto riguarda il periodo giornaliero di attività del cantiere, si è assunto che le lavorazioni siano previste unicamente in quello diurno.

Di seguito si riporta la ricostruzione in 3D all'interno del modello di simulazione acustico SoundPLAN.

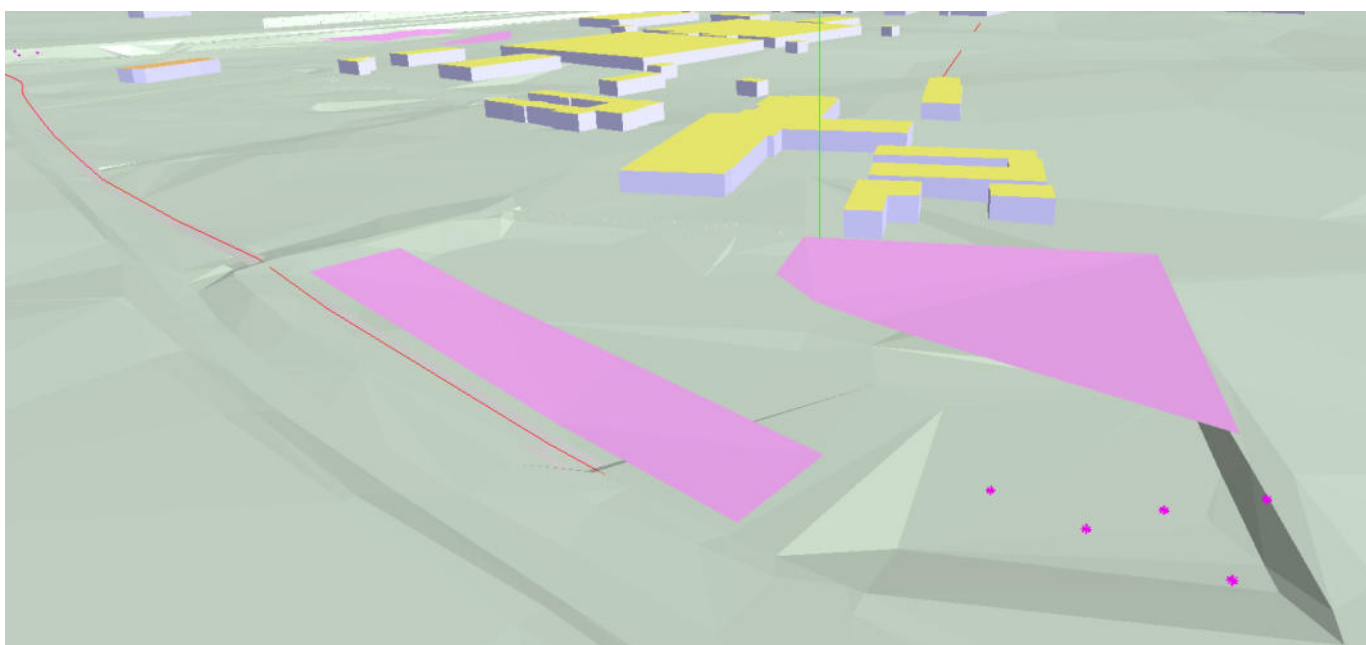


Figura 3-10 Modellazione tridimensionale in SoundPLAN (in rosa le sorgenti areali ed i mezzi di cantiere puntiformi)

Output delle simulazioni

Scenario Ante Mitigazione

L'output della modellazione condotta è rappresentato nella figura seguente in termini di planimetria (cfr. Figura 3-12), come mappa di isolivello calcolata a 4 metri di altezza dal piano campagna. La griglia di calcolo è stata impostata con passo pari a 10 metri, mentre l'ordine di riflessione è stato assunto pari a 3.

Generale	Impostazioni	Standards	Valutazione	Mappa del rumore	Statistiche	Descrizione
Ordine di riflessione	3			Ponderazione dB		dB(A)
Max raggio di ricerca [m]	5000			Imposta bonus ferrovia di 5 dB		<input type="checkbox"/>
Max. distanza riflessioni da Ric. [m]	200			Crea aree di Ground Effect dalle superfici stradali		<input checked="" type="checkbox"/>
Max. distanza riflessioni da Srg. [m]	50					
Tolleranza consentita (dB)	0.1					
Tolleranza consentita valida per..	risultato complessivo					

Generale	Impostazioni	Standards	Valutazione	Mappa del rumore	Statistiche	Descrizione
Geometria						
<input checked="" type="radio"/> Calcola nuova mappa						
Spaziatura griglia [m]		10	Altezza da terra [m]		4	
<input type="radio"/> Ricalcola mappa						
Area di ri-calcolo:						
						>>

Figura 3-11 Impostazioni di calcolo in SoundPlan 8.2

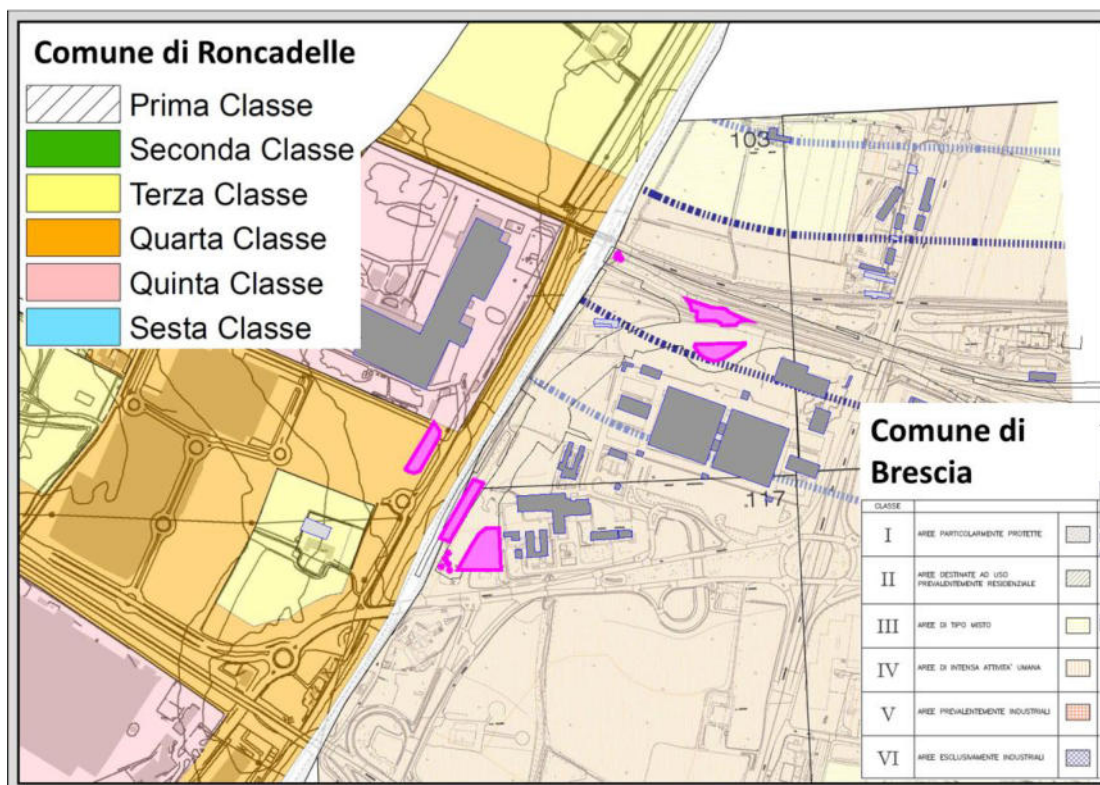
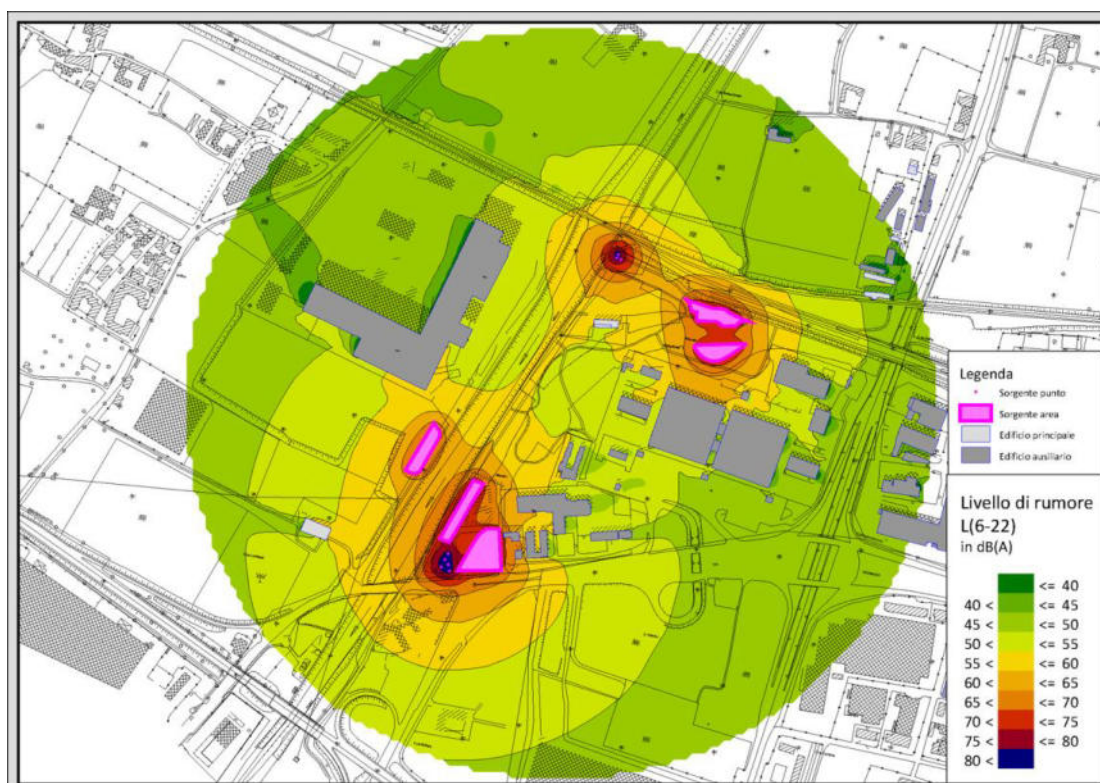


Figura 3-12. Output del modello di simulazione in planimetria e confronto con PCCA

I risultati delle simulazioni acustiche mostrano come per i ricettori interessati dalle lavorazioni svolte all'interno delle aree di cantiere, non risultino superamenti dei limiti acustici previsti dalla normativa di riferimento.

Tuttavia, in considerazione della localizzazione delle aree di cantiere all'interno di beni paesaggistici e dell'area protetta rappresentata dal parco locale di interesse sovracomunale PLIS "Parco delle colline di Brescia", si è tuttavia ritenuto necessario il ricorso ad interventi di mitigazione specifici, quali barriere antirumore. Le barriere acustiche sono installate altresì a maggior tutela della fruizione di Via Girelli e del parco di cui sopra.

Scenario Post Mitigazione

In relazione alle considerazioni cautelative, effettuate nel paragrafo precedente, vi è la necessità di installare barriere antirumore di tipo fisso e mobile. All'interno della simulazione è stata installata infatti una barriera fissa lungo il perimetro ovest del cantiere operativo CO.01 di lunghezza pari a 145 metri ed altezza di 5 metri. Contestualmente, è prevista l'adozione di barriere mobili lungo le lavorazioni lungolinea relative alla realizzazione delle aste di 350 metri e 750 metri lato Milano, di altezza pari a 5 metri e lunghezza complessiva di 795 metri.

Di seguito si riporta una tabella riepilogativa degli interventi di mitigazione acustica adottati ed uno stralcio planimetrico.

Tabella 3-9: Localizzazione e caratteristiche dimensionali delle barriere antirumore

Codice Barriera	Area di lavoro	Lunghezza Barriera [m]	Altezza Barriera [m]
BA.01	Cantiere Operativo CO.01	145	5

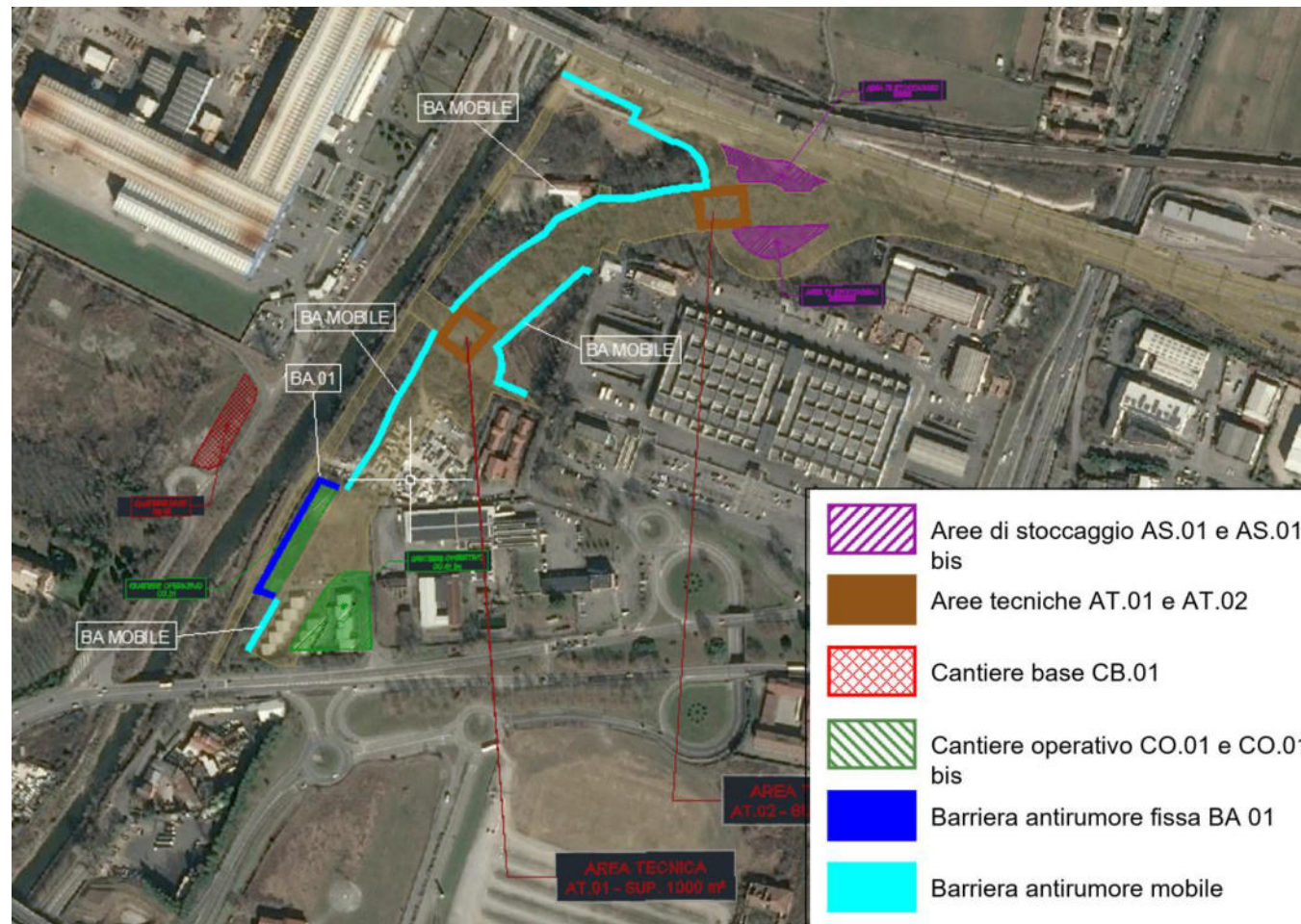


Figura 3-13: Barriere antirumore previste nello scenario Post Mitigazione

Di seguito si riporta l'output della modellazione acustica in presenza degli interventi di mitigazione (cfr. Figura 3-12).

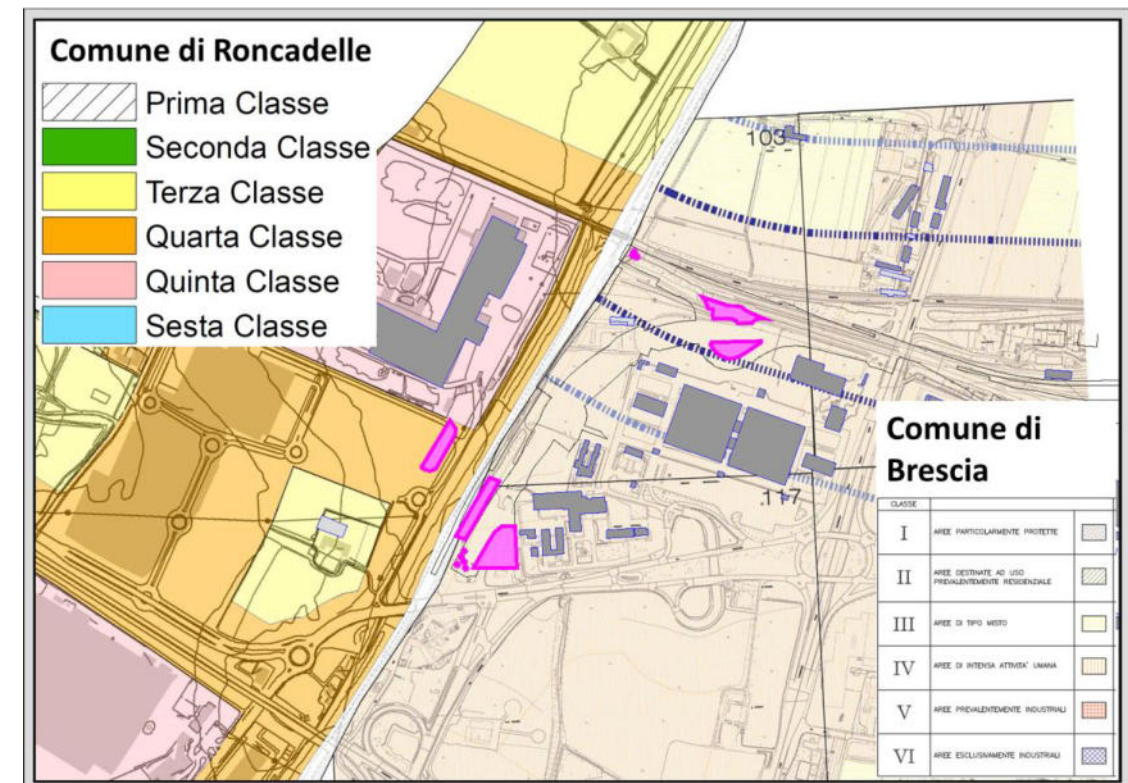
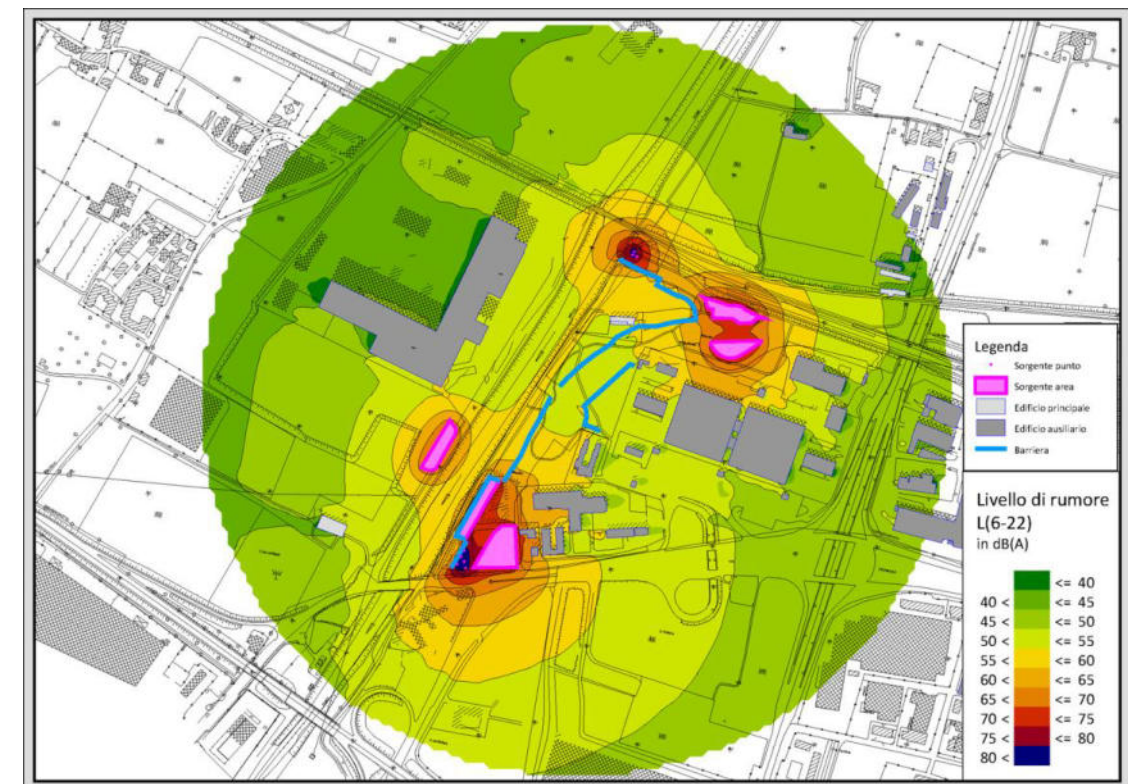


Figura 3-14: Output del modello di simulazione con barriere antirumore in planimetria e confronto con PCCA

3.2.4 Valutazione

Impatto legislativo

Relativamente all'aspetto ambientale "Rumore" l'impatto legislativo risulta significativo in relazione alla presenza di adempimenti normativi che regolamentano tale aspetto ambientale.

Interazione opera – ambiente

La stima dell'interazione opera-ambiente, nel seguito riportata, è stata condotta sulla base del confronto tra i livelli di rumore prodotti dalle aree di cantiere ed i valori limite di immissione relativi alle classi acustiche attribuite dal Piano di classificazione acustica comunale, ai ricettori abitativi presenti all'intorno delle aree di cantiere.

A tal riguardo si ricorda che i livelli di rumore considerati sono stati ottenuti mediante uno studio modellistico che ha tipizzato i cantieri in progetto, ossia assumendo delle ipotesi in merito al numero, alla tipologia ed alla potenza sonora dei macchinari presenti, senza considerare la morfologia del contesto di localizzazione delle aree di cantiere e la presenza dei ricettori. In altri termini, si è fatto riferimento ad un cantiere tipo associato a quelli previsti ai fini della realizzazione delle opere in progetto, ottenendo con ciò la stima modellistica del rumore indotto dalle attività di lavoro all'interno delle aree di cantiere fisso, mentre i livelli sonori cui sono potenzialmente soggetti i ricettori sono stati desunti in via deduttiva.

Nel caso in esame, i ricettori presenti all'interno dell'ambito di studio, individuati nell'area all'intorno del sito di intervento, sono rappresentati da ricettori abitativi posti a distanza ravvicinata da detto sito.

Sulla base dello studio modellistico condotto nei termini prima descritti si è previsto l'inserimento di tre barriere antirumore di tipo mobile, ed una barriera di tipo fissa. Sulla scorta della tipizzazione modellistica del caso in studio, si è verificato come detto intervento consenta di ridurre significativamente i valori di pressione sonora.

Le barriere antirumore permettono inoltre una maggiore tutela dei beni paesaggistici e dell'area protetta rappresentata dal parco locale di interesse sovracomunale PLIS "Parco delle colline di Brescia", oltre a proteggere dagli impatti acustici di cantiere la fruizione di Via Girelli e del parco di cui sopra.

Si sottolinea come dette barriere permettano di raggiungere, durante le attività di cantiere legate alla realizzazione delle opere in oggetto, un clima acustico con livelli costantemente inferiori ai 60 dB(A), attribuibili alla Classe III del PCCA, inferiore perciò alla classe acustica attribuita al territorio interessato

dalle aree di cantiere, appartenente per la maggior parte alla Classe IV, per la quale i limiti di immissione sono pari a 65 dB(A).

Considerate le ipotesi cautelative assunte alla base dello studio modellistico (contemporaneità dell'attività di palificazione e di scavo), l'elevato effetto di mitigazione in ragione degli interventi di mitigazione previsti, nonché la limitata estensione temporale delle lavorazioni ed il loro carattere temporaneo, è possibile ritenere che l'interazione opera-ambiente possa essere ritenuta mitigata.

Percezione degli Stakeholders

I soggetti esterni interessati per l'aspetto ambientale in questione sono costituiti dalla popolazione che risiede in prossimità del Cantiere. A questa si aggiungono gli enti preposti al controllo dell'inquinamento acustico.

Il tema dell'inquinamento acustico costituisce uno degli elementi di maggiore criticità per qualunque area di cantiere, per cui ci si attende che esso dia senz'altro luogo a manifestazione di interesse.

Pertanto, si ritiene significativa la percezione degli stakeholder per la fase di realizzazione dell'opera.

3.3 Aria e clima

3.3.1 Descrizione del contesto ambientale e territoriale

Inquadramento normativo

Per quanto riguarda strettamente la trattazione si riportano di seguito i principali strumenti legislativi che compongono la cornice giuridica in materia atmosfera:

D.Lgs. n.250 del 24.12.2012	<i>Modifiche ed integrazioni al decreto legislativo 13 agosto 2010, n. 155;</i>
D.Lgs. n.155 del 13.08.2010	<i>Attuazione della direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa;</i>
D.Lgs n.152 del 03.04.2006	<i>Norme in materia ambientale. Parte quinta - Norme in materia di tutela dell'aria e di riduzione delle emissioni in atmosfera;</i>
D.Lgs n.133 del 11.05.2005	<i>Attuazione della direttiva 2000/76/CE in materia di incenerimento dei rifiuti.</i>

A livello regionale, il principale riferimento è rappresentato da:

DGR n. 449 del 2018	<i>Piano Regionale degli Interventi per la qualità dell'Aria (PRIA)</i>
DGR n. 2605 del 2011	<i>Zonizzazione del territorio regionale e classificazione di cui all'art. 3 e art. 4 del D.Lgs 155/2010 delle zone e agglomerati ai fini della redazione del programma di valutazione, aggiornamento</i>

Stato qualità dell'aria

Il D. Lgs. 155/10 assegna alle Regioni e alle Province Autonome il compito di procedere alla zonizzazione del territorio (art. 3) e alla classificazione delle zone (art. 4).

Con delibera n. 6438 del 3.4.2017 la Giunta Regionale ha dato avvio al procedimento per l'aggiornamento del Piano Regionale degli Interventi per la qualità dell'Aria (PRIA), ai sensi degli artt. 9 e 11 del D. Lgs.155/2010 e, contestualmente, al procedimento di verifica di assoggettabilità alla Valutazione Ambientale Strategica (VAS) del PRIA stesso, ai sensi dell'art.12 del D.Lgs. 152/2006 e della d.C.R. n. 351/2007. Al termine della procedura di esclusione dalla VAS è stato approvato l'aggiornamento di Piano - PRIA 2018 - con d.G.R. n. 449 del 2 agosto 2018.

La zonizzazione è stata eseguita sulla base delle caratteristiche demografiche, meteorologiche e orografiche regionali, della distribuzione dei carichi emissivi e dalla valutazione del fattore predominante nella formazione dei livelli di inquinamento in aria ambiente. Il territorio regionale risulta così suddiviso:

- Agglomerato di Milano;
- Agglomerato di Bergamo;
- Agglomerato di Brescia.

Ciascun agglomerato è costituito dalla città da cui prende il nome l'agglomerato stesso e dall'area contigua, che può essere considerata insieme alla città di riferimento un unico agglomerato urbano.

Oltre agli agglomerati, il restante territorio regionale è stato diviso in quattro zone:

- Zona A – Pianura ad elevata urbanizzazione;
- Zona B – Zona di Pianura;
- Zona C – Montagna;
- Zona D – Fondovalle.

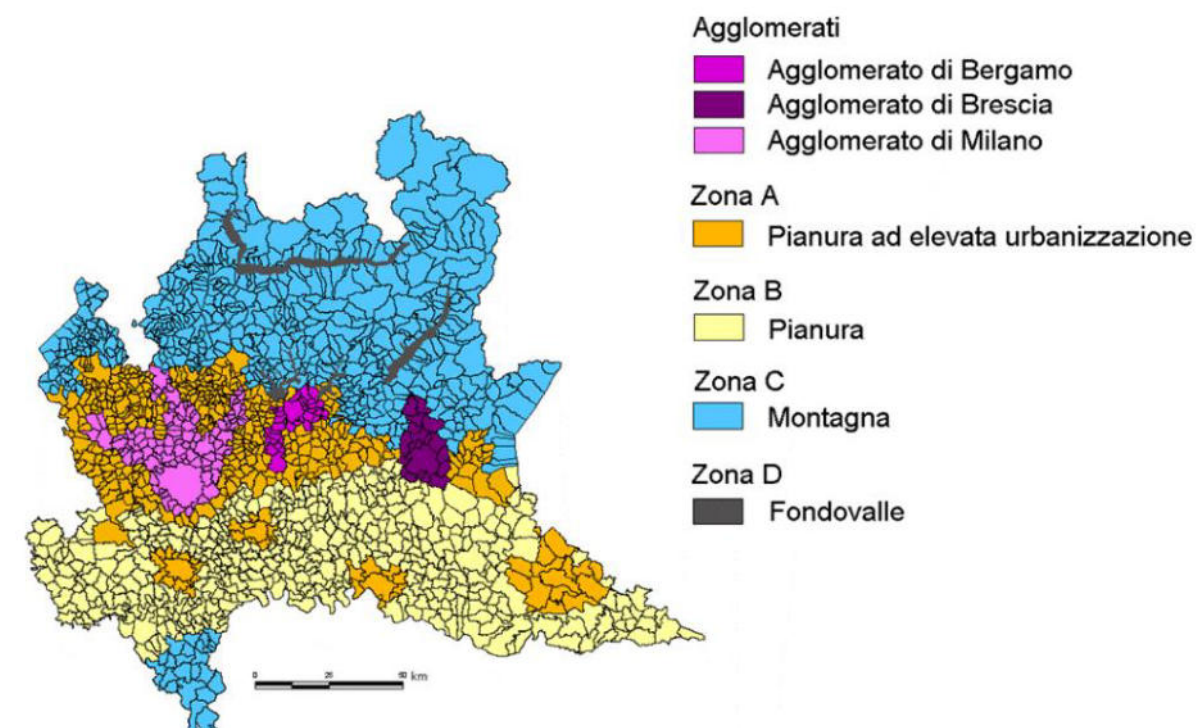


Figura 3-15 Zonizzazione della Regione Lombardia per tutti gli inquinanti ad esclusione dell'Ozono (fonte: "Piano regionale degli Interventi per la qualità dell'Aria" - Anno 2018)

Per l'Ozono la Zona C è stata divisa in due zone distinte:

- Zona C1 – Area prealpina e appenninica;
- Zona C2 – Area alpina.

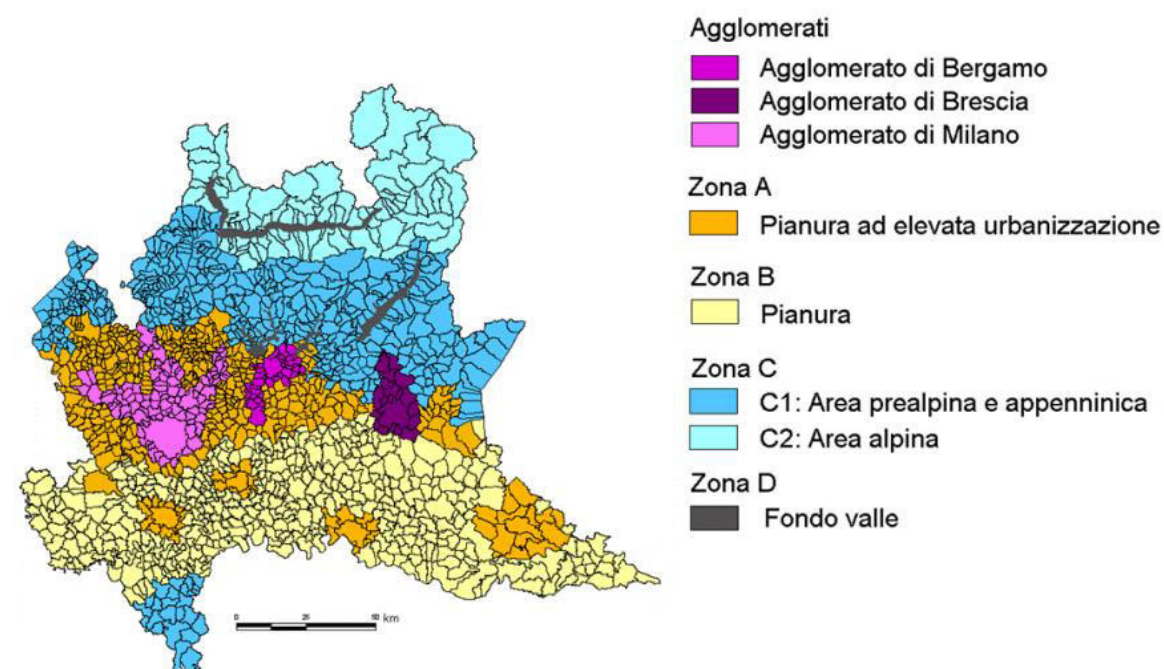


Figura 3-16 Zonizzazione della Regione Lombardia per l'ozono (fonte: "Piano Regionale degli interventi per la qualità dell'Aria" - Anno 2018)

In particolare, l'intervento in oggetto ricade nell'agglomerato di Brescia.

In ottemperanza a quanto disposto dall'articolo 4 del DLgs 155/2010, a valle della zonizzazione, è stata operata la classificazione delle zone e degli agglomerati individuati, sulla base delle soglie di valutazione superiori (SVS) e inferiori (SVI) previste dall'allegato II - sezione I e della procedura prevista dall'allegato II - sezione II del citato decreto.

La classificazione costituisce un passaggio fondamentale ai fini del programma per la misura della qualità dell'aria, in quanto è funzionale ad individuare quale metodo di valutazione (misurazioni in siti fissi, misure indicative, tecniche di modellizzazione o di stima obiettiva) sia consentito utilizzare in ciascuna zona e, qualora siano obbligatorie misure in siti fissi, il numero di stazioni necessarie in funzione del livello raggiunto dall'inquinante e della popolazione residente.

Come noto, ai sensi delle predette disposizioni normative, la procedura di classificazione prevede che il superamento delle SVS e delle SVI sia determinato in base alle concentrazioni degli inquinanti nell'aria

ambiente rilevate nei cinque anni civili precedenti, intendendo per superamento i casi in cui la soglia di valutazione è stata superata in almeno tre sui cinque anni civili precedenti.

Facendo riferimento a quanto esplicitato all'interno del "Piano Regionale degli Interventi per la qualità dell'Aria" (PRIA), approvato nel 2013 (con DGR n. 593 del 6/9/2013) ed aggiornato nel 2018, la rete di Rilevamento della Qualità dell'Aria in Lombardia è attualmente composta da 85 stazioni fisse, (tra stazioni pubbliche e stazioni private, queste ultime afferenti a grandi impianti industriali quali centrali termoelettriche, raffinerie, inceneritori) che, per mezzo di analizzatori automatici, forniscono dati in continuo ad intervalli temporali regolari (generalmente con cadenza oraria).

Gli inquinanti monitorati sono: SO₂, NO_x, CO, O₃, PM₁₀, PM_{2,5} e Benzene.

Il D.Lgs. 155/2010 (art. 5) prevede che le regioni e le province autonome predispongano un programma per la misura della qualità dell'aria con stazioni fisse coerente con le disposizioni introdotte dal decreto stesso. Il numero delle stazioni di misurazione previste dal programma di valutazione deve essere individuato nel rispetto dei canoni di efficienza, efficacia ed economicità. I punti di misura ove sono misurati o campionati i principali inquinanti possono essere descritti in relazione alla loro collocazione per tipo di zona (urbana/ suburbana/rurale) o per tipo di stazione (traffico/fondo/ industriale). Più in dettaglio le stazioni di traffico sono collocate in posizione tale da misurare prevalentemente gli inquinanti provenienti da emissioni veicolari; le stazioni di fondo rilevano livelli di inquinamento non direttamente influenzati da singole sorgenti ma riferibili al loro contributo integrato, mentre quelle industriali rilevano l'eventuale contributo connesso alle limitrofe attività produttive.

Diverso è il contesto ambientale (urbano, industriale, da traffico, rurale, etc.) nel quale è attivo il monitoraggio e diversa è la tipologia di inquinanti che è necessario rilevare. Di conseguenza, non tutte le stazioni sono dotate della medesima strumentazione analitica.

I dati forniti dalle stazioni fisse vengono integrati con quelli rilevati durante campagne di misura temporanee, effettuate mediante l'ausilio di 8 laboratori mobili e campionatori per il rilevamento del particolato fine, oltre che altra strumentazione avanzata quale, a esempio, Contatori Ottici di Particelle e analizzatori di Black Carbon.

Inoltre, dal 2009 in Lombardia sono attivi 14 siti per la determinazione di Benzo(a)pirene [B(a)P] e metalli. Le postazioni sono distribuite su tutto il territorio regionale in funzione della densità abitativa e della tipologia di territorio.

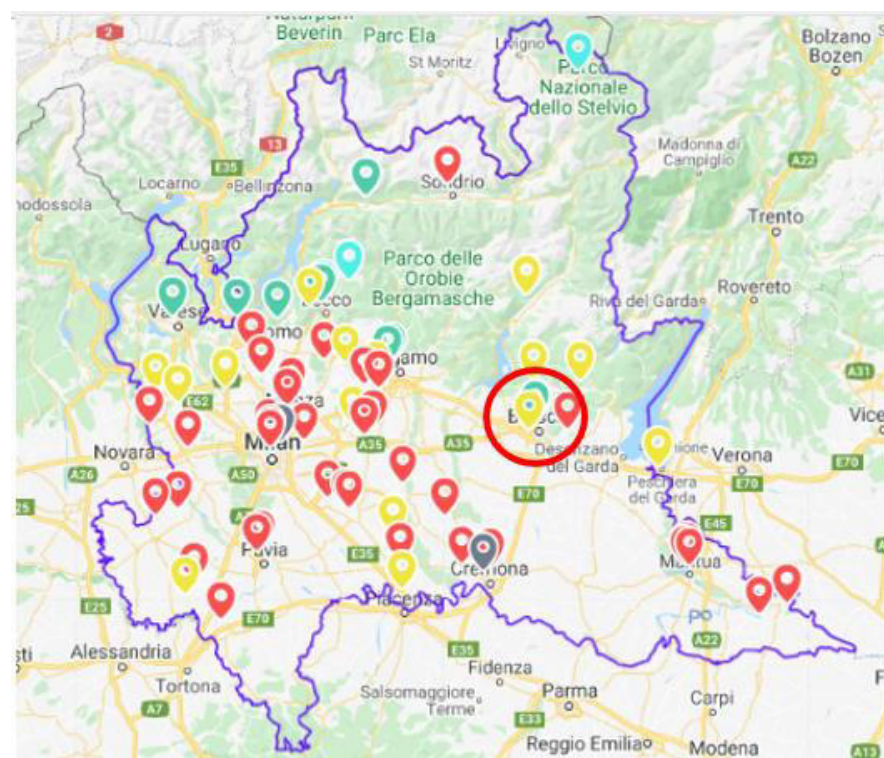


Figura 3-17 Distribuzione geografica delle stazioni di rilevamento (Fonte: Arpa Lombardia)

Il set di stazioni selezionato include per le fonti diffuse, oltre al minimo numero di stazioni richiesto dalla Direttiva Europea 2008/50/CE, stazioni aggiuntive sostitutive delle stazioni “minime” che garantiscono il rilevamento qualora non sia raggiunto il rendimento previsto dalla normativa o nel caso in cui la stazione sia non rappresentativa per l’azione temporanea di fattori esterni. Sono poi previste ulteriori stazioni attivate a supporto della modellistica o per peculiarità territoriale o ancora per garantire la corretta proporzione tra stazioni da traffico e di fondo e tra stazioni di PM10 e di PM2,5.

Con specifico riferimento alla provincia di Brescia, la rete di rilevamento è caratterizzata da 7 stazioni fisse di misura, di cui 3 caratterizzate come “urbana di fondo”, 3 come “urbana di traffico” e una come “suburbana industriale”, come riporta la figura seguente.

Agglom. di Brescia	BS	Brescia Broletto	Brescia - P.zza Belfiore/v.Broletto	5043674,66	595467,11	149	UT
Agglom. di Brescia	BS	Brescia S.Polo	Brescia - S.Polo	5040227,00	598141,00	124	UB
Agglom. di Brescia	BS	Brescia Via Tartaglia	Brescia - via Tartaglia	5043948,00	594556,00	151	UT
Agglom. di Brescia	BS	Brescia Via Turati	Brescia - Via Turati	5043626,66	596168,10	154	UT
Agglom. di Brescia	BS	Brescia Villaggio Sereno	Brescia - Villaggio Sereno	5040636,75	593101,15	70	UB
Agglom. di Brescia	BS	Rezzato	Rezzato - via A.De Gasperi	5041110,58	604367,00	147	SI
Agglom. di Brescia	BS	Sarezzo	Sarezzo - via Minelli	5055826,00	593900,00	269	UB

Figura 3-18 Stazioni fisse di misura nell’Agglomerato di Brescia (in rosso la stazione considerata) (Fonte: ARPA Lombardia)

Relativamente all’area di studio, a valle di una prima analisi delle centraline presenti in prossimità dell’area di intervento, è stata scelta come centralina di riferimento per la caratterizzazione della qualità dell’aria, quella più vicina e significativa in termini di tipologia. Essa è risultata essere la centralina “Brescia Broletto”, posta a Piazza Belfiore/via Broletto, distante al massimo circa 4 km dall’area di interesse e classificata come di “traffico urbana”, in cui sono monitorati CO, NO₂, PM10 e PM2,5.



Figura 3-19 Localizzazione stazione di riferimento

Nel seguito si riportano i valori di concentrazione di PM₁₀, PM_{2.5} ed NO₂ registrati nell'anno 2021 dalla centralina scelta di Brescia Broletto.

Tabella 3-10 Concentrazioni medie annue per l'anno 2021 registrate dalla centralina di riferimento (Fonte: elaborazione dati ARPA Lombardia)

Comune	Stazione	Tipo	PM ₁₀	PM _{2.5}	NO ₂
			Media annua 2021 [µg/m ³]	Media annua 2021 [µg/m ³]	Media annua 2021 [µg/m ³]
Brescia	Brescia Broletto	Urbana di traffico	29,61	17,63	26,87

Meteorologia

In primo luogo, al fine di caratterizzare la componente aria e clima da un punto di vista meteo-climatico, è stata condotta un'analisi di area vasta. Per tale analisi si è fatto riferimento al documento fornito dall'ISPRA "Gli indicatori del clima in Italia nel 2020 – Anno XVI", dal quale è stato possibile valutare le temperature e le precipitazioni medie annue registrate nell'anno 2020 relative all'intero territorio nazionale.

Regime Termico

Il primo indicatore climatico analizzato è rappresentato dalla Temperatura. In merito al territorio regionale della Regione Lombardia, le temperature medie annue registrate nell'anno 2020 si attestano tra i 6 ed i 14 °C ed in particolare in prossimità della zona di Brescia, le temperature medie registrate si aggirano nell'intorno dei 12-14 °C, come si osserva in Figura 3-20.

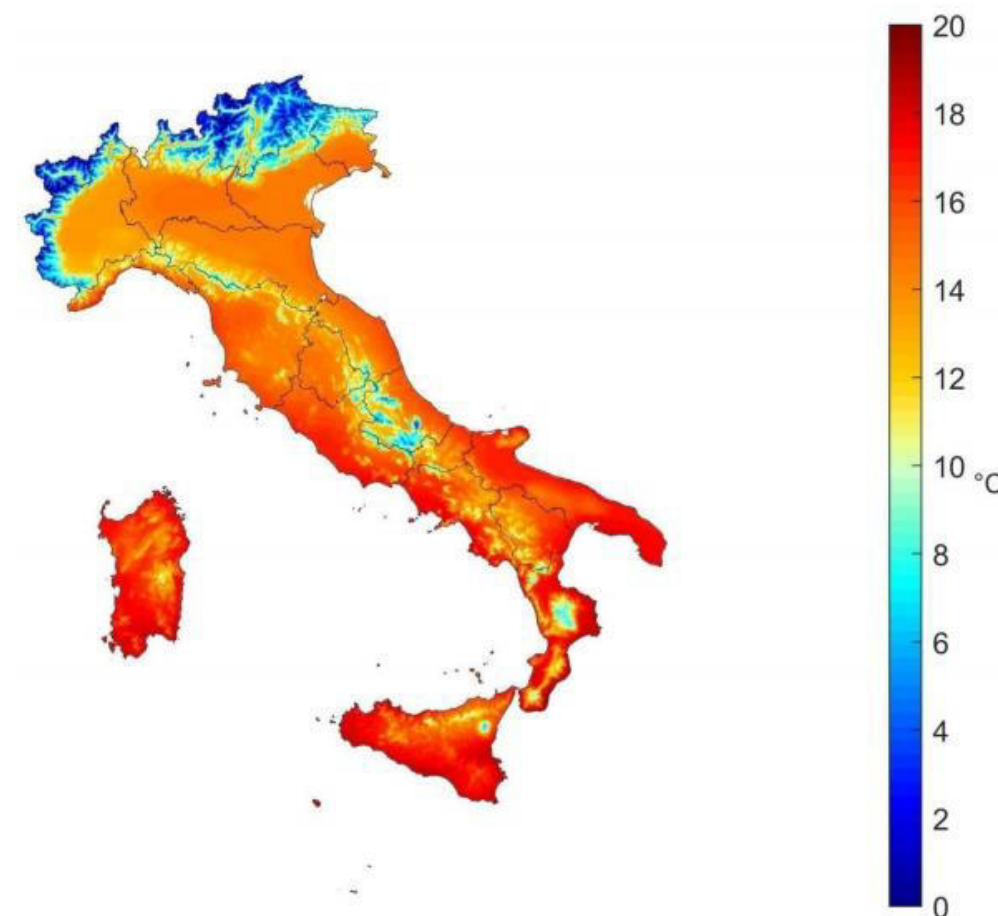


Figura 3-20: Temperatura Media annua (Fonte: documento ISPRA "Gli indicatori del clima in Italia nel 2020 – Anno XVI")

Regime Pluviometrico

In relazione alle precipitazioni registrate nell'anno 2020, rilevate dalle stazioni ricadenti sul territorio nazionale è possibile far riferimento alla seguente figura. Nello specifico, per quanto attiene la Regione Lombardia le precipitazioni non molto abbondanti hanno registrato un valore cumulato compreso tra i 700 mm e i 2000 mm.

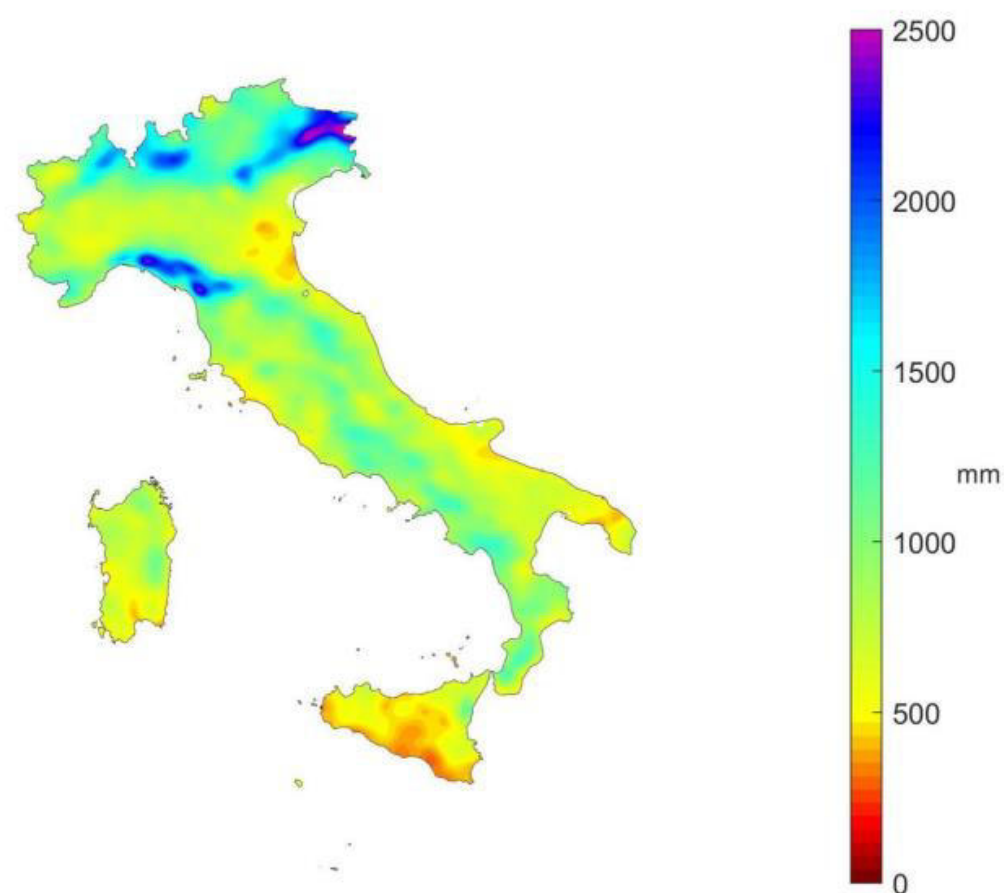


Figura 3-21: Precipitazione cumulata annua (Fonte: documento ISPRA "Gli indicatori del clima in Italia nel 2020 – Anno XVI")

Dati meteorologici

In secondo luogo, è stata condotta un'analisi a scala locale dei parametri micrometeorologici nell'area di interesse.

Per la valutazione della qualità dell'aria è necessario considerare ed analizzare le variabili meteorologiche che più influenzano l'accumulo, il trasporto, la diffusione, la dispersione e la rimozione degli inquinanti nell'atmosfera.

I parametri rilevanti sono:

- l'altezza dello strato di rimescolamento (m), che dà la misura della turbolenza (di origine termica, dovuta al riscaldamento della superficie, e di origine meccanica, dovuta al vento) nello strato di atmosfera più vicino al suolo, esprimendo l'intensità dei meccanismi di dispersione verticale;
- la percentuale di condizioni atmosferiche stabili (%), che esprime con quale frequenza lo strato superficiale risulta stabile e quindi meno favorevole alla dispersione degli inquinanti;
- la velocità del vento (m/s), determinante per la dispersione, e la direzione del vento (gradi), utile per valutare il trasporto degli inquinanti.

Caratterizzazione meteorologica

La caratterizzazione meteorologica della zona è stata svolta prendendo a riferimento la stazione meteorologica di Brescia Montichiari (appartenente al Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare). Si tratta della stazione più vicina all'area oggetto di studio e per la quale sono disponibili i dati necessari alle analisi. Essa dista dall'area di studio circa 17 chilometri e può essere ritenuta significativa e rappresentativa delle condizioni meteorologiche dell'area in esame, in quanto, come riporta il documento dell'ARPAT "Dati e informazioni per la caratterizzazione della componente Atmosfera e prassi corrente di utilizzo dei modelli di qualità dell'aria nell'ambito della procedura di V.I.A.", le osservazioni rilevate dalle stazioni meteo dell'Aeronautica Militare sono rappresentative di un'area di circa 70 chilometri di raggio.

La stazione meteo di riferimento è inquadrata in Figura 3-22, con le seguenti coordinate:

- Lat: 45,4289;
- Lng: 10,3306.



Figura 3-22 Localizzazione della stazione meteorologica di Brescia Montichiari" (in rosso l'area di intervento)

Al fine di poter descrivere compiutamente lo stato attuale, si riportano di seguito le descrizioni dei principali parametri meteoroclimatici per l'anno di riferimento 2021.

Regime termico

Per quanto riguarda le temperature nell'anno di riferimento, nella *Tabella 3-11* vengono riportati i valori minimi, medi e massimi registrati dalla Stazione di Brescia Montichiari, mentre nella *Figura 3-23* sono riportati gli andamenti della temperatura minima, media, massima ed oraria. Come si può notare, la temperatura scende sotto i 0°C nel mese di gennaio, dove si registra il minimo assoluto di -6°C. Le temperature maggiori, invece, si registrano nei mesi estivi di giugno e agosto raggiungendo rispettivamente i 34°C e 35°C.

Tabella 3-12 Valori di Temperatura minima, media e massima registrate nel 2021 (fonte: elaborazione dati Stazione di Brescia Montichiari)

Mese	Temp. min. (°C)	Temp. media (°C)	Temp. max (°C)
Gennaio	-6	2,48	10
Febbraio	-5	7,32	20
Marzo	-1	9,74	25
Aprile	-1	12,29	26
Maggio	9	16,84	26
Giugno	16	24,59	34
Luglio	16	24,95	34
Agosto	15	24,50	35
Settembre	13	21,61	31
Ottobre	4	13,93	23
Novembre	-3	8,98	17
Dicembre	-4	3,03	11

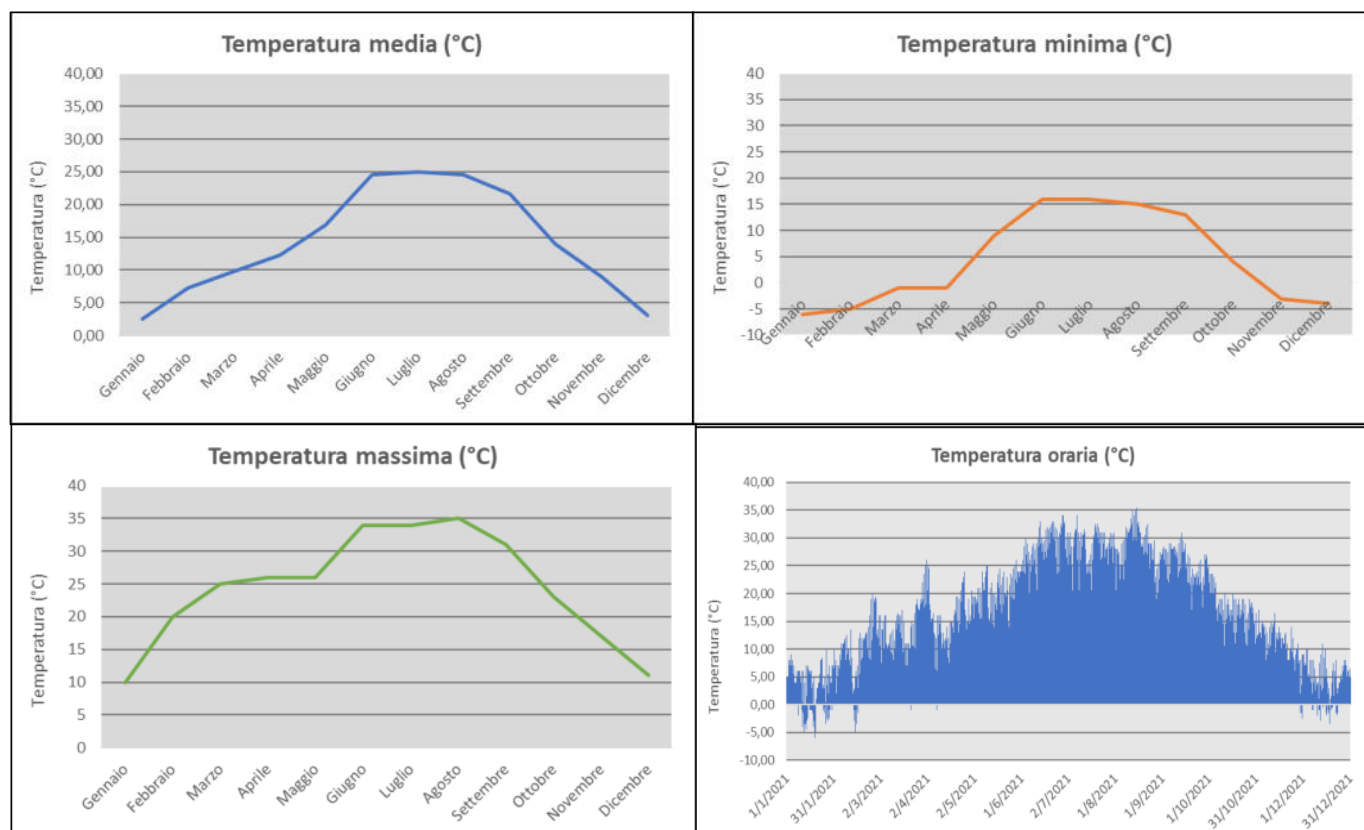


Figura 3-23 Andamento della temperatura minima, media, massima ed oraria registrate nel 2021 (fonte: elaborazione dati Stazione di Brescia Montichiari)

Regime anemometrico

Per quanto riguarda il regime dei venti dell'area di studio relativo all'anno di riferimento, nella Tabella 3-13 vengono riportati i valori di intensità minimi, medi e massimi registrati dalla Stazione di Brescia Montichiari. Come espresso in tabella, il valore medio assoluto è di 2,54 m/s mentre il valore massimo si raggiunge nel mese di febbraio ed è pari a 10,55 m/s.

Tabella 3-13 Valori di Velocità del vento minima, media e massima registrati nel 2021 (fonte: elaborazione dati Stazione di Brescia Montichiari)

Periodo	Vel. Min (m/s)	Vel. Media (m/s)	Vel. Max (m/s)
Gen	0,51	2,49	9,00
Feb	0,26	2,36	10,55
Mar	0,51	2,49	8,23
Apr	0,51	2,76	9,26
Mag	0,51	2,97	7,97

Periodo	Vel. Min (m/s)	Vel. Media (m/s)	Vel. Max (m/s)
Giu	0,51	2,60	9,00
Lug	0,51	2,84	8,23
Ago	0,26	2,66	9,00
Set	0,51	2,41	7,97
Ott	0,26	2,09	9,26
Nov	0,26	2,61	10,03
Dic	0,26	2,13	9,00

Nella Figura 3-24 viene riportato l'andamento orario dell'intensità del vento nell'anno di riferimento.

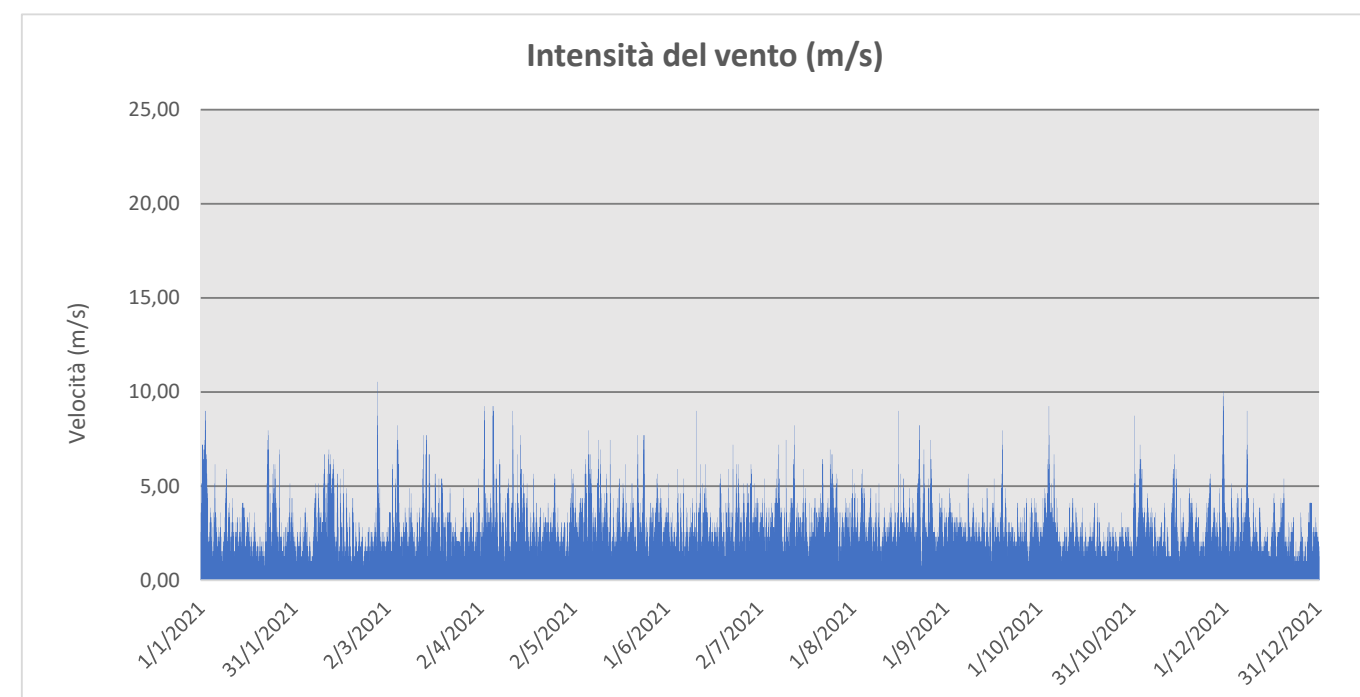


Figura 3-24 Intensità del vento (fonte: elaborazione dati Stazione di Brescia Montichiari)

Si riportano di seguito le rose dei venti relative alle quattro stagioni (rispettivamente inverno, primavera, estate e autunno).

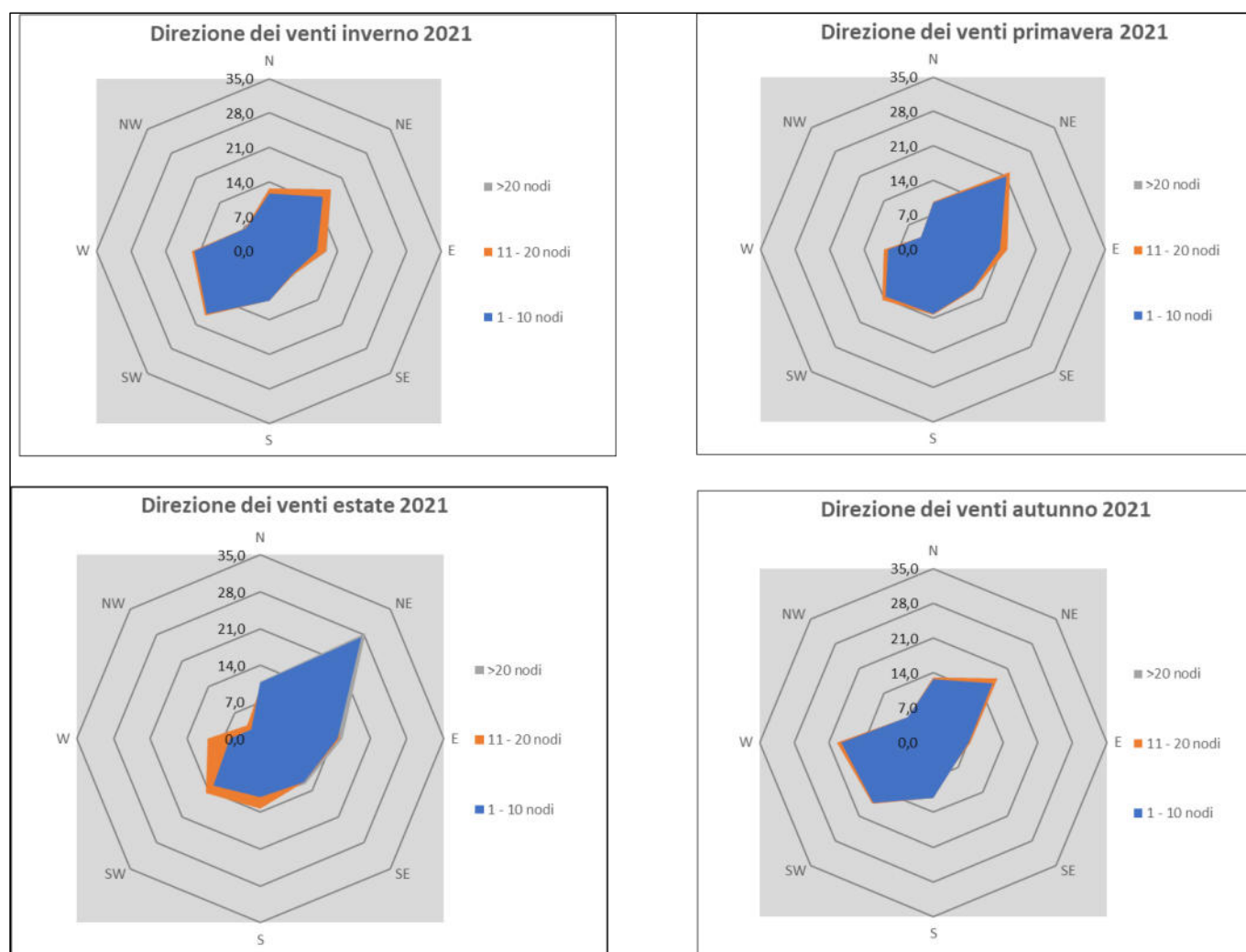


Figura 3-25 Rose dei venti riferite alla stazione anemometrica di Brescia (fonte: elaborazione dati Stazione di Brescia Montichiari)

Dall'esame delle quattro rose dei venti, si evidenzia che durante l'intero anno si ha prevalenza di venti che spirano dal versante Nord-Est, Ovest/Sud-Ovest, con velocità che non superano nell'arco dell'intero anno i 20 nodi.

Umidità relativa

La Figura 3-26 mostra l'andamento dell'umidità relativa oraria durante tutto l'anno di riferimento, parametro misurato come il rapporto tra la quantità di vapore acqueo effettivamente presente nella massa d'aria e la quantità massima che essa può contenere a quella temperatura. In particolare, come si può osservare dalla Tabella 3-14, l'umidità relativa raggiunge valori minimi nei mesi di marzo e aprile,

dove è rispettivamente pari al 11,38% e 9,8%, mentre raggiunge valori massimi di saturazione praticamente in tutti i mesi dell'anno, ad eccezione di marzo ed agosto. Si registra inoltre un valore medio assoluto durante tutto il 2021 di circa il 70%.

Tabella 3-14 Valori di Umidità minima, media e massima registrati nel 2021 presso Brescia (fonte: elaborazione dati Stazione di Brescia Montichiari)

Mese	Umid. min. (°C)	Umid. media (°C)	Umid. max (°C)
Gennaio	27,98	83,11	100
Febbraio	32,27	76,74	100
Marzo	11,38	57,03	93,30
Aprile	9,805	62,06	100
Maggio	16,83	64,29	100
Giugno	23,32	55,21	100
Luglio	28,09	61,53	100
Agosto	23,85	57,44	96,89
Settembre	25,52	61,83	100
Ottobre	35,62	73,53	100
Novembre	30,4	87,01	100
Dicembre	48,33	93,02	100

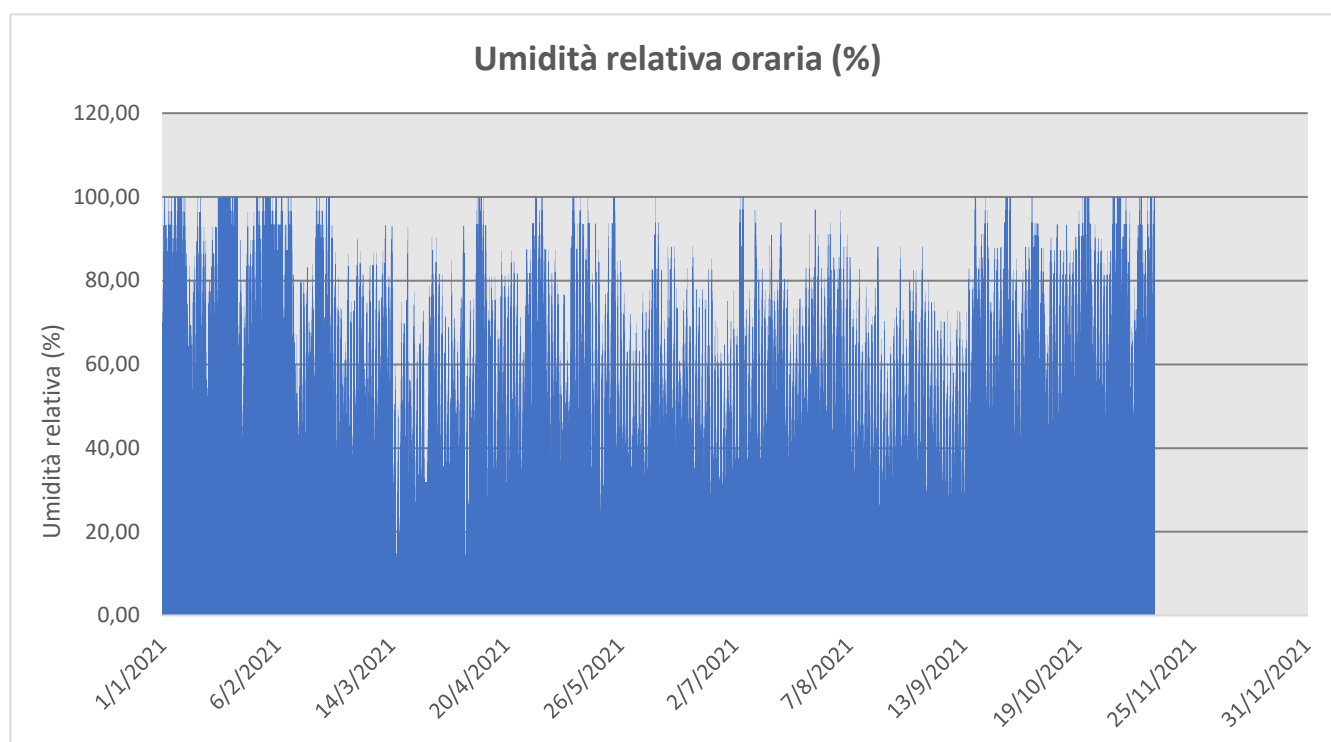


Figura 3-26 Umidità relativa riferita alla stazione di Brescia (fonte: elaborazione dati Stazione di Brescia Montichiari)

3.3.2 Valutazione degli aspetti ambientali legati al cantiere

Al fine di caratterizzare correttamente il dominio spaziale e temporale del modello per la stima dell'impatto delle lavorazioni sulla qualità dell'aria, si è proceduto allo studio delle seguenti variabili:

- Caratteristiche tecniche dei singoli cantieri in programma;
- Cronoprogramma delle fasi e lavorazioni;
- Elaborati tecnici di progetto.

Le valutazioni fatte sono di tipo cautelativo, a vantaggio di sicurezza e hanno permesso di individuare sull'intero arco temporale in cui avviene la realizzazione del progetto, "l'anno tipo", ossia il periodo a cui corrisponde il massimo impatto potenziale sulle matrici ambientali e, in particolare, sulla qualità dell'aria per le emissioni di polveri e gas.

Nei seguenti paragrafi sono state dettagliate le caratteristiche dei cantieri e la stima delle emissioni di polveri e gas prese a riferimento nelle simulazioni per la valutazione dell'impatto sulla qualità dell'aria.

Descrizione degli impatti potenziali e gli inquinanti considerati

Si riporta di seguito la descrizione delle principali sorgenti connesse alle attività di cantiere previste in progetto. Lo scopo primario dell'individuazione delle sorgenti e la conseguente stima dell'impatto è quello di prevedere la potenziale incidenza delle emissioni delle attività di cantiere sullo stato di qualità dell'aria complessivo.

Le attività più significative durante la fase di cantiere in termini di emissioni sono costituite da:

- Attività di movimento terra (scavi e realizzazione rilevati),
- Movimentazione dei materiali all'interno dei cantieri.

In relazione alla natura delle sorgenti possono essere individuati, quali indicatori del potenziale impatto delle stesse sulla qualità dell'aria, i seguenti parametri:

- polveri: PM₁₀ (polveri inalabili, le cui particelle sono caratterizzate da un diametro inferiore ai 10 µm). Le polveri sono generate sia dalla combustione incompleta all'interno dei motori, che da impurità dei combustibili, che dal sollevamento da parte delle ruote degli automezzi e da parte di attività di movimentazione di inerti;
- inquinanti gassosi generati dalle emissioni dei motori a combustione interna dei mezzi di cantiere (in particolare, ossidi di azoto NO_x da cui sono stati ricavati i valori di biossido di azoto NO₂).

Nello specifico, con riferimento a questi ultimi, è necessario fare delle precisazioni, per le quali si rimanda al prosieguo della trattazione.

Meccanismi di formazione del biossido di azoto

Gli ossidi di azoto NO_x sono presenti in atmosfera sotto diverse specie, di cui le due più importanti, dal punto di vista dell'inquinamento atmosferico sono l'ossido di azoto, NO, ed il biossido di azoto, NO₂, la cui origine primaria nei bassi strati dell'atmosfera è costituita dai processi di combustione e, nelle aree urbane, dai gas di scarico degli autoveicoli e dal riscaldamento domestico. La loro somma pesata prende il nome di NO_x e la loro origine deriva dalla reazione di due gas (N₂ e O₂) comunemente presenti in atmosfera.

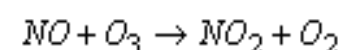
L'inquinante primario (per quanto riguarda gli NO_x) prodotto dalle combustioni dei motori è l'ossido di azoto (NO); la quantità di NO prodotta durante una combustione dipende da vari fattori:

- temperatura di combustione: più elevata è la temperatura di combustione maggiore è la produzione di NO;

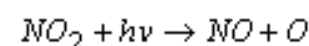
- tempo di permanenza a tale temperatura dei gas di combustione: maggiore è il tempo di permanenza, più elevata è la produzione di NO;
- quantità di ossigeno libero contenuto nella fiamma: più limitato è l'eccesso d'aria della combustione, minore è la produzione di NO a favore della produzione di CO.

Il meccanismo di formazione secondaria di NO₂ dai processi di combustione prevede che, una volta emesso in atmosfera, l'NO prodotto si converte parzialmente in NO₂ (produzione di origine secondaria) in presenza di ozono (O₃). L'insieme delle reazioni chimiche che intervengono nella trasformazione di NO in NO₂ è detto ciclo fotolitico e può essere così schematizzato:

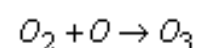
- l'O₃ reagisce con l'NO emesso per formare NO₂ e O₂



- le molecole di NO₂ presenti nelle ore diurne e soleggiate assorbono energia dalla radiazione ultravioletta (fotoni hv di lunghezza d'onda inferiore a 430 nm). L'energia assorbita scinde la molecola di NO₂ producendo una molecola di NO e atomi di ossigeno altamente reattivi.



- gli atomi di ossigeno sono altamente reattivi e si combinano con le molecole di O₂ presenti in aria per generare ozono (O₃) che quindi è un inquinante secondario:



Le reazioni precedenti costituiscono un ciclo che, però, rappresenta solo una porzione ridotta della complessa chimica che ha luogo nella parte bassa dell'atmosfera. Infatti, se in aria avessero luogo solo queste reazioni, tutto l'ozono prodotto verrebbe distrutto, e l'NO₂ si convertirebbe in NO per convertirsi nuovamente in NO₂ senza modifiche nella concentrazione delle due specie, mantenendo costante il rapporto tra NO₂ e NO in aria.

Tuttavia in condizioni di aria inquinata da scarichi veicolari (fonte di NO primario e NO₂ secondario) in presenza di COV incombusti e forte irraggiamento, il monossido d'azoto NO non interagisce più solo con ozono nel ciclo di distruzione, ma viene catturato e contemporaneamente trasformato in NO₂, con conseguente accumulo di NO₂ e O₃ in atmosfera.

I fattori di emissione per gli ossidi di azoto forniti dagli inventari delle emissioni sono espressi in termini di NO_x e non NO₂. Al contrario la vigente normativa sulla qualità dell'aria prevede dei valori limite (media annua e massima oraria) espressi come NO₂ e non come NO_x.

Poiché il modello di simulazione utilizzato per l'analisi della dispersione delle concentrazioni di inquinanti in atmosfera non tiene conto dei vari meccanismi chimici di trasformazione che portano alla formazione

secondaria degli NO₂ a partire dagli NO, l'analisi modellistica eseguita è stata effettuata per l'NO_x. E' difficile prevedere la percentuale di NO₂ contenuta negli NO_x, in quanto come riportato precedentemente questa dipende da molteplici fattori, come la presenza di Ozono (O₃) e di luce. Inoltre i casi in cui si verificano tali condizioni, generalmente sono caratterizzate da condizioni meteo tali da favorire la dispersione degli inquinanti.

Al fine di potersi rapportare ai limiti normativi vigenti e quindi di individuare la percentuale di NO₂ contenuta negli NO_x si è fatto riferimento a quanto riportato dall'Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale (ARPA) di molte Regioni. Secondo tali studi, si può ritenere che la produzione di NO₂ sia pari al 10 % dell'ossido di azoto complessivamente generato e pertanto il rapporto NO₂/NO_x è stato assunto pari al 10%.

Le analisi sviluppate

La presente analisi atmosferica ha lo scopo di stimare la quantità di inquinante prodotta durante le attività di cantiere al fine di valutare la sua dispersione in atmosfera, valutandola in termini di concentrazione, soprattutto in prossimità delle aree di cantiere e dei ricettori ritenuti maggiormente sensibili.

Lo studio è stato condotto tramite l'impiego del software Aermod View, attraverso il quale è stato possibile stimare i livelli di concentrazione di PM₁₀ e NO_x (NO₂) e confrontarli con gli attuali limiti normativi. Questo permette di valutare, oltre al rispetto dei valori soglia per la salute umana, le eventuali misure di mitigazione, necessarie all'abbattimento degli inquinanti sia in prossimità della sorgente che dei ricettori stessi.

In merito a tale analisi, per quanto riguarda le tipologie di attività/aree di cantiere prese in considerazione, si è fatto riferimento alla condizione più critica (worst case) in termini di attività di movimentazione, accumulo e stoccaggio inerti provenienti dall'esterno (si rimanda al paragrafo successivo per una dettagliata descrizione).

Individuazione delle aree di cantiere e degli scenari di simulazione

Al fine di prendere in considerazione tutti i possibili fattori legati alla cantierizzazione, sia in termini ambientali che in termini progettuali, la metodologia seguita per la definizione degli scenari di simulazione è stata quella del "Worst Case Scenario". Tale metodologia, ormai consolidata ed ampiamente utilizzata in molti campi dell'ingegneria civile ed ambientale consiste, una volta definite le variabili che determinano gli scenari, nel simulare la situazione peggiore possibile tra una gamma di situazioni "probabili". Pertanto,

il primo passo sta nel definire le variabili che influenzano lo scenario, che nel caso in esame sono le variabili che influenzano il modello di simulazione.

Una volta valutati gli scenari è possibile fare riferimento ad uno o più scenari, ritenuti maggiormente critici, nell'arco di una giornata. Verificando, quindi, il rispetto di tutti i limiti normativi per il Worst Case Scenario, è possibile assumere in maniera analoga il rispetto dei limiti normativi per tutti gli scenari differenti dal peggiore, scenari nei quali il margine di sicurezza sarà ancora maggiore.

Si riporta di seguito una breve sintesi delle principali informazioni relative alla cantierizzazione che hanno rappresentato i presupposti per l'identificazione delle aree di cantiere a priori potenzialmente interessate da interazioni con la componente Aria e clima.

Riferendosi in modo precipuo alla produzione di polveri, che – come premesso – può essere considerato il fattore causale più rilevante, la significatività dei potenziali effetti che ne conseguono dipende da:

- tipologia e entità delle attività condotte nelle aree di cantiere fisso/di lavoro (parametri progettuali),
- tipologia e localizzazione dei ricettori, ossia dall'entità dei ricettori residenziali/sensibili presenti e dalla distanza che intercorre tra questi e le aree di cantiere.

In tal senso, un primo criterio sulla scorta del quale si è proceduto all'individuazione delle aree di cantiere/lavoro da assumere nello studio modellistico (aree di riferimento) è stato quello di prendere in considerazione quelle aree in corrispondenza delle quali avvengono le principali operazioni di scavo e movimentazione di materiali polverulenti ed all'interno delle quali è previsto lo stoccaggio in cumulo dei materiali di risulta delle lavorazioni.

Un secondo criterio adottato è stato quello di verificare la distribuzione, all'intorno delle sopra menzionate tipologie di aree di cantiere fisso/di lavoro, di zone residenziali e/o con presenza di elementi sensibili.

Nel caso in esame, si evidenzia che le aree di cantiere/lavoro sono localizzate in un contesto suburbano e, in linea generale, si riscontrano alcune situazioni di criticità in termini di vicinanza tra le suddette aree e i ricettori. Per quanto riguarda le tipologie di attività/aree di cantiere, sono state considerate le aree di cantiere interessate dalle operazioni di scavo, movimentazione e stoccaggio terre, accumulo e stoccaggio degli inerti provenienti dall'esterno che, nel caso in esame e in funzione della vicinanza con i ricettori sensibili, sono risultate essere: le Aree tecniche (AT), le Aree di stoccaggio (AS), i Cantieri Operativi (CO) e le aree di cantiere per la realizzazione del rilevato ferroviario (Ri).

Si è poi provveduto all'analisi di dettaglio del cronoprogramma dei lavori, il quale consente di verificare la durata della singola lavorazione o opera e di valutarne le eventuali sovrapposizioni temporali (e, conseguentemente, le possibili sovrapposizioni degli effetti laddove le aree di lavorazione siano fra loro relativamente vicine e poste all'interno della cosiddetta area di potenziale influenza, soggetta agli impatti cumulativi).

Alla luce delle soprariportate considerazioni, è stato individuato uno scenario di riferimento di massimo impatto, sui quali è stato possibile condurre una valutazione della qualità dell'aria. Nello specifico le aree coinvolte sono:

Tabella 3-15 Aree di cantiere esaminate nello scenario modellistico

ID	Descrizione	Sorgenti emissive areali
AS.01	Area stoccaggio	Carico e scarico del materiale polverulento
		Erosione del vento sui cumuli di materiale depositato
		Emissione di sostanze inquinanti ad opera dei mezzi di cantiere
AS.01bis	Area stoccaggio	Carico e scarico del materiale polverulento
		Erosione del vento sui cumuli di materiale depositato
		Emissione di sostanze inquinanti ad opera dei mezzi di cantiere
CO.01	Cantiere operativo	Carico e scarico del materiale polverulento
		Erosione del vento sui cumuli di materiale depositato
		Emissione di sostanze inquinanti ad opera dei mezzi di cantiere
CO.01bis	Cantiere operativo	Carico e scarico del materiale polverulento
		Erosione del vento sui cumuli di materiale depositato
		Emissione di sostanze inquinanti ad opera dei mezzi di cantiere
CB.01	Cantiere base	Carico e scarico del materiale polverulento
		Erosione del vento sui cumuli di materiale depositato
		Emissione di sostanze inquinanti ad opera dei mezzi di cantiere
Aree di lavoro lungolinea per la realizzazione del rilevato RI.03	Cantiere mobile	Carico e scarico del materiale polverulento
		Erosione del vento sui cumuli di materiale depositato
		Emissione di sostanze inquinanti ad opera dei mezzi di cantiere
Aree di lavoro lungolinea per la realizzazione di micropali per il muro di sostegno MU.02	Cantiere mobile	Carico e scarico del materiale polverulento
		Erosione del vento sui cumuli di materiale depositato

ID	Descrizione	Sorgenti emissive areali
		Emissione di sostanze inquinanti ad opera dei mezzi di cantiere

Si sottolinea inoltre come nella simulazione modellistica siano state prese in esame anche le emissioni connesse al traffico di cantiere indotto dalle lavorazioni, ipotizzando una movimentazione di mezzi pari a 52 viaggi giornalieri.

Stima dei fattori di emissione

Analisi emissiva dello scenario di riferimento

Per stimare i fattori di emissione relativi alle sorgenti indicate nel precedente paragrafo caratterizzanti lo scenario appena definito, sono state considerate:

- Le lavorazioni previste in ogni area di cantiere fisso/lavoro considerata, associando ciascuna di esse alla classificazione contenuta nel documento dell'US-EPA "AP-42: Compilation of Air Pollutant Emission Factors";
- L'erosione del vento sui cumuli stoccati (documento dell'US-EPA "AP-42");
- Le attività dei mezzi d'opera all'interno delle aree di cantiere (escavatori, pale, trivelle, etc.) in termini di emissioni dei gas di scarico dei motori, assimilate a sorgenti emissive areali;
- Le emissioni connesse al traffico di cantiere indotto dalle lavorazioni.

Nello specifico, per quanto riguarda la stima dei fattori di emissione relativi alle lavorazioni e all'erosione del vento, come detto, si è fatto riferimento al Draft EPA dell'Agenzia per la Protezione dell'Ambiente Statunitense (rif. <http://www.epa.gov/ttnchie1/ap42/>), il quale, nella sezione AP 42, Quinta Edizione, Volume I Capitolo 13 – "Miscellaneous Sources" Paragrafo 13.2 – "Introduction to Fugitive Dust Sources" presenta le seguenti potenziali fonti di emissione:

1. Aggregate Handling and Storage Piles: accumulo e movimentazione delle terre (EPA AP-42 13.2.4);
2. Wind Erosion: erosione del vento sui cumuli (EPA AP-42 13.2.5).

La stima delle emissioni è stata effettuata sulla base di un indicatore, che caratterizza l'attività della sorgente (A), e di un fattore di emissione specifico del tipo di sorgente (Ei). Il fattore di emissione Ei dipende non solo dal tipo di sorgente considerata, ma anche dalle tecnologie adottate per il contenimento/controllo delle emissioni.

La relazione tra l'emissione e l'attività della sorgente è di tipo lineare:

$$Q(E)_i = A * E_i$$

dove:

- Q(E)_i: emissione dell'inquinante i (ton/anno);
- A: indicatore dell'attività (ad es. consumo di combustibile, volume terreno movimentato, veicolo-chilometri viaggiati);
- E_i: fattore di emissione dell'inquinante i (ad es. g/ton prodotta, kg/kg di solvente, g/abitante).

La stima è tanto più accurata quanto maggiore è il dettaglio dei singoli processi/attività.

Per seguire tale approccio di valutazione è necessario conoscere diversi parametri relativi a:

- sito in esame (umidità del terreno, regime dei venti);
- attività di cantiere (quantitativi di materiale da movimentare ed estensione delle aree di cantiere);
- mezzi di cantiere (n. di mezzi in circolazione).

Mentre alcune di queste informazioni sono desumibili dalle indicazioni progettuali, per altre è stato necessario fare delle assunzioni il più attinenti possibili alla realtà.

Le ipotesi cantieristiche assunte per la stima delle emissioni e l'analisi modellistica sono le seguenti:

- Simulazione delle aree di lavoro previste;
- Simulazione delle aree di movimentazione e stoccaggio dei materiali;
- N.ro 8 ore lavorative al giorno per le aree di cantiere;

Per la stima dei fattori di emissione delle macchine e dei mezzi d'opera impiegati si è fatto riferimento alle elaborazioni della *South Coast Air Quality Management District*, "Off road mobile Source emission Factor" che forniscono i fattori di emissione dei mezzi fuori strada.

Aggregate Handling and Storage Piles – Cumuli di terra, carico e scarico (EPA AP-42 13.2.4)

La produzione totale di polvere legata all'attività di movimentazione dei materiali è relativa all'attività di carico e scarico dei mezzi.

La quantità di polveri generate da tale attività viene stimata utilizzando la seguente formula empirica:

$$E = k(0.0016) \left(\frac{U}{2.2}\right)^{1.3} \left(\frac{M}{2}\right)^{-1.4}$$

dove:

E = fattore di emissione di particolato (kg/Mg);

k = parametro dimensionale (dipende dalla dimensione del particolato);

U = velocità media del vento (m/s);

M = umidità del terreno (%).

Il parametro k varia a seconda della dimensione del particolato come riportato nella tabella sottostante:

Tabella 3-16 Valori coefficiente aerodinamico fonte: EPA AP42

Aerodynamic Particle Size Multiplier (k)				
<30 µm	<15 µm	<10 µm	<5 µm	<2.5 µm
0,74	0,48	0,35	0,20	0,053

Mentre per il range di validità degli altri parametri è possibile fare riferimento alla Tabella 3-17.

Tabella 3-17 Range di validità dei coefficienti per il calcolo di EF fonte: EPA AP42

Ranges Of Source Conditions			
Silt Content (%)	Moisture Content (%)	Wind speed	
		m/s	mph
0,44 – 19	0,25 – 4,8	0,6 – 6,7	1,3 – 15

Con riferimento ai valori dei coefficienti assunti per l'analisi si è considerato:

- U = velocità media del vento considerando la configurazione più frequente pari a 2,5 m/s (valore desunto dall'analisi meteorologica),
- M = percentuale di umidità considerata pari a 4,8%;
- k = pari a 0,35 per considerare l'apporto del PM₁₀.

La diffusione di particolato legata alle attività di movimentazione e stoccaggio di materiale è pari al prodotto del fattore di emissione E per le tonnellate di materiale movimentate giornalmente.

Wind Erosion: erosione del vento sui cumuli (EPA AP-42 13.2.5)

Le emissioni causate dall'erosione del vento sono dovute all'occorrenza di venti intensi su cumuli soggetti a movimentazione. Nell'AP-42 (paragrafo 13.2.5 "Industrial Wind Erosion") queste emissioni sono trattate tramite la potenzialità di emissione del singolo cumulo in corrispondenza di certe condizioni di vento.

In considerazione dell'attività di erosione del vento sui cumuli, il modello fa dipendere il fattore di emissione da due fattori che concorrono alla possibile emissione di particolato da parte del cumulo:

- il numero di "movimentazioni" ovvero di interferenze intese come deposito e scavo di materiale sul/dal cumulo;
- la velocità del vento a cui è sottoposto il cumulo stesso.

La formula per il calcolo del fattore di emissione è data pertanto:

$$EF = k \sum_{i=1}^N P_i$$

dove k è la costante che tiene conto della grandezza della particella considerata, N è il numero di "movimentazioni" a cui è sottoposto il cumulo e P_i è pari all'erosione potenziale corrispondente alla velocità massima. Il valore di k è anche in questo caso tabellato.

Tabella 3-18 Valori coefficiente aerodinamico fonte: EPA AP42

Aerodynamic Particle Size Multiplier (k)			
30 µm	<15 µm	<10 µm	<2.5 µm
1,0	0,6	0,5	0,075

Il fattore N dipende dal numero di movimentazioni a cui è sottoposto un cumulo ogni anno. Nel caso in esame si è supposto, in via cautelativa, che tutti i cumuli fossero sottoposti ad almeno una movimentazione giornaliera, in considerazione delle diverse tempistiche con cui possono essere approvvigionati i diversi cumuli. In ultimo, l'erosione potenziale parte dal concetto di profilo di velocità del vento, per il quale è possibile utilizzare la seguente equazione:

$$u(z) = \frac{u^*}{0,4} \ln \frac{z}{z_0}$$

in cui u è la velocità del vento e u* rappresenta la velocità di attrito.

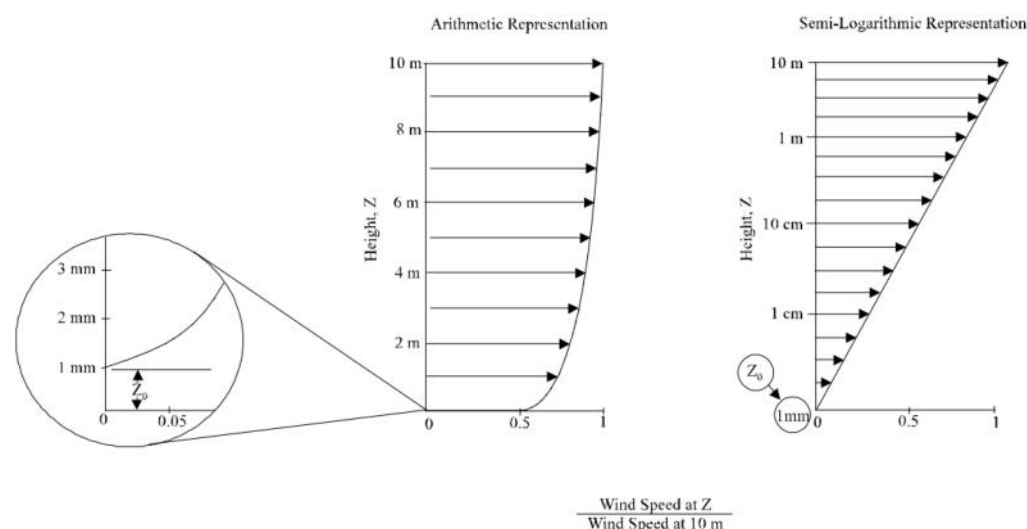


Figura 3-27 Illustrazione del profilo logaritmico della velocità fonte: EPA AP42

L'erosione potenziale, pertanto, dipende dalla velocità di attrito e dal valore soglia della velocità d'attrito secondo l'equazione:

$$P = 58(u^* - u_t^*)^2 + 25(u^* - u_t^*)$$

Da tale espressione si evince come ci sia erosione potenziale solo qualora la velocità d'attrito superi il valore soglia. Per la determinazione di tale valore il modello individua una procedura sperimentale (cfr. 1952 laboratory procedure published by W. S. Chepil). Tuttavia, in mancanza di tali sperimentazioni è possibile fare riferimento ad alcuni risultati già effettuati e riportati in tabella.

Tabella 3-19 Valore di velocità di attrito limite

Materiali	Threshold Friction Velocity (m/s)	Roughness Height (cm)	Threshold Wind Velocity At 10 m (m/s)	
			Z0=act	Z0=0,5cm
Overburden	1,02	0,3	21	19
Scoria (roadbed material)	1,33	0,3	27	25
Ground coal (surrounding coal pile)	0,55	0,01	16	10
Uncrusted coal pile	1,12	0,3	23	21
Scraper tracks on coal pile	0,62	0,06	15	12

Materiali	Threshold Friction Velocity (m/s)	Roughness Height (cm)	Threshold Wind Velocity At 10 m (m/s)	
			Z0=act	Z0=0,5cm
Fine coal dust on concrete pad	0,54	0,2	11	10

La velocità del vento massima tra due movimentazioni può essere determinata dai dati meteorologici utilizzati per le simulazioni. Tali dati, essendo riferiti ad un'altezza dell'anemometro pari a 10 metri, non hanno bisogno di alcuna correzione e pertanto è possibile determinare la relazione.

$$u^* = 0,053u_{10}^+$$

in cui u_{10}^+ è la massima intensità misurata nell'arco della giornata attraverso i dati sopracitati. Una volta individuati i valori di u^* si determinano i casi in cui u^* supera u_t^* assunto pari a 1,33.

Il fattore di emissione per PM10 è stimato applicando la formula sottostante in cui k è stato assunto pari a 0,5.

$$EF_v(PM10) = k \sum_{i=1}^N P_i$$

Nel caso in esame il valore di P è nullo poiché non si verifica alcun superamento del valore u_t^* e pertanto il fattore di emissione dovuto all'erosione sui cumuli risulta trascurabile.

Emissioni dai gas di scarico di macchine e mezzi d'opera nelle aree di cantiere

Con riferimento all'emissione di sostanze inquinanti ad opera dei mezzi meccanici e degli automezzi presenti nelle aree di cantiere, oltre al parametro PM₁₀ si aggiungono anche gli NO_x, tipici inquinanti da traffico veicolare.

Per la stima dei fattori di emissione delle macchine e dei mezzi d'opera impiegati, come già detto in precedenza, si è fatto riferimento alle elaborazioni della *South Coast Air Quality Management District*, "Off road mobile Source emission Factor" che forniscono i fattori di emissione dei mezzi fuori strada. Questi fattori di emissione sono funzione della categoria dell'equipaggiamento (trattore, dozer, raschiatore, ecc.), del numero di veicoli in ciascuna categoria, della potenza e del fattore di carico.

Il calcolo delle emissioni si basa sulla seguente formula:

$$E = n \times H \times EF$$

- E = massa di emissioni prodotta per unità di tempo [lb/g];
- n = numero di veicoli in ciascuna categoria;
- H = ore al giorno di funzionamento dell'apparecchiatura [h];
- EF= il fattore di emissione della fonte mobile "Off road mobile Source Emission Factor" [lb/h].

Di seguito vengono riassunti i fattori di emissione per i diversi mezzi di cantiere previsti, in funzione dell'inquinante (NO_x e PM₁₀):

Tabella 3-20 Fattori di emissione fonte: South Coast Air Quality Management District - "Off road mobile Source emission Factor"

Macchine di cantiere	Potenza motore [KW]	EF del PM10 [lb/h]	EF del NOx [lb/h]	EF del PM10 [g/s]	EF del NOx [g/s]
Autocarro	184	0,015	0,438	0,001	0,055
Escavatore	128	0,017	0,338	0,002	0,042
Gruppo elettrogeno	128	0,023	0,523	0,002	0,065
Macchina per pali	128	0,003	0,147	0,000	0,018
Pala meccanica/gommata	128	0,022	0,419	0,002	0,052
Compressori aria	128	0,018	0,350	0,002	0,044
Rullo compattatore	88	0,023	0,352	0,002	0,044

Sintesi fattori di emissione relativi a lavorazioni ed emissioni dei mezzi di cantiere

In merito ai fattori di emissione per ogni area di cantiere si può far riferimento alla seguente tabella.

Tabella 3-21 Fattori di emissione areali PM10 e NOx

ID AREE	Fattore di emissione areale			
	PM10 [g/s]	PM10 [g/s] Mezzi cantiere	TOTALE PM10 [g/s]	NOx [g/s] Mezzi cantiere
AS01/AS.01 bis	0,00040	0,0070	0,0070	0,16
CO.01/CO.01 bis	0,00040	0,0070	0,0070	0,16
CB.01	0,00040	0,0050	0,0060	0,10
Cantiere realizzazione rilevato	0,00040	0,0110	0,0120	0,24
Cantiere realizzazione micropali	0,00040	0,0050	0,0050	0,12

Emissioni connesse al traffico di cantiere indotto dalle lavorazioni

Per quanto concerne le emissioni connesse al traffico di cantiere indotto dalle lavorazioni, queste sono state quantificate in circa 52 veicoli/giorno e ai fini modellistici i fattori di emissione considerati sono mostrati nel seguito.

Si specifica che attraverso il Sistema Informativo Nazionale Ambientale (Sinanet)¹ sono stati selezionati gli indicatori relativi a camion di peso compreso tra le 20 e le 26 tonnellate di tipo Euro IV alimentati a gasolio per il PM10 e l'NO_x, espressi in grammi/Km.

Tabella 3-22 Fattori di emissione PM10 e NOx per camion di peso compreso tra 20-26 tonnellate di tipo Euro IV alimentati a gasolio (fonte: Sistema Informativo Nazionale Ambientale)

Camion 20-26t Euro IV gasolio	PM10 (g/Km)	NOx (g/Km)
	0,12	4,3

Ipotizzata dunque una velocità dei mezzi pari a 50 Km/h e noto il numero di viaggi giornalieri effettuati è stato possibile ricavare i fattori di emissione per entrambi gli inquinanti oggetto di simulazione modellistica, espressi in grammi/secondo.

Tabella 3-23 Fattori di emissione PM10 e NOx per il traffico di cantiere indotto dalla lavorazioni

Camion 20-26t Euro IV gasolio	FE PM10 (g/s)	FE NOx (g/s)
	2,99416E-06	0,000107

Parametri meteo climatici

Il primo input di calcolo per la stima delle concentrazioni, e di conseguenza per il funzionamento del modello matematico, sono i dati meteorologici. Per tali dati, si è fatto riferimento ai dati dell'aeronautica militare relativi alla stazione di Brescia Montichiari riferiti all'anno 2021.

Dai dati grezzi sono stati costruiti i file compatibili col preprocessore AERMET: il file descrittivo dei parametri al suolo, è stato realizzato in formato "SCRAM", che caratterizza le condizioni superficiali con intervalli di 60 minuti.

¹ Sinanet (Sistema informativo nazionale ambientale) – Banca dati dei fattori di emissione medi del trasporto in Italia (<https://fetransp.isprambiente.it/#/home>)

Tabella 3-24 Esempio di alcune righe di un file scritto in formato "SCRAM"

```
7777721010100051040070410707
7777721010101066050050390707
7777721010102054040070400505
```

Per leggere il file, il software associa ad ogni posizione di un carattere all'interno della stringa di testo un preciso significato; di seguito viene indicato il significato di ogni cifra a seconda della casella che occupa:

- 1-5: indicano il codice della stazione meteorologica che ha registrato i dati; nell'esempio mostrato è stata denominata "77777";
- 6-7: indicano l'anno che si sta considerando; l'esempio riguarda l'anno 2021 che viene indicato con le due cifre "21";
- 8-9: viene specificato il mese, nell'esempio siamo a gennaio: "01";
- 10-11: anche il giorno viene indicato con due cifre, nell'esempio siamo al primo giorno di gennaio: "01";
- 12-13: si specifica l'ora, lasciando vuota la prima casella nel caso di numeri ad una sola cifra;
- 14-16: viene indicata l'altezza a cui si trovano le nuvole, espressa in centinaia di piedi;
- 17-18: indicano la direzione del vento, espressa come decine di gradi (esempio $350^\circ=35$);
- 19-21: si indica la velocità del vento, espressa in nodi (001 Knot= 1853 m/h);
- 22-24: la temperatura espressa in questa casella è indicata in gradi Fahrenheit (si ricorda la relazione: $T^{\circ}f = 9/5 (T^{\circ}c + 32)$);
- 25-28: si indica la quantità di nuvole: le prime due cifre, in una scala che va da zero a dieci, indicano la percentuale di nuvole presenti su tutta la zona, mentre le seconde due cifre, con la medesima scala, indicano la foschia presente.

Per inserire il file che caratterizza la situazione in quota si è scelto di utilizzare l'upper air estimator fornito dalla Lakes Environmental. Tale strumento consente di estrapolare, attraverso leggi di regressione, il profilo meteorologico in quota. Il sistema è riconosciuto dalla FAA² ed alcune analisi sperimentali hanno

dimostrato una buona approssimazione tra le concentrazioni misurate dai dati in quota e quelle stimate attraverso l'uso dell'Upper Air Estimator³.

Parametri orografici

Il secondo input da definire è legato all'orografia del territorio in cui l'opera si inserisce. Il software AERMOD View, grazie al processore territoriale AERMAP permette di configurare essenzialmente tre tipologie di territorio come mostrato in Figura 3-28.

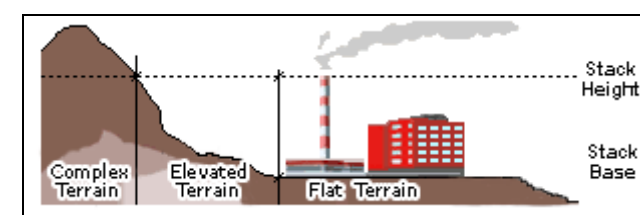


Figura 3-28 Tipologie di configurazioni territoriali

Con riferimento all'area di intervento, si è adottata una configurazione del territorio di tipo "flat" (piatta) per lo scenario di riferimento, in quanto non sono presenti condizioni orografiche complesse nell'immediato intorno delle aree di lavoro dell'intervento in esame.

Parametri progettuali

Una volta definite le metodologie per la stima dei fattori di emissione, è stato possibile implementare all'interno del modello le diverse sorgenti, schematizzandole in sorgenti areali. In particolare, i dati richiesti dal software sono quelli mostrati in Figura 3-29.

² http://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/apl/research/models/edms_model/

³ Worldwide Data Quality Effects on PBL Short-Range Regulatory Air Dispersion Models – Jesse L. Thé, Russell Lee, Roger W. Brode

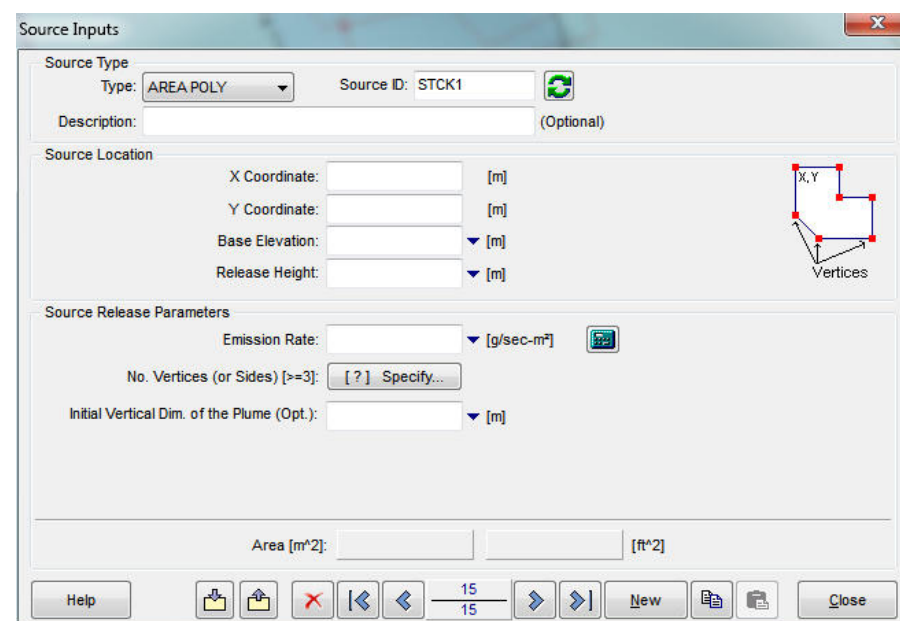


Figura 3-29 Tipologico input per sorgenti areali software AERMOD View

Nello specifico gli input inseriti sono:

- coordinate X, Y rispetto al baricentro della sorgente,
- altezza del terreno su cui è situata la sorgente,
- altezza della sorgente,
- fattore di emissione espresso in g/s m2.

Punti di calcolo

I domini di calcolo da introdurre all'interno delle simulazioni devono avere caratteristiche omogenee e requisiti dimensionali tali da comprendere l'intero areale di impatto, definito come la porzione di territorio entro la quale è compresa la curva di isoconcentrazione relativa all'incremento di impatto minimamente significativo.

I dettagli della maglia di calcolo per lo scenario sono riportati nelle seguenti tabelle.

Tabella 3-25 Caratteristiche maglia di calcolo (scenario 1)

Coordinate del centro della maglia Asse X	591598,99 [m E]
Coordinate del centro della maglia Asse Y	5043076,81 [m N]
Passo lungo l'asse X	50 [m]
Passo lungo l'asse Y	50 [m]
N° di punti lungo l'asse X	30

N° di punti lungo l'asse Y	30
N° di punti di calcolo totali	900
Altezza relativa dal suolo	1,8 [m]

Al fine di valutare i valori di concentrazione generati dalle attività di cantiere più critiche, sono stati individuati i ricettori sensibili più prossimi all'area di intervento per verificare, in corrispondenza di questi, il rispetto dei limiti normativi di qualità dell'aria per la protezione della salute umana.

I ricettori censiti sono riportati nella seguente tabella.

Tabella 3-26 Punti ricettori

Ricettori		R1	R2	R3
Coordinate	X	591188,00	592107,00	591638,31
	Y	5042767,00	5043136,00	5043098,92

Nella seguente figura sono illustrati le sorgenti e i ricettori di riferimento.

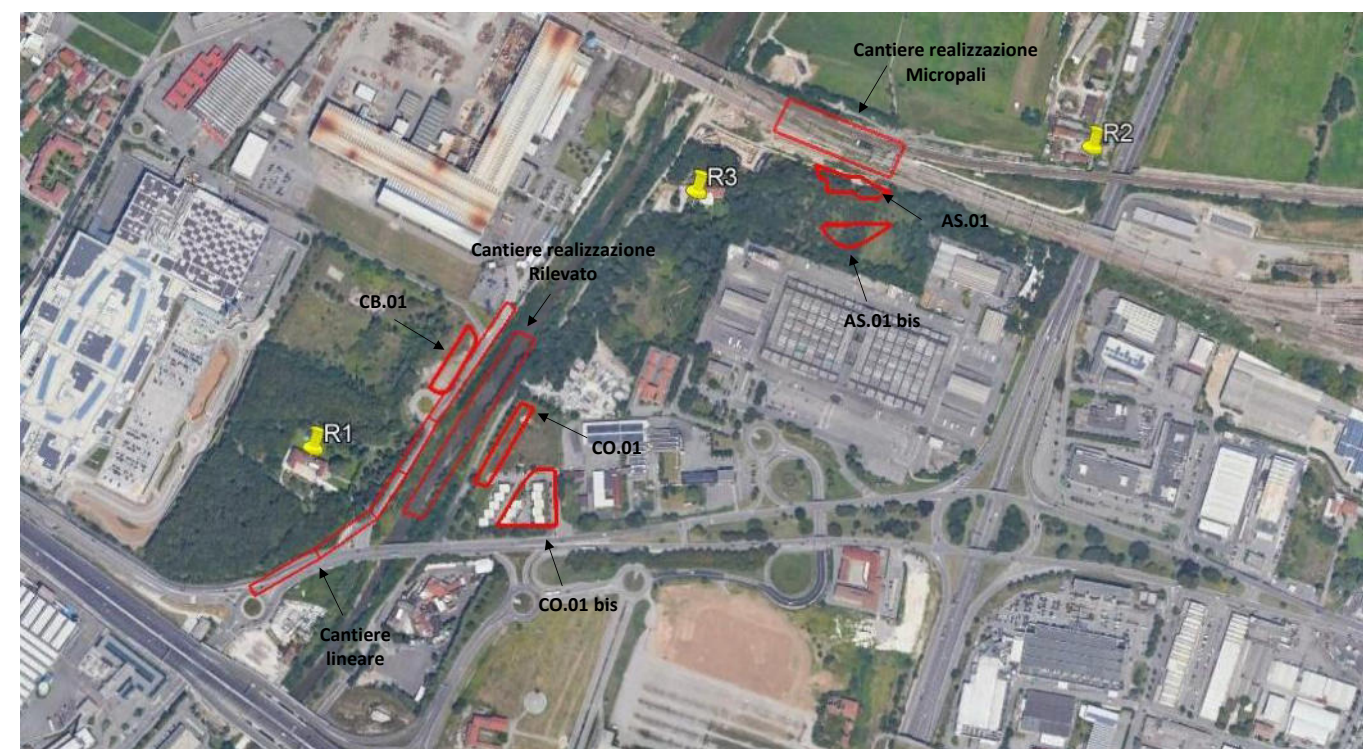


Figura 3-30 Schematizzazione sorgenti e ricettori

Risultati

Di seguito si riportano le tabelle di sintesi degli output delle simulazioni per lo scenario considerato, in corrispondenza dei singoli ricettori senza il contributo di fondo.

Si ricorda che il software di calcolo restituisce i valori di concentrazione di NO_x. Per trasformare questi in NO₂, come sopra anticipato, si fa riferimento ad alcuni studi pubblicati da ARPA che ritengono che la produzione di NO₂ sia pari al 10% dell'ossido di azoto complessivamente generato e pertanto il rapporto NO₂/NO_x è stato assunto pari al 10%.

Si sottolinea inoltre come le concentrazioni per il PM_{2,5} siano state ricavate a partire dai valori ottenuti per il PM₁₀ tramite simulazione modellistica, posto che il rapporto tra le medie annue di PM_{2,5} e PM₁₀ risulta lineare e pari al 60%, valore ottenuto sulla base dei dati ricavati dalla centralina di Brescia Broletto per l'annualità 2021.

Le mappe diffusionali emerse dalle simulazioni modellistiche sono riportate di seguito.

Tali mappe rappresentano la previsione delle concentrazioni dei principali inquinanti previsti dalla normativa vigente (D. Lgs. 155/2010), ovvero NO_x (dai quali è stato ricavato il valore di NO₂ per le verifiche normative) e PM₁₀.

Nello specifico le mappe di ricaduta sono espresse in termini di:

- PM₁₀ - Media annua;
- PM₁₀ - 35° valore delle medie giornaliere sull'anno civile;
- NO₂ - Media annua;
- NO₂ - 18° valore delle medie orarie sull'anno civile.

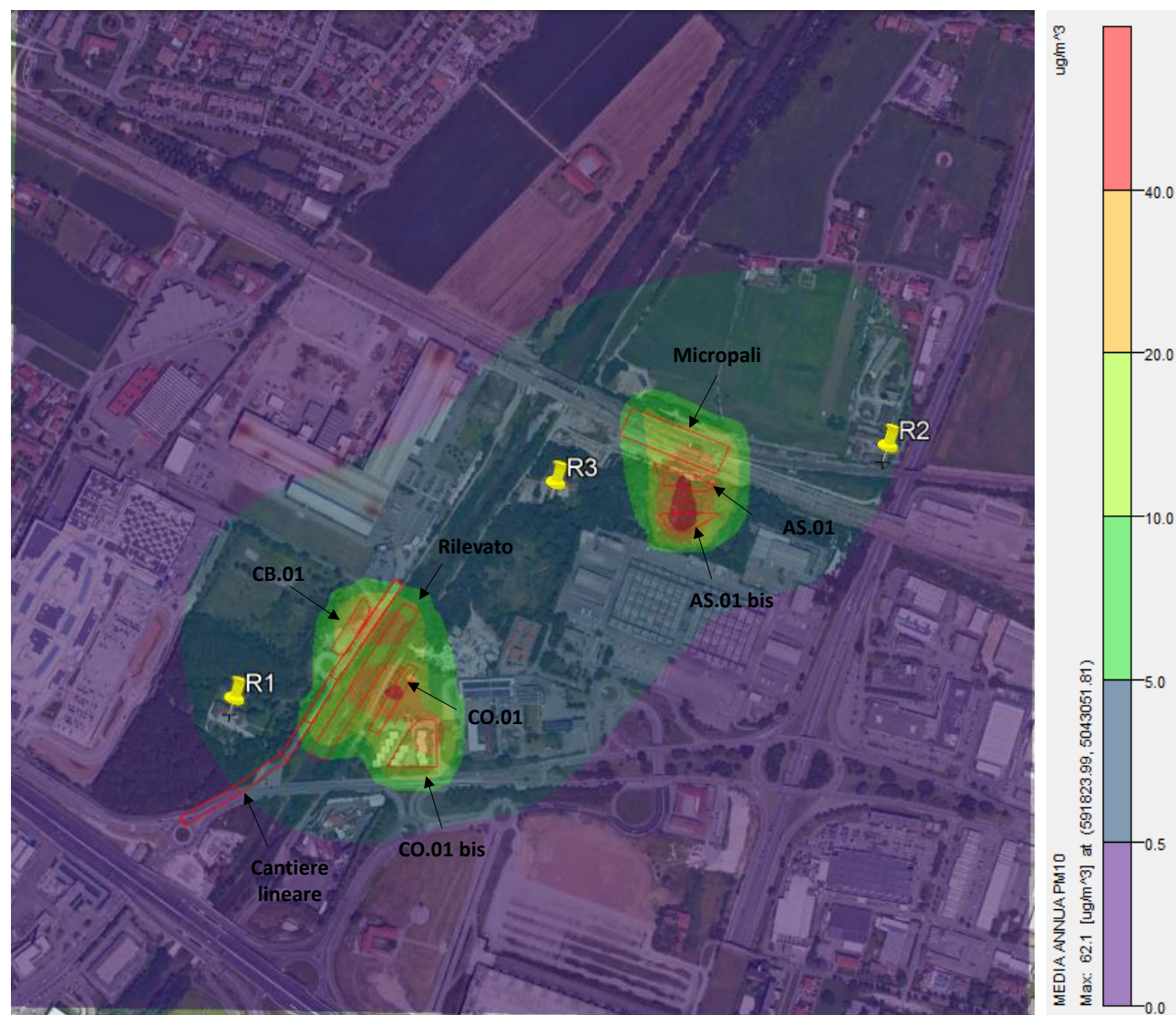
All'interno, sono indicati anche i ricettori prossimi alle aree di intervento e potenzialmente esposti a maggiori interferenze.

Dati di output

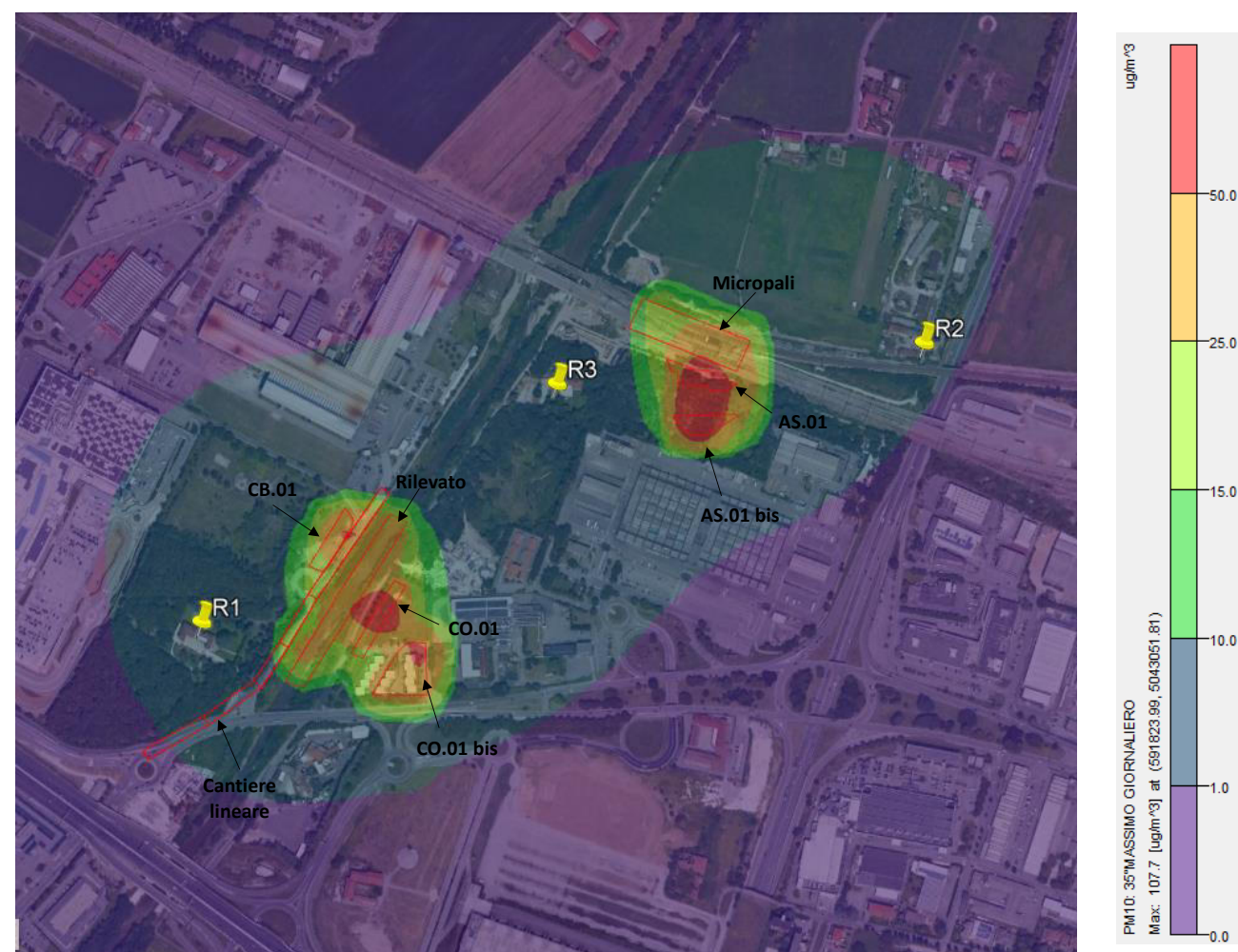
Tabella 3-27: Concentrazioni stimate in corrispondenza dei ricettori prossimi alle sorgenti

Ricettore	PM10		PM _{2,5}	NO ₂	
	Media annua [µg/m ³]	35° valore delle medie su 24 h [µg/m ³]	Media annua [µg/m ³]	Media annua [µg/m ³]	18° valore delle medie orarie [µg/m ³]
R1	0,77	2,06	0,46	0,07	1,68
R2	0,56	1,34	0,33	0,05	2,42
R3	1,36	2,31	0,81	0,13	2,55

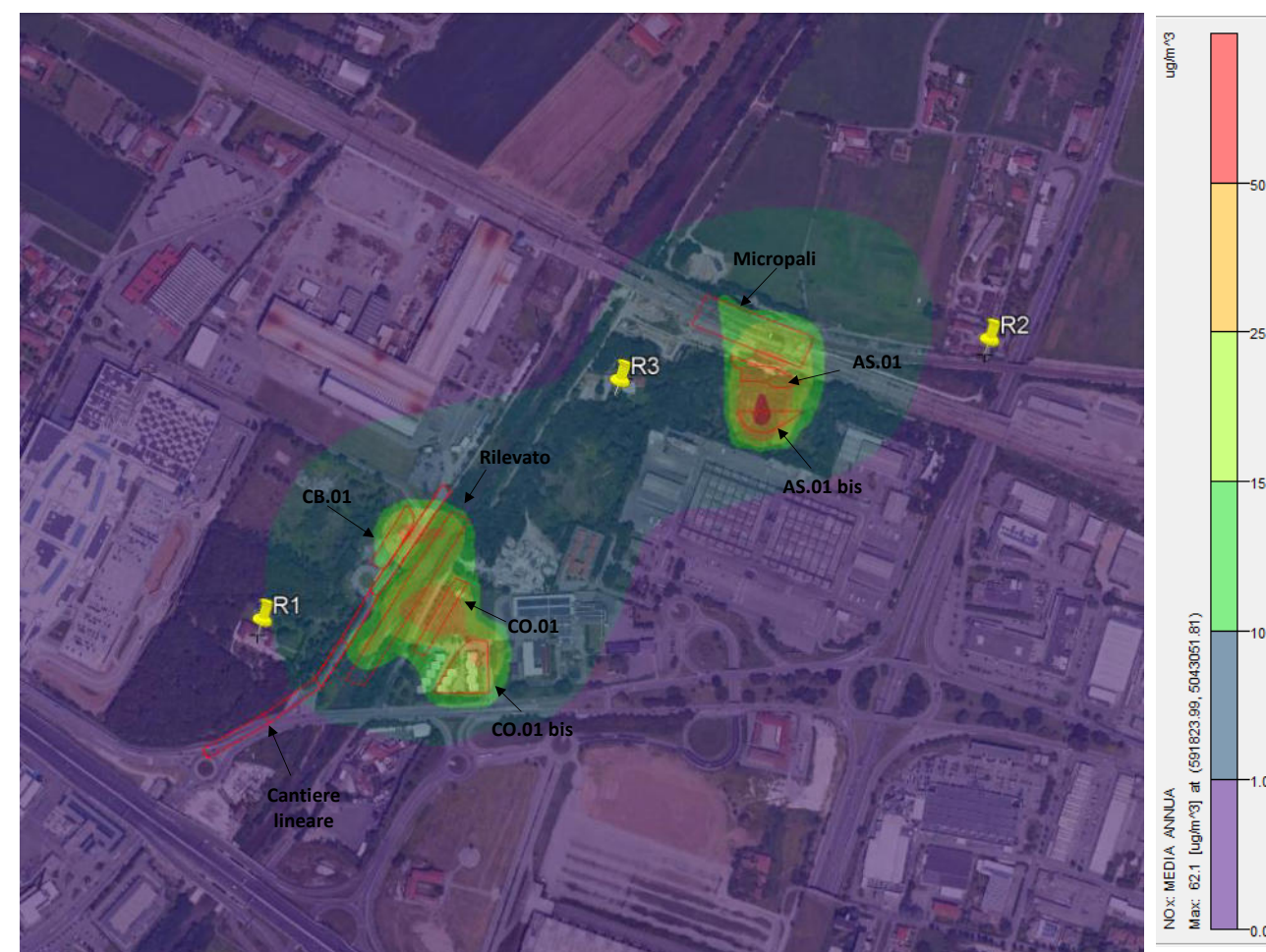
Mappe delle concentrazioni di PM10 - Media annua [µg/m³]



Mappa delle concentrazioni di PM10 – 35° valore delle medie giornaliere sull'anno civile [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]



Mappa delle concentrazioni di NOx – Media annua [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]



Mappa delle concentrazioni di NOx - 18° valore delle medie orarie sull'anno civile [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]



Conclusioni

I valori risultanti dalle simulazioni rappresentano il contributo sull'atmosfera legato alle attività ed al traffico indotto dai mezzi di cantiere; tuttavia, per confrontare tali valori con le soglie normative è necessario considerare anche il valore di fondo del contesto territoriale dove il progetto si inserisce. A tale proposito si è fatto riferimento alla stazione ARPA di tipo urbana di traffico (Brescia Broletto) la quale ha registrato i seguenti valori riferiti all'anno 2021:

- biossido di azoto NO₂: 26,87 $\mu\text{g}/\text{m}^3$;
- particolato PM₁₀: 29,61 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.
- particolato PM_{2,5}: 17,63 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Di seguito si riportano le tabelle di sintesi contenenti i valori di concentrazione totale in corrispondenza dei singoli ricettori, comprensivi del contributo del fondo:

Tabella 3-28: Qualità dell'aria totale in corrispondenza dei ricettori prossimi alle sorgenti

Ricettore	PM10		PM _{2,5}	NO ₂	
	Media annua [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	35° valore delle medie su 24 h [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Media annua [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Media annua [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	18° valore delle medie orarie [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
R1	30,38	31,67	18,09	26,94	28,55
R2	30,17	30,95	17,96	26,92	29,29
R3	30,97	31,92	18,44	27,00	29,42
Limite per la protezione della salute umana (D. Lgs. 155/2010)	40	50	25	40	200

Di seguito si riportano alcune considerazioni conclusive.

PM10:

- PM10 media annua
I livelli di concentrazione attesi, comprensivi di quello di fondo, sono ampiamente al di sotto dei limiti normativi.
Il valore più elevato si registra in prossimità di R3 ed è pari a 30,97 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.
- PM10 35° valore dei massimi giornalieri
I livelli di concentrazione attesi, comprensivi di quello di fondo, sono ampiamente al di sotto dei limiti normativi.
Il valore più elevato si registra in prossimità di R3 ed è pari a 31,92 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

PM2,5:

- PM2,5 media annua

I livelli di concentrazione attesi, comprensivi di quello di fondo, sono ampiamente al di sotto dei limiti normativi.

Il valore più elevato si registra in prossimità di R3 ed è pari a 18,44 µg/m³.

NO₂:

- NO₂ media annua

I livelli di concentrazione attesi, comprensivi di quello di fondo, sono ampiamente al di sotto dei limiti normativi.

Il valore più elevato si registra in prossimità di R3 ed è pari a 27,00 µg/m³.

- NO₂ 18° valore dei massimi orari

I livelli di concentrazione attesi, comprensivi di quello di fondo, sono al di sotto dei limiti normativi.

Il valore più elevato si registra in prossimità di R3 ed è pari a 29,42 µg/m³.

In relazione ai livelli di concentrazione ottenuti dallo studio modellistico, si può concludere che tutti i valori sono al di sotto dei limiti normativi.

Considerando che la metodologia adottata è quella del Worst Case Scenario e che, in ragione di ciò, gli scenari presi in considerazione nello studio modellistico rappresentano quelli più rilevanti e, conseguentemente, maggiormente cautelativi, è possibile assumere che per tutti i restanti scenari, connotati da un contributo emissivo inferiore a quello dello scenario esaminato, si riscontri il rispetto dei limiti normativi con un margine di sicurezza ancora maggiore.

La significatività dell'effetto in questione può dunque essere ritenuta trascurabile.

3.3.3 Misure di prevenzione e mitigazione

Le principali problematiche indotte dalla fase di realizzazione delle opere in progetto sulla componente ambientale in questione riguardano essenzialmente la produzione di polveri che si manifesta principalmente nelle aree di cantiere.

In virtù della presenza di diversi ricettori nei pressi delle aree di intervento, si prevede la necessità di introdurre adeguate misure di mitigazione.

La definizione delle misure da adottare per la mitigazione degli impatti generati dalle polveri sui ricettori circostanti le aree di cantiere è stata basata sul criterio di impedire il più possibile la fuoriuscita delle polveri dalle stesse aree ovvero, ove ciò non riesca, di trattenerle al suolo impedendone il sollevamento tramite impiego di processi di lavorazione ad umido (sistematica bagnatura dei cumuli di materiale sciolto e delle aree di cantiere non impermeabilizzate) e pulizia delle strade esterne impiegate dai mezzi di cantiere.

Impianti di lavaggio delle ruote degli automezzi

Si tratta di impianti costituiti da una griglia sormontata da ugelli disposti a diverse altezze che spruzzano acqua in pressione con la funzione di lavare le ruote degli automezzi in uscita dai cantieri e dalle aree di lavorazione, per prevenire la diffusione di polveri, come pure l'imbrattamento della sede stradale all'esterno del cantiere.

L'appaltatore provvederà all'installazione di tali tipologie di impianti immediatamente all'uscita dalle aree di cantiere nelle quali le lavorazioni eseguite potrebbero comportare la diffusione di polveri, tramite le ruote degli automezzi, all'esterno delle aree stesse.

L'installazione di tali impianti è compresa e compensata negli oneri della cantierizzazione.

Bagnatura delle aree di cantiere

Saranno predisposti gli opportuni interventi di bagnatura delle superfici di cantiere e delle aree di stoccaggio terreni che consentiranno di contenere la produzione di polveri.

Tali interventi saranno effettuati tenendo conto del periodo stagionale con incremento della frequenza delle bagnature durante la stagione estiva. Si osserva che l'efficacia del controllo delle polveri con acqua dipende essenzialmente dalla frequenza delle applicazioni e dalla quantità d'acqua per unità di superficie impiegata in ogni trattamento, in relazione al traffico medio orario ed al potenziale medio di evaporazione giornaliera del sito. Si prevede di impiegare circa 1 l/m² per ogni trattamento di bagnatura.

In maniera indicativa, è possibile prevedere un programma di bagnature articolato su base annuale che tenga conto del periodo stagionale e della tipologia di pavimentazione dell'area di cantiere, ovvero:

- Gennaio 2 giorni / settimana
- Febbraio 2 giorni / settimana
- Marzo 3 giorni / settimana
- Aprile 4 giorni / settimana
- Maggio 5 giorni / settimana

- Giugno 5 giorni / settimana
- Luglio 5 giorni / settimana
- Agosto 5 giorni / settimana
- Settembre 4 giorni / settimana
- Ottobre 3 giorni / settimana
- Novembre 2 giorni / settimana
- Dicembre 2 giorni / settimana

Per contenere le interferenze dei mezzi di cantieri sulla viabilità sarà necessario prevedere la copertura dei cassoni dei mezzi destinati alla movimentazione dei materiali con teli in modo da ridurre eventuali dispersioni di polveri durante il trasporto dei materiali. Al fine di evitare il sollevamento delle polveri i mezzi di cantiere dovranno viaggiare a velocità ridotta.

Le aree destinate allo stoccaggio dei materiali dovranno essere bagnate o in alternativa coperte al fine di evitare il sollevamento delle polveri.

Spazzolatura del primo tratto di strada impegnato dal passaggio dei mezzi in uscita dal cantiere

Si prevede la periodica spazzolatura ad umido di un tratto della viabilità esterna in uscita dal cantiere per una estensione, calcolata dal punto di accesso del cantiere, di media 150 metri, per una sezione media di 7,5 m (per una superficie complessiva di intervento pari a 1125 mq) per tutto il periodo in cui tali viabilità saranno in uso da parte dei mezzi di cantiere.

I mezzi di cantiere dovranno essere provvisti di sistemi di abbattimento del particolato a valle del motore, di cui occorrerà prevedere idonea e frequente manutenzione e verifica dell'efficienza anche attraverso misure dell'opacità dei fumi;

Per i mezzi di cantiere dovranno, inoltre, essere adottate le idonee misure per la vigilanza sul rispetto delle regole di trasporto degli inerti, affinché sia sempre garantita la copertura dei cassoni quando caricati ed il rispetto delle velocità all'interno dell'area di cantiere.

Procedure operative

Oltre agli interventi di mitigazione sopra descritti, durante la fase di realizzazione delle opere verranno applicate misure a carattere generale e procedure operative che consentono una riduzione della polverosità in fase di cantiere, oltre ad una "buona prassi di cantiere". In particolare, verranno adottate misure che riguardano l'organizzazione del lavoro e del cantiere, verrà curata la scelta delle macchine e delle attrezzature e verranno previste opportune procedure di manutenzione dei mezzi e delle attrezzature.

Organizzazione del cantiere

L'Appaltatore dovrà applicare tutte le misure possibili al fine di limitare la generazione di polveri durante le lavorazioni di cantiere e la diffusione di polveri all'esterno del cantiere.

A questo fine, in particolare:

- le aree interessate da lavorazioni che generano polveri dovranno essere periodicamente innaffiate: ciò vale in particolare per le aree dove si eseguono attività di movimento terra e di demolizione;
- i cumuli di terre di scavo verranno realizzati in aree lontane da possibili ricettori;
- i piazzali di cantiere verranno realizzati con uno strato superiore in misto cementato o misto stabilizzato al fine di ridurre la generazione di polveri;
- gli stessi piazzali e le piste interne ai cantieri verranno sistematicamente irrorati con acqua; lo stesso verrà fatto anche per la viabilità immediatamente esterna ai cantieri, sulla quale si procederà anche a spazzolatura.

Prescrizioni per i mezzi di cantiere

I mezzi di cantiere dovranno essere provvisti di sistemi di abbattimento del particolato a valle del motore, di cui occorrerà prevedere idonea e frequente manutenzione e verifica dell'efficienza anche attraverso misure dell'opacità dei fumi.

I mezzi di cantiere destinati al trasporto di materiali di risulta dalle demolizioni, terre da scavo e inerti in genere dovranno essere coperti con teli aventi adeguate caratteristiche di impermeabilità e resistenza allo strappo.

I mezzi di cantiere dovranno tenere velocità ridotta sulle piste di servizio; a questo fine l'Appaltatore dovrà installare cartelli segnaletici indicanti l'obbligo di procedere a passo d'uomo all'interno dei cantieri.

Gli autocarri e gli altri macchinari impiegati nelle aree di cantiere dovranno risultare conformi ai limiti di emissione previsti dalle norme vigenti.

Misure di ottimizzazione per l'inquinamento atmosferico a carico dell'Appaltatore

Di seguito vengono prescritti provvedimenti, sotto forma di una lista di controllo, generali e specifici in funzione del metodo di costruzione per la riduzione delle emissioni di sostanze nocive nell'aria sui cantieri.

Altri provvedimenti ed altre soluzioni non sono esclusi purché sia comprovato che comportano una riduzione delle emissioni almeno equivalente.

La maggior parte dei provvedimenti comprende requisiti base e corrisponde ad una "buona prassi di cantiere", altri consistono in misure preventive specifiche.

Processi di lavoro meccanici

Le polveri e gli aerosol in cantieri prodotti da sorgenti puntuali o diffuse (impiego di macchine ed attrezzature, trasporti su piste di cantiere, lavori di sterro, estrazione, trattamento e trasbordo di materiale, dispersione tramite il vento ecc.) sono da ridurre alla fonte mediante l'adozione di adeguate misure. In particolare, per le attività che producono polvere, come smerigliatura – fresatura – foratura – sabbatura – sgrossatura – lavorazione alla punta e allo scalpello, spaccatura – frantumazione – macinatura – getto – deposizione – separazione -crivellatura – carico/scarico – presa con la benna – pulizia a scopa – trasporto, vanno adottati i seguenti provvedimenti:

MOVIMENTAZIONE DEL MATERIALE	M1	Agglomerazione della polvere mediante umidificazione del materiale, per esempio mediante un'irrorazione controllata.
	M2	Impiego di sminuzzatrici che causano scarsa abrasione di materiale e che riducono il materiale di carico mediante pressione anziché urto.
	M3	Ridurre al minimo i lavori di raduno, ossia la riunione di materiale sciolto nei luoghi di trasbordo, risp. proteggere i punti di raduno dal vento.

DEPOSITI DEL MATERIALE	M4	I depositi di materiale sciolto e macerie come materiale non bituminoso di demolizione delle strade, calcestruzzo di demolizione, sabbia ghiaiosa riciclata con frequente movimentazione del materiale vanno adeguatamente protetti dal vento per es. mediante una sufficiente umidificazione, pareti/valli di protezione o sospensione dei lavori in caso di condizioni climatiche avverse.
	M5	Proteggere adeguatamente i depositi di materiale sciolto con scarsa movimentazione

		dall'esposizione al vento mediante misure come la copertura con stuoie, teli o copertura verde.
--	--	---

AREE DI CIRCOLAZIONE NEI CANTIERI	M6	Sulle piste non consolidate legare le polveri in modo adeguato mediante autocisterna a pressione o impianto d'irrigazione.
	M7	Limitazione della velocità massima sulle piste di cantiere a per es. 30 km/h.
	M8	Munire le piste di trasporto molto frequentate con un adeguato consolidamento, per es. una pavimentazione o una copertura verde. Le piste vanno periodicamente pulite e le polveri legate per evitare depositi di materiali sfusi sulla pista.
	M9	Munire le uscite dal cantiere alla rete stradale pubblica con efficaci vasche di pulizia, come per esempio impianti di lavaggio delle ruote.

DEMOLIZIONE E SMANTELLAMENTO	M10	Gli oggetti da demolire o da smantellare vanno scomposti possibilmente in grandi pezzi con adeguata agglomerazione delle polveri (per es. umidificazione).
OPERE DI PAVIMENTAZIONE E IMPERMEABILIZZAZIONE Mastice d'asfalto, materiale di tenuta a caldo, bitume a caldo (riscaldatore mobile)	T3	Impiego di mastice d'asfalto e bitume a caldo con bassa tendenza di esalazione di fumo. Le temperature di lavorazione non devono superare i seguenti valori: - mastice d'asfalto, posa a macchina: 220°C - mastice d'asfalto, posa a mano: 240°C - bitume a caldo: 190°C
	T4	Impiego di caldaie chiuse con regolatori della temperatura.

Processi di lavoro termici e chimici

Durante i processi di lavoro termici nei cantieri (riscaldamento - pavimentazione – taglio – rivestimento a caldo – saldatura) si sprigionano gas e fumi. Sono prioritarie misure in relazione alla lavorazione a caldo di bitume (pavimentazione stradale, impermeabilizzazioni, termoadesione) nonché ai lavori di saldatura. Nella lavorazione di prodotti contenenti solventi (attività: rivestire – incollare – decapare – schiumare – pitturare – spruzzare) o nei processi chimici (di indurimento) vengono sprigionate sostanze solventi. L'Appaltatore valuterà le azioni di seguito proposte evidenziando se esistano impedimenti tecnici alla loro attuazione. Qualora così non fosse, sarà sua cura darne attuazione.

OPERE DI PAVIMENTAZIONE ED	T1	Impiego di bitume con basso tasso di emissione d'inquinanti atmosferici (tendenza all'esalazione di fumo).
----------------------------	----	--

IMPERMEABILIZZAZIONE Trattamento di materiali per la pavimentazione stradale	T2	Riduzione della temperatura di lavorazione mediante scelta di leganti adatti.
--	----	---

Opere di impermeabilizzazione	T5	Impiego di stuoie di bitume con scarsa tendenza all'esalazione di fumo.
	T6	Procedimento di saldatura: evitare il surriscaldamento delle stuoie di bitume.

Saldatura (ad arco ed autogena) di metalli	T7	I posti di lavoro di saldatura vanno attrezzati in modo che il fumo di saldatura possa essere captato, aspirato ed evacuato (per es. con un'aspirazione puntuale).
--	----	--

Processi di lavoro chimici	T8	Utilizzare prodotti ecologici per il trattamento delle superfici (mani di fondo, prime mani, strati isolanti, stucchi, vernici, intonaci, ponti di aderenza, primer ecc.) come pure per incollare e impermeabilizzare i giunti.
----------------------------	----	---

Requisiti di macchine ed attrezzature	G1	Impiegare attrezzature di lavoro a basse emissioni, per es. con motore elettrico.
	G2	Equipaggiamento e periodica manutenzione di macchine e attrezzature con motore a combustione secondo le indicazioni del fabbricante.
	G3	Per macchine e attrezzature con motori a combustione <18 kW la periodica manutenzione deve essere documentata, per es. con un adesivo di manutenzione.
	G4	Tutte le macchine e tutti le attrezzature con motori a combustione ≥18 kW devono: - essere identificabili; - venire controllati periodicamente ed essere muniti di un corrispondente documento di manutenzione del sistema antinquinamento; - essere muniti di un adeguato contrassegno dei gas di scarico.
	G5	Le attrezzature di lavoro con motori a benzina a 2 tempi e con motori a benzina a 4 tempi senza catalizzatore vanno alimentati con benzina giusta.
	G6	Per macchine e attrezzature con motore diesel vanno utilizzati carburanti a basso tenore di zolfo (tenore in zolfo < 50ppm).
	G7	Per i lavori con elevata produzione di polveri con macchine e attrezzature per la lavorazione meccanica dei materiali (come per es. mole per troncatura, smerigliatrici), vanno adottate misure di riduzione delle polveri (come per es. bagnare, captare, aspirare, separare).

4. STIMA DELLA CO₂ EQUIVALENTE

4.1 Premessa

L'analisi seguente è finalizzata alla stima della CO₂ equivalente, con l'obiettivo di quantificare le emissioni di gas serra (GHG, Greenhouse Gases) associate ai cantieri coinvolti dal progetto in esame ed all'operatività degli stessi.

Si ricorda che, le emissioni di gas serra associate ad un qualunque processo produttivo, sono generalmente espresse in tonnellate di CO₂ equivalente, ovvero prendendo a riferimento per tutti i gas serra l'effetto associato alla CO₂, assunto pari ad 1, come meglio chiarito nel seguito.

Nella presente trattazione la quantificazione delle emissioni di gas serra associate alle lavorazioni e attività di cantierizzazione viene dunque articolata secondo le linee guida del GHG Protocol, uno degli standard internazionali per la contabilizzazione dei gas serra, come dettagliato nel par. 4.2.

4.2 GHG Protocol

Il GHG Protocol (Greenhouse Gases Protocol), redatto dalla collaborazione tra il World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) e tra il World Resources Institute (WRI) ⁴, rappresenta uno degli standard internazionali per la quantificazione delle emissioni di gas serra, mettendo a disposizione indicazioni, linee guida e strumenti per effettuare il computo.

Nella rendicontazione da effettuare, sulla scorta delle indicazioni del Protocollo di Kyoto, i gas climalteranti che devono essere presi in considerazione per la stima sono: l'anidride carbonica (CO₂), il metano (CH₄), il protossido di azoto (N₂O), gli idrofluorocarburi (HFC), i perfluorocarburi (PFC) e l'esfluoruro di zolfo (SF₆). Inoltre, i risultati devono essere riportati come aggregati, espressi in quantità di CO₂ equivalente, utilizzando i valori di potenziale riscaldamento globale (Global Warming Potential GWP) in rapporto al potenziale dell'anidride carbonica (CO₂). I GWP vengono dunque utilizzati per convertire le emissioni di altri gas serra in termini di CO₂ equivalente (l'anidride carbonica equivalente è infatti una misura che esprime l'effetto sul riscaldamento globale di una certa quantità di gas serra rispetto alla stessa quantità di anidride carbonica (CO₂), dando modo di confrontare e sommare i

⁴ Greenhouse gas protocol (<https://ghgprotocol.org/>)

contributi di diversi gas climalteranti). In particolare, i risultati della stima vengono espressi in quantità di CO₂ equivalente considerando il GWP su un orizzonte temporale che solitamente è pari a 100 anni.

Nell'ambito della presente trattazione si specifica che i gas serra esaminati sono l'anidride carbonica (CO₂), il metano (CH₄) e il protossido di azoto (N₂O) e, secondo quanto riportato dall'Intergovernmental Panel On Climate Change (IPCC) ⁵, il Global Warming Potential su un orizzonte temporale di 100 anni associato alla CO₂ è pari ad 1, per il metano è pari a 30, mentre quello per l'N₂O è pari a 230. Tali valori di GWP consentono dunque di poter convertire le emissioni di CH₄ ed N₂O in termini di CO₂ equivalente, potendo sommare il contributo di ciascun gas serra e ottenendo una quantità complessiva espressa in CO₂ equivalente.

Stante quanto premesso, le linee guida del protocollo GHG analizzato prevedono di considerare le emissioni di gas serra suddividendole in tre categorie, secondo la seguente classificazione:

Scope 1: Emissioni dirette;

Scope 2: Emissioni indirette;

Scope 3: Altre emissioni indirette.

Nello scope 1 (emissioni dirette) vengono contabilizzate tutte le emissioni provenienti da fonti/sorgenti proprie dei cantieri o controllate dai cantieri, come ad esempio quelle derivanti dall'utilizzo di combustibili necessari ai vari processi di produzione. Nello specifico, per il caso in esame, sono quantificate le emissioni connesse al consumo di gasolio per il funzionamento dei vari mezzi di cantiere.

Per il secondo scope (emissioni indirette) si richiede di calcolare le emissioni derivanti dall'utilizzo di elettricità prelevata dalla rete e in generale da fonti di energia esterne. Tutte queste fonti producono emissioni indirette in quanto la loro produzione fisica avviene all'esterno del cantiere e non sono sotto il suo diretto controllo.

Il terzo scope (altre emissioni indirette) è connesso all'individuazione delle emissioni derivanti da combustibile utilizzato per il trasporto di materiale destinato all'approvvigionamento ed allo smaltimento rispettivamente verso e dal cantiere.

Nei paragrafi che seguono vengono quantificate le varie emissioni associate a ciascuno degli scope ed alla totalità degli scope.

4.2.1 Metodologia di calcolo e dati utilizzati

All'interno dei confini organizzativi ed operativi stabiliti nell'ambito delle attività di cantierizzazione, l'approccio adottato prevede in primo luogo l'identificazione delle fonti di emissione di gas serra (GHG) e la successiva raccolta di dati disponibili. La metodologia di calcolo utilizzata è basata sulla moltiplicazione tra il "Dato attività", che quantifica l'attività, e il corrispondente "Fattore di emissione":

$$\text{Emissione di GHG} = \text{Dato attività} * \text{EF}$$

dove:

- Emissione di GHG è la quantificazione dei GHG emessi dall'attività, espressa in termini di tonnellate di CO₂ equivalente (t CO_{2eq});
- Dato attività è la quantità, generata o utilizzata, che descrive l'attività, espressa in termini di energia (J o kWh), massa (Kg) o volume (BTU, m³ o l);
- EF è il fattore di emissione che può trasformare la quantità nella conseguente emissione di GHG, espressa in CO₂ emessa per unità di data attività.

Per quanto riguarda i valori utilizzati quale *dato di attività*, questi sono relativi alle fatture riferite ai servizi di gas, GPL, energia elettrica, conteggi interni del gasolio acquistato.

I fattori di emissione, differenti per ciascuno scope, sono invece ricavati dalla consultazione di diverse fonti bibliografiche:

⁵ Intergovernmental Panel on Climate Change ([IPCC AR6 WG1 Ch7 2021](#))

- Per lo scope 1 è stato selezionato il sito britannico “Greenhouse gas reporting: conversion factors 2020”⁶, il quale mette a disposizione gli indicatori espressi in kg CO_{2eq}/kWh utili per la stima di GHG associati al consumo di gasolio;
- Per lo scope 2 il report ISPRA “Indicatori di efficienza e decarbonizzazione del sistema energetico nazionale e del settore elettrico”⁷ al paragrafo 2.3.2 fornisce i dati tabellati inerenti ai fattori di emissione della produzione elettrica nazionale e dei consumi elettrici espressi in g CO_{2eq}/kWh;
- Per lo scope 3 vengono considerati gli indicatori ricavati tramite il Sistema Informativo nazionale ambientale (Sinanet)⁸. Tale sistema rappresenta la banca dati dei fattori di emissione medi relativi al trasporto stradale e nasce grazie all'utilizzo di COPERT versione 5.4.36., 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 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 presentati nel suddetto sistema 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.

Nell'ambito della presente analisi sono stati selezionati i fattori di emissione relativi a camion di peso compreso tra le 20 e le 26 tonnellate di tipo Euro IV alimentati a gasolio.

La stima della CO₂ equivalente è stata dunque effettuata attraverso calcoli manuali sulla base delle fonti precedentemente menzionate. Si ribadisce inoltre come la metodologia adottata per la presente stima preveda l'utilizzo di fattori di emissione complessivi espressi in termini di CO₂ equivalente, i quali derivano

dalla somma dei singoli fattori emissivi dei tre gas serra presi in esame per la quantificazione della CO₂ equivalente, ovvero CO₂, CH₄ ed N₂O.

Stante quanto detto, i valori di ingresso per il calcolo delle emissioni sono stati estratti dalle relazioni di progetto di cantiere. Sono state contabilizzate le emissioni avvenute nell'orizzonte del cronoprogramma del cantiere che conta un totale di 1.153 giorni, per circa 3 anni solari.

4.2.2 Emissioni relative allo Scope 1

Con l'obiettivo di dare contezza del consumo di gasolio attribuito ai mezzi d'opera di cantiere sono stati in primo luogo considerati i diversi macchinari coinvolti dalle lavorazioni previste.

Le aree di cantiere ed i relativi mezzi ad esse associate sono riepilogati nella Tabella 4-1.

Tabella 4-1 Aree di cantiere coinvolte dal progetto in esame

Tipo	numero	giorni anno	ore/giorno	Pala meccanica	Escavatore	Autocarro	Gruppo elettrogeno	Impianto aria compressa	Fullo compattatore	Macchina per micropali
Area stoccaggio (AS.01 e AS.01 bis)	2	384	6	1		2				
Cantiere operativo (CO.01 e CO.01 bis)	2	384	6		1	1	1			
Cantiere Base (CB.01)	1	384	6				1	1		
Realizzazione rilevato		384	6		2	2			1	
Realizzazione micropali		384	6		1	1				1

Per ciascuno dei mezzi coinvolti sono stati in primo luogo identificati i fattori di emissione relativi alla CO₂, alla CH₄ ed all'N₂O. Tali fattori sono messi a disposizione dal sito britannico “Greenhouse gas reporting: conversion factors 2020”⁹, a partire dal quale è possibile ricavare gli indicatori utili per la stima di GHG associata al consumo di gasolio, come ricordato nel precedente par. 4.2.

La consultazione della sopracitata fonte alla voce “Fuels” ed alla sottocategoria “Liquid Fuels” in cui è stato preso in esame il campo “Diesel (100% mineral diesel)” fornisce i fattori di emissione riportati nella tabella che segue. Si ricorda come il fattore di emissione mostrato in Tabella 4-2 sia espresso in

⁶ Greenhouse gas reporting: conversion factors 2020: fullset (for advanced users) (<https://www.gov.uk/government/publications/greenhouse-gas-reporting-conversion-factors-2020>)

⁷ Indicatori di efficienza e decarbonizzazione del sistema energetico nazionale e del settore elettrico - ISPRA (<https://www.isprambiente.gov.it/files2021/pubblicazioni/rapporti/r343-2021.pdf>)

⁸ Sinanet (Sistema informativo nazionale ambientale) – Banca dati dei fattori di emissione medi del trasporto in Italia (<https://fetran.sp.isprambiente.it/#/home>)

⁹ Greenhouse gas reporting: conversion factors 2020: fullset (for advanced users) (<https://www.gov.uk/government/publications/greenhouse-gas-reporting-conversion-factors-2020>)

kilogrammi di CO₂ equivalente e sia il risultato della somma dei singoli fattori di emissione associati ai tre gas serra presi in esame, ovvero CO₂, CH₄ ed N₂O.

Tabella 4-2 Fattori di emissione per la CO₂ eq per le diverse sorgenti emmissive alimentate con carburante Diesel (100% diesel minerale) (fonte: Greenhouse gas reporting: conversion factors 2020, fullset for advanced users)

Sorgenti emmissive puntuali	potenza Kw	FE kg CO ₂ eq/kWh
Pala gommata	128	0,26891
Escavatore	128	0,26891
Autocarro	184	0,26891
Gruppo elettrogeno	128	0,26891
Impianto aria compressa	128	0,26891
Rullo compattatore	88	0,26891
Macchina per micropali	128	0,26891

Noti, dunque, i fattori di emissione per ciascuna sorgente puntuale, la potenza associata a ciascun macchinario ed i loro fattori di utilizzo, è stato possibile ricavare le tonnellate di CO₂ equivalente associate al consumo di gasolio per ciascun mezzo. A tal proposito si sottolinea come sia stato considerato un fattore di utilizzo giornaliero dei mezzi pari al 75% (ovvero 6 ore lavorative), valore che si traduce in 36 ore settimanali, le quali a loro volta corrispondono nell'arco di un intero anno (ovvero per 52 settimane) a 1.872 ore.

L'operatività complessiva in ore del cantiere, sapendo che da cronoprogramma la durata delle lavorazioni è pari a 1.153 giorni, ammonta dunque a 5.929 ore.

In virtù dei dati fin qui esposti, è possibile calcolare le tonnellate di CO₂ equivalente, come sintetizzato nella Tabella 4-3, per ciascuna delle sorgenti puntuali coinvolte.

Tabella 4-3 Sorgenti emmissive puntuali e relative emissioni di CO₂ equivalente dovute al consumo di gasolio

Sorgenti emmissive puntuali	potenza Kw	Ton CO ₂ eq
Pala gommata	128	204
Escavatore	128	204

Sorgenti emmissive puntuali	potenza Kw	Ton CO ₂ eq
Autocarro	184	293
Gruppo elettrogeno	128	204
Impianto aria compressa	128	204
Rullo compattatore	88	140
Macchina per micropali	128	204
TOTALE		1.454

Le tonnellate di CO₂ equivalente ottenute sommando tutte le tipologie di macchinari coinvolti risulta essere pari a 1.454.

Volendo quantificare le emissioni in termini di CO₂ equivalente associate a ciascun cantiere, considerando il numero di macchinari utilizzati in ciascuna area, si mostrano le tabelle che seguono.

Tabella 4-4 Emissioni di CO₂ equivalente per le due aree di stoccaggio

Aree di stoccaggio AS.01 e AS.01 bis		
Numero	Macchinari	Ton CO ₂ eq
1	Pala meccanica	408
2	Autocarro	1.172
Totale		1.580

Tabella 4-5 Emissioni di CO₂ equivalente per i cantieri operativi

Cantiere Operativo CO.01 e CO.01 bis		
Numero	Macchinari	Ton CO ₂ eq
1	Escavatore	408
1	Autocarro	586
1	Gruppo elettrogeno	408
Totale		1.402

Tabella 4-6 Emissioni di CO₂ equivalente per il cantiere base

Cantiere Base CB.01		
Numero	Macchinari	Ton CO ₂ eq

1	Escavatore	204
1	Autocarro	204
Totale		408

Tabella 4-7 Emissioni di CO₂ equivalente associate al cantiere finalizzato alla realizzazione del rilevato

Realizzazione rilevato		
Numero	Macchinari	Ton CO ₂ eq
2	Escavatore	408
2	Autocarro	586
1	Rullo compattatore	140
Totale		1.134

Tabella 4-8 Emissioni di CO₂ equivalente associate al cantiere finalizzato alla realizzazione dei micropali

Realizzazione micropali		
Numero	Macchinari	Ton CO ₂ eq
1	Escavatore	204
1	Autocarro	293
1	Macchina per micropali	204
Totale		702

Sommando il totale dei contributi associati a ciascun'area di cantiere, si ottiene una quantità complessiva pari a 5.225 tonnellate di CO₂ equivalente dovuta al consumo di gasolio necessaria al funzionamento dei mezzi di cantiere.

4.2.3 Emissioni relative allo Scope 2

Relativamente alle emissioni indirette di gas serra correlate al consumo di energia elettrica prelevata dalla rete, la stima della CO₂ equivalente prevede in primo luogo la conoscenza dei diversi dati di input relativi ai cantieri coinvolti.

I parametri necessari per la stima di CO₂ equivalente sono sintetizzati nella tabella che segue:

Tabella 4-9 Parametri coinvolti nella stima della CO₂ equivalente associata ad emissioni indirette dovute al consumo di energia elettrica

AREE DI CANTIERE	NUMERO AREE	POTENZA INSTALLATA	UM
Area stoccaggio	2	100	kW
Cantiere operativo- cantiere base e armamento	3	100	kW
Cantieri totali	5	500	kW
PARAMETRI D'UTILIZZO			
ore giorno		8	
fattore utilizzo		0,75	
numero di giorni		1153	
energia totale consumata sul cantiere		3.459.000	
Electricity (grid supplied - Italy) LB	kg CO ₂ eq / kWh	0,258	

Nella tabella soprastante sono mostrati i diversi parametri di input utili ai fini della stima della CO₂ equivalente. Si specifica che, per ciascuna area di cantiere, è stata considerata una potenza installata pari a 100 KW, un numero di ore giornaliere lavorative pari ad otto, con un fattore di utilizzo del 75% e un numero totale di giorni pari a quelli forniti da cronoprogramma, che ammontano a 1.153.

L'energia totale consumata dai cantieri deriva dal prodotto tra la potenza installata complessiva ed il contributo temporale derivante dal numero di ore moltiplicate a loro volta per il fattore di utilizzo ed il numero di giorni di lavorazione.

Nota dunque l'energia totale consumata ed il fattore di emissione per la produzione di energia elettrica in Italia messo a disposizione dalla pubblicazione ISPRA "Indicatori di efficienza e decarbonizzazione del sistema energetico nazionale e del settore elettrico"¹⁰, è stato possibile stimare la CO₂ equivalente prodotta dalle aree di cantiere.

Il calcolo effettuato ha condotto, sulla base dei dati di input dettagliati in Tabella 4-9, alla stima di 893 tonnellate di CO₂ equivalente.

¹⁰ Indicatori di efficienza e decarbonizzazione del sistema energetico nazionale e del settore elettrico - ISPRA (<https://www.isprambiente.gov.it/files/2021/pubblicazioni/rapporti/r343-2021.pdf>)

4.2.4 Emissioni relative allo Scope 3

Con l'obiettivo di quantificare le emissioni di CO₂ equivalente associate al trasporto di materiale da e verso i cantieri, sono state individuate le seguenti tipologie di itinerari:

- Trasporto per approvvigionamento da cava – Totale 70.000 mc;
- Trasporto di materiale in uscita per cave e siti di demolizione – 30.000 mc;
- Trasporto di materiale per produzione di calcestruzzo.

Nella Tabella 4-10 vengono riportati i dati di input necessari per il calcolo della CO₂ equivalente, diversificati a seconda della natura del sito/impianto coinvolto, considerando le distanze intercorrenti tra ciascun sito e il baricentro dell'area in cui sorgono i cantieri ed il numero di viaggi giornalieri necessari al trasporto di materiale.

Relativamente al numero di viaggi giornalieri vengono considerati:

- Per l'approvvigionamento dei materiali da cava un totale di 30 viaggi/giorno;
- per il trasporto dei materiali in uscita un numero di 16 viaggi;
- per il trasporto di materiale finalizzato alla produzione di calcestruzzo un numero di 6 viaggi giornalieri.

Tabella 4-10 Dati di input considerati per la stima della CO₂ equivalente per i siti associati al trasporto di materiale da e verso i cantieri

Sito/impianto	Distanza dal sito (Km)	N° viaggi/giorno
Siti di approvvigionamento inerti		
Cava1	77	8
Cava2	60	8
Cava3	65	6
Cava4	20	6
Cava5	13	8
Impianti di recupero		
Impianto 1	54	2
Impianto 2	19	2
Impianto 3	77	2
Discariche rifiuti inerti		
Discarica 1	20	2
Discarica 2	94	2
Discariche per rifiuti non pericolosi		
Discarica 3	69	2

Sito/impianto	Distanza dal sito (Km)	N° viaggi/giorno
Discarica 4	115	2
Discarica 5	22	2

Per il calcolo sono stati considerati i seguenti fattori di emissione ricavati tramite il sopracitato Sistema Informativo nazionale ambientale (Sinanet)¹¹ (cfr. par 4.2.1) dal quale si ricorda sono stati considerati gli indicatori relativi a camion di peso compreso tra le 20 e le 26 tonnellate di tipo Euro IV alimentati a gasolio.

Tabella 4-11 Fattori di emissione per CO₂, CH₄, N₂O e fattore di emissione complessivo (fonte: Sinanet – Banca dati dei fattori di emissione medi del trasporto in Italia (<https://fettransp.isprambiente.it/#/home>))

Tipologia mezzo	FE CO ₂ (g/Km)	FE CH ₄ (g/Km)	FE N ₂ O (g/Km)	FE Totale (g/Km)
Heavy Duty Trucks Diesel Rigid 20 - 26 t Euro IV	668,72	0,14	3,30	672,17

Si specifica come i fattori di emissione relativi a CH₄ ed N₂O siano ricavati a partire dai singoli fattori per ciascuno dei due inquinanti espressi in g/Km moltiplicati per il Global Warming Potential (GWP), l'indicatore che esprime il potenziale contributo all'effetto serra di un gas rispetto alla CO₂, calcolato su uno specifico intervallo temporale, che solitamente è pari a 100 anni, come esplicitato nel par. 4.2 .

La somma dei fattori di emissione associati ai tre gas serra conduce al fattore di emissione complessivo, mostrato nell'ultima colonna della Tabella 4-11, parametro utilizzato per la stima della CO₂ equivalente.

Stante quanto detto, il calcolo relativo alla stima della CO₂ equivalente, espressa in tonnellate, per ciascun impianto/sito coinvolto nel trasporto di materiale, per l'intera durata delle lavorazioni, si effettua moltiplicando i seguenti parametri:

- il fattore di emissione totale espresso in grammi/kilometro;

¹¹ Sinanet (Sistema informativo nazionale ambientale) – Banca dati dei fattori di emissione medi del trasporto in Italia (<https://fettransp.isprambiente.it/#/home>)

- la distanza intercorrente tra ciascun impianto ed il baricentro dell'area in cui sorgono i cantieri, espressa in chilometri;
- il numero di viaggi giornalieri effettuati da/verso i cantieri;
- la durata complessiva delle lavorazioni espressa in giorni, secondo quanto riportato nel cronoprogramma.

Dopo aver stimato il contributo di ciascun sito, il totale della CO₂ equivalente per lo scope 3 si ottiene dunque sommando i quantitativi di CO₂ equivalente in tonnellate ottenute dai vari siti/impianti.

Il calcolo effettuato per la stima della CO₂ equivalente per i diversi siti evidenzia i seguenti risultati:

Tabella 4-12 Stima della CO₂ equivalente per i siti di approvvigionamento inerti

Siti di approvvigionamento inerti			
Sito/impianto	Distanza dal sito (Km)	N° viaggi/gg	Ton CO ₂ eq
Cava 1	77	8	0,41
Cava 2	60	8	0,32
Cava 3	65	6	0,26
Cava 4	20	6	0,08
Cava 5	13	8	0,07
Totale			1,15
Totale per intera durata lavorazioni			1.325

Tabella 4-13 Stima della CO₂ equivalente per gli impianti di recupero

Impianti di recupero			
Sito/impianto	Distanza dal sito (Km)	N° viaggi/gg	Ton CO ₂ eq

Impianto 1	54	2	0,07
Impianto 2	19	2	0,03
Impianto 3	77	2	0,10
Totale			0,20
Totale per intera durata lavorazioni			231

Tabella 4-14 Stima della CO₂ equivalente per discariche rifiuti inerti

Discariche rifiuti inerti			
Sito/impianto	Distanza dal sito (Km)	N° viaggi/gg	Ton CO ₂ eq
Discarica 1	20	2	0,03
Discarica 2	94	2	0,13
Totale			0,16
Totale per intera durata lavorazioni			184

Tabella 4-15 Stima della CO₂ equivalente per rifiuti non pericolosi

Discariche per rifiuti non pericolosi			
Sito/impianto	Distanza dal sito (Km)	N° viaggi/gg	Ton CO ₂ eq
Discarica 3	69	2	0,09
Discarica 4	115	2	0,15
Discarica 5	22	2	0,03
Totale			0,28

Totale per intera durata lavorazioni	323
---	------------

Sommando i risultati ottenuti per l'intera durata delle lavorazioni associati a ciascuna delle tipologie di siti/impianti considerati si ottiene un totale pari a 2.064 tonnellate di CO₂ equivalente.

4.2.5 Quantificazione delle emissioni totali

I risultati fin qui ottenuti possono essere sintetizzati nella tabella e nel grafico che seguono, in modo da poter quantificare le emissioni totali per i tre scope esaminati ed analizzare il peso emissivo associato a ciascuno scope rispetto al totale.

Tabella 4-16 Emissioni totali di CO₂ equivalente per i tre scope esaminati

Scope	Emissioni	Sorgente	Tonnellate CO ₂ eq	Contributo %
Scope 1	Dirette	Gasolio	5.225	64%
Scope 2	Indirette	Energia elettrica	893	11%
Scope 3	Trasporti	Gasolio	2.064	25%
Totale			8.182	100%

L'analisi ha condotto dunque ad una stima totale di CO₂ equivalente per i tre scope pari a poco più di 8 mila tonnellate, con il contributo maggiore, pari al 64%, dovuto allo scope 1, seguito dallo scope 3 che ha un peso emissivo pari al 25%. Il contributo minore è invece associato allo scope 2 che contribuisce per l'11% al totale delle emissioni di CO₂ equivalente.

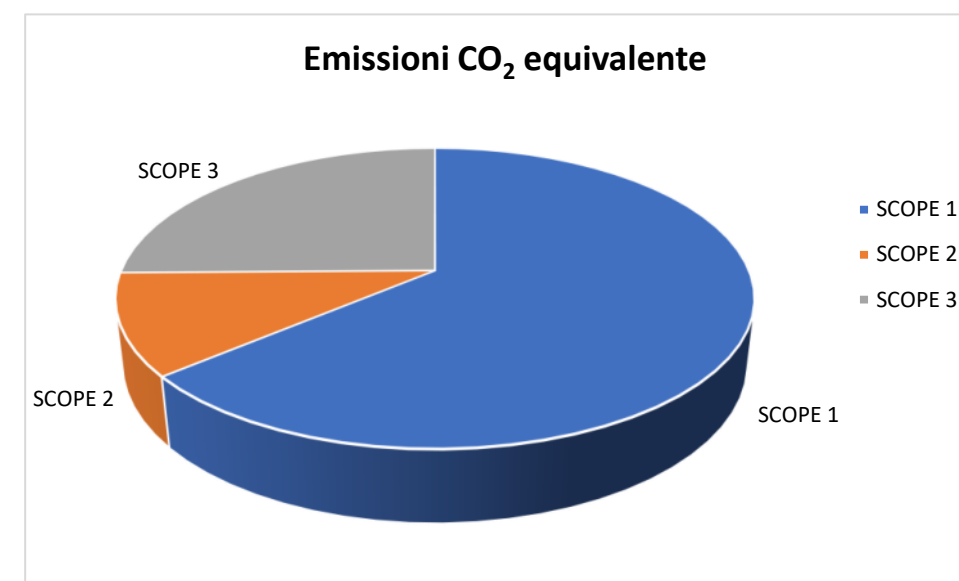


Figura 4-1 Emissioni di CO₂ equivalente per i tre scope oggetto di analisi

4.3 Azioni di mitigazione per la riduzione della CO_{2eq} emessa

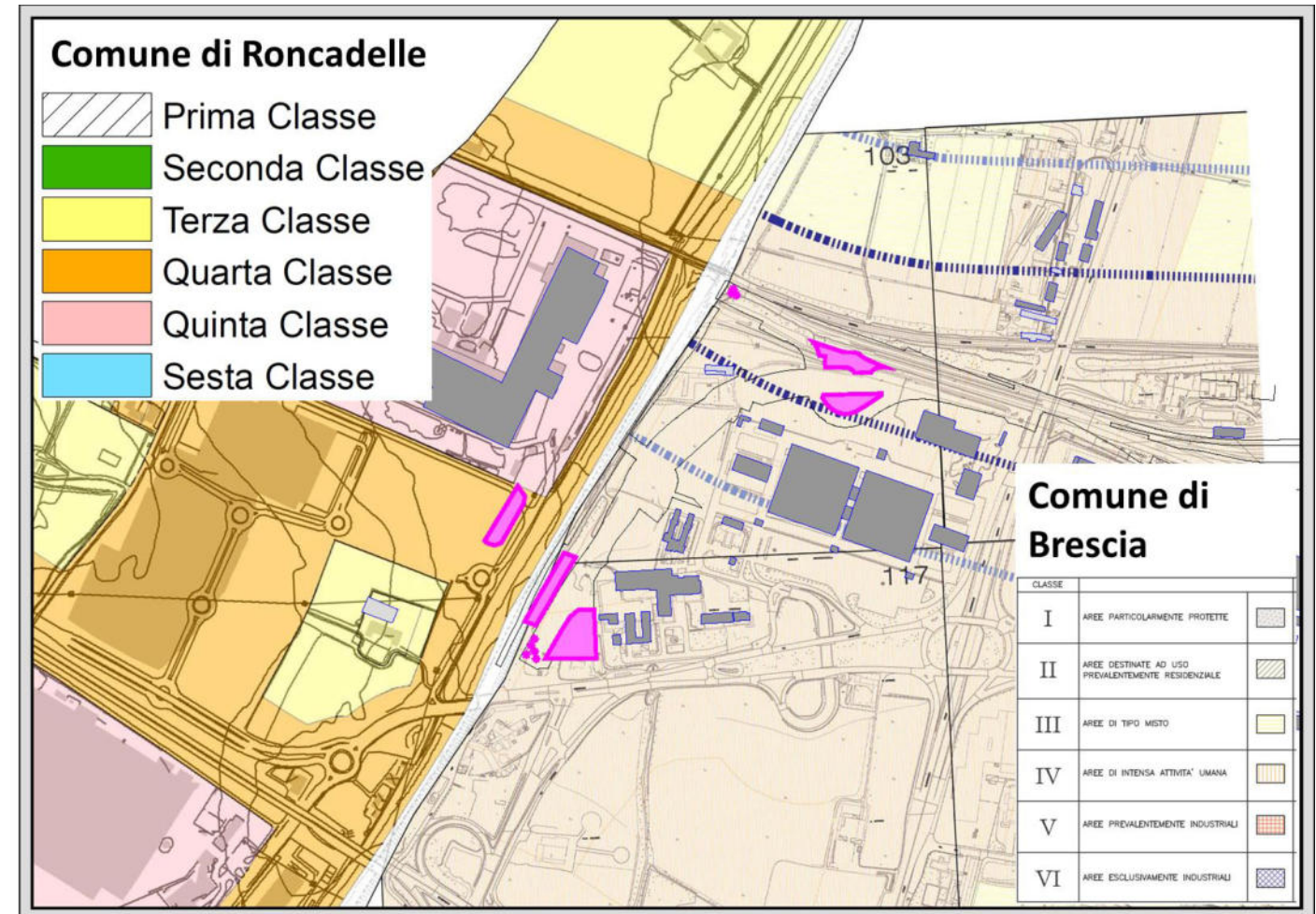
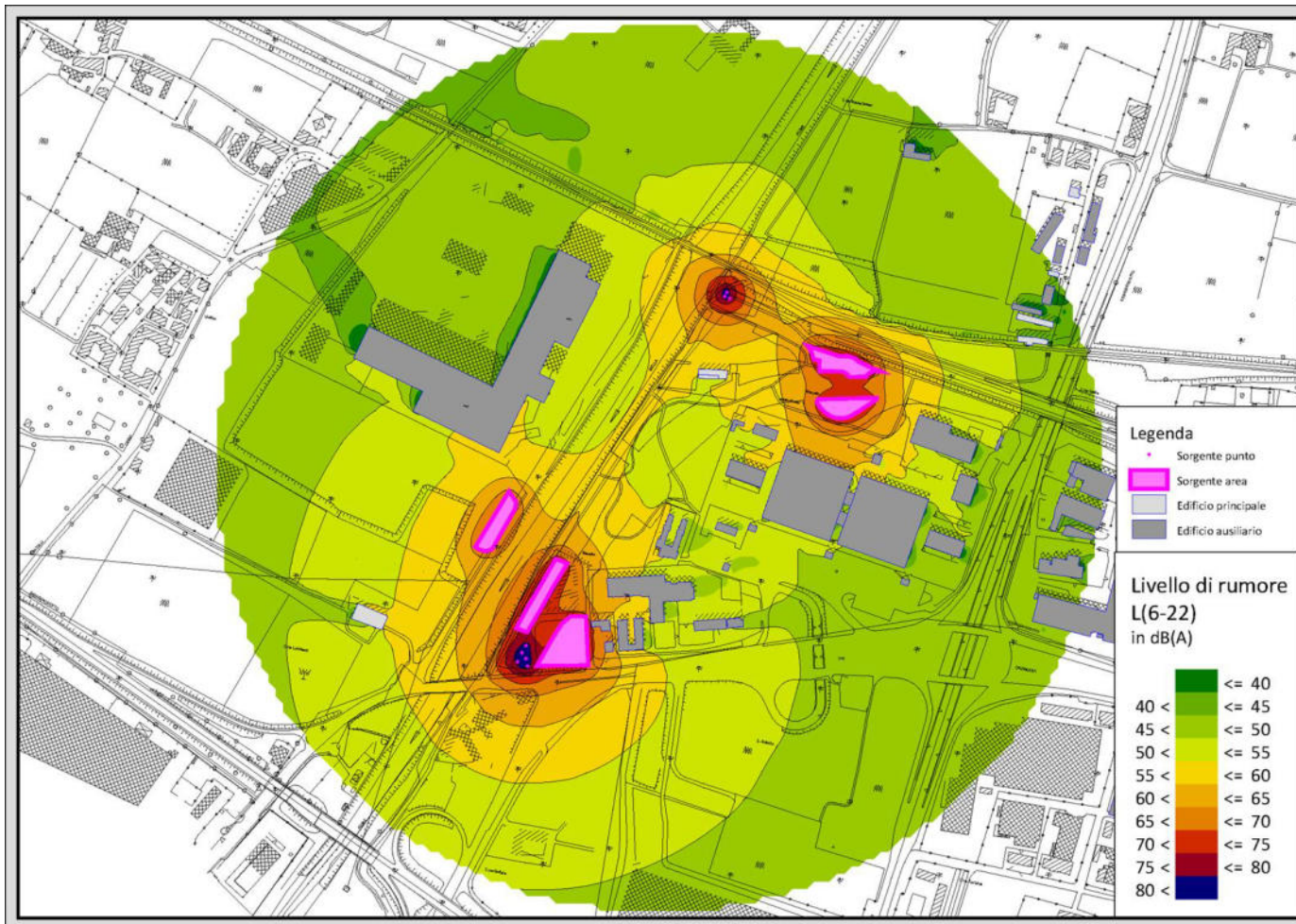
Con riferimento alle azioni di mitigazione atte a portare ad una riduzione della CO_{2eq} emessa e, con ciò, a contribuire alla riduzione degli effetti sul cambiamento climatico, occorre in primo luogo chiarire che, in tale prospettiva, la tipologia di mezzi di cantiere previste riveste un ruolo centrale e pressoché esclusivo rispetto al panorama delle azioni possibili.

Assunto che la scelta della tipologia dei mezzi rappresenta un aspetto in capo all'Appaltatore e che, in ragione di ciò, non è possibile operarne la definizione nella presente fase progettuale, occorre rilevare che, nel settore dei mezzi di cantiere, il processo di transizione dai motori a combustione a quelli elettrici è ancora nella fase iniziale, dovendo confrontarsi con problematiche legate alla potenza richiesta ed alla necessaria autonomia di lavoro in luoghi che, per loro stessa natura, non sono a ciò strutturati.

Posto che proprio detto ultimo aspetto riveste un'importanza centrale nel caso in specie, in relazione alle modeste dimensioni dell'intervento in progetto, in via preventiva è possibile ritenere che, laddove tecnicamente possibile, si può effettuare un passaggio da mezzi a mezzi con motore Diesel all'utilizzo di mezzi ibridi.

5. ALLEGATI

5.1 Allegato 1 - Mappe di rumore ante mitigazione



5.2 Allegato 2 - Mappe di rumore post mitigazione

