

COMUNE DI CAGLIARI

PROGETTO:

Proposta avente ad oggetto la progettazione, costruzione e gestione, in regime di concessione ed in condizioni di equilibrio economico-finanziario del nuovo stadio, ai sensi dell'articolo 1, comma 304, lettera b) della Legge n. 147 del 27 dicembre 2013



PROPONENTE:

Comune di Cagliari

Responsabile Unità Progetto Nuovo Stadio Sant'Elia
Responsabile Unico di Procedimento

Ing. Daniele Olla

Protocollo N.0190429/2023 del 26/06/2023

Oggetto: Proposta per l'affidamento della concessione per la realizzazione e gestione, in condizioni di equilibrio economico finanziario, del nuovo Stadio di Cagliari, ai sensi dell'art. 1, comma 304, della Legge di Stabilità 2014 - Dichiarazione di pubblico interesse - Conferenza dei servizi decisoria - Domanda di autorizzazione ai sensi dell'art. 146 del D.Lgs. n. 42/04 - Richiesta di integrazione atti
Ubicazione: Comune di Cagliari, Località Stadio Sant'Elia.
Richiedente: Comune di Cagliari - Servizio Opere Strategiche, Mobilità, Infrastrutture e Reti.
Posizione: 2023-1152

TEAM DI PROGETTAZIONE:

progettazione architettonica 	progettazione strutture 	progettazione impianti tecnologici 	progettazione sicurezza antincendio
integrazione prestazioni specialistiche 	specialista impianti sportivi 	opere di demolizione 	urbanistica e procedura V.I.A.
consulenza acustica 	consulenza paesaggistica 	consulenza viabilistica 	consulenza ambientale

FASE PROGETTUALE:

PROGETTO DEFINITIVO

TITOLO / DESCRIPTION:

Studio Diffusionale emissioni
in atmosfera

REDATTO DA :

CONTROLLATO DA :

DATA 14/06/2024

SCALA --

COMMESSA	FASE	EMISSIONE	LIVELLO	DISCIPLINA	TIPO	PROGRESSIVO	REVISIONE
3053	D	AMB	X	AMB	RE	010	00

*“Nuovo Stadio di Cagliari – Studio di Impatto Ambientale (SIA)
Studio Diffusionale emissioni in atmosfera*

SOMMARIO

1	DESCRIZIONE DEL CONTESTO AMBIENTALE E TERRITORIALE	1
1.1	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	1
1.1.1	<i>Normativa regionale.....</i>	1
1.2	CLIMATOLOGIA E METEOROLOGIA.....	1
1.2.1	<i>Climatologia</i>	1
1.2.2	<i>Cenni di climatologia regionale</i>	3
1.2.3	<i>Dati metereologici locali.....</i>	8
1.3	CARATTERIZZAZIONE METEOCLIMATICA.....	9
1.4	ZONIZZAZIONE E CLASSIFICAZIONE DEL TERRITORIO PER QUALITÀ DELL’ARIA.....	11
1.5	RETE DI MONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DELL’ARIA E SCELTA DELLA CENTRALINA PER LE SIMULAZIONI MODELLISTICHE.....	16
1.5.1	<i>La rete di monitoraggio</i>	16
1.5.2	<i>La scelta della centralina per le simulazioni modellistiche</i>	18
1.6	STATO DELLA QUALITÀ DELL’ARIA.....	19
2	SCENARIO EMISSIVO	21
2.1	SCENARIO DI ESERCIZIO.....	21
2.2	SCENARIO DI CANTIERE	24
2.2.1	<i>emissioni inquinanti.....</i>	24
2.2.2	<i>Fattori di emissione</i>	25
3	MODELLISTICA DIFFUSIONALE.....	30
3.1	SCENARIO DI ESERCIZIO.....	30
3.1.1	<i>CALINE 4</i>	30
3.2	EQUAZIONE PER IL CALCOLO DELLA CONCENTRAZIONE.....	32
3.2.1	<i>I coefficienti di dispersione verticale ed orizzontale</i>	33
3.2.2	<i>Applicazione del codice Caline.....</i>	34
3.2.3	<i>Applicazione GIS e redazione delle mappe di concentrazione</i>	36
4	SCENARIO DI CANTIERE	38
4.1	CALPUFF	38
4.2	CONFIGURAZIONE CODICE DI CALCOLO.....	39
4.3	DOMINIO DI CALCOLO E SCHEMA DI MODELLAZIONE	39
4.4	PARAMETRI DI CALCOLO.....	39
5	RISULTATI.....	41
5.1	SCENARIO DI ESERCIZIO.....	41
5.2	SCENARIO DI CANTIERE	45
6	CONCLUSIONI.....	49

INDICE FIGURE

Figura 1: temperatura media annua (Fonte: documento ISPRA "Gli indicatori del clima in Italia nel 2020 - Anno XVI").....	2
Figura 2: Precipitazione cumulata annua (Fonte: documento ISPRA “Gli indicatori del clima in Italia nel 2021 – Anno XVII – Stato dell’Ambiente 98/2022”).....	3
Figura 3: Mappa delle temperature medie della Sardegna su base climatologica 1981-2000 (fonte: Sardegna Clima Onlus).....	5
Figura 4: Media delle precipitazioni in Sardegna – 1981-2010 (Fonte Arpas).	6
Figura 5: : precipitazioni medie annuali anni 1922 – 1991 (fonte: Sardegna clima).....	7
Figura 6: velocità media del vento a 25m slm (fonte Atlante eolico nazionale)	8
Figura 7: Rosa dei venti dell’anno 2022 per la stazione dell’aeroporto di Cagliari.	10
Figura 8: Serie temporale orarie della velocità dei venti dell’anno 2022 per la stazione dell’aeroporto di Cagliari.	10
Figura 9: Serie temporale orarie della velocità dei venti dell’anno 2022 per la stazione dell’aeroporto di Cagliari.	11
Figura 10: Composizione dell’agglomerato di Cagliari (IT2007) (fonte: Relazione annuale sulla qualità dell’aria in Sardegna per l’anno 2021 – Arpa Sardegna)	12
Figura 11: Composizione delle zone di qualità dell’aria individuate ai sensi del D.Lgs. 155/2010 (fonte: Relazione annuale sulla qualità dell’aria in Sardegna per l’anno 2021 – Arpa Sardegna)	13
Figura 12: Mappa di zonizzazione per la Regione Sardegna (fonte: Relazione annuale sulla qualità dell’aria in Sardegna per l’anno 2021 – Arpa Sardegna).....	14
Figura 13: Zona Ozono (fonte: Relazione annuale sulla qualità dell’aria in Sardegna per l’anno 2021 – Arpa Sardegna).....	15
Figura 14: Rete di monitoraggio della qualità dell’aria per l’anno 2021 nella regione Sardegna (fonte: Relazione annuale sulla qualità dell’aria in Sardegna per l’anno 2021 – Arpa Sardegna)	17
Figura 15: Inquinanti monitorati dalle stazioni appartenenti alla rete di monitoraggio della qualità dell’aria della Regione Sardegna (Le stazioni appartenenti alla rete di misura per la valutazione della qualità dell’aria sono evidenziate in grassetto) (fonte: Relazione annuale sulla qualità dell’aria in Sardegna per l’anno 2021 – Arpa Sardegna)	18
Figura 16: Posizione delle stazioni di misura dell’agglomerato di Cagliari (fonte: Relazione annuale sulla qualità dell’aria in Sardegna per l’anno 2021 – Arpa Sardegna)	19
Figura 17: Percorsi traffico indotto – scenario attuale.....	22
Figura 18: Percorsi traffico indotto – scenario futuro.....	22
Figura 19: Schema a blocchi INPUT/OUTPUT del codice CALINE4.	30
Figura 20: Schematizzazione della sorgente in CL4.....	31
Figura 21: Caratteristiche geometriche e di circolazione dell’aria in un canyon urbano.....	32
Figura 22: Schema della dispersione gaussiana in un sistema di riferimento orientato secondo il vento	33
Figura 23: Vista dei piani (x,z) e (x,y) dello schema di dispersione gaussiana in un sistema di riferimento orientato secondo il vento.	33

*"Nuovo Stadio di Cagliari – Studio di Impatto Ambientale (SIA)
Studio Diffusionale emissioni in atmosfera*

Figura 24: Arco stradale e parametri considerati dal modello CALINE4	36
Figura 25: NOX concentrazione oraria valutata come 99.8°percentile su base annuale - scenario attuale... 42	42
Figura 26: NOX concentrazione oraria valutata come 99.8°percentile su base annuale - scenario futuro. ... 42	42
Figura 27: NOX concentrazione media annuale - scenario attuale. 43	43
Figura 28: NOX concentrazione media annuale - scenario futuro. 43	43
Figura 29: PM10 concentrazione media annuale - scenario attuale. 44	44
Figura 30: PM10 concentrazione media annuale - scenario futuro. 44	44
Figura 31: PM10 concentrazione media giorno valutata come 90.4°percentile su base annuale - scenario attuale..... 45	45
Figura 32: PM10 concentrazione media giorno valutata come 90.4°percentile su base annuale - scenario futuro..... 45	45
Figura 33: NOX concentrazione oraria valutata come 99.8°percentile su base annuale - scenario cantiere. 46	46
Figura 34: NOX concentrazione media annuale - scenario cantiere. 47	47
Figura 35: PM10 concentrazione media annuale - scenario cantiere. 47	47
Figura 36: PM10 concentrazione media giorno valutata come 90.4°percentile su base annuale - scenario cantiere..... 48	48

INDICE TABELLE

Tabella 1: Valori di concentrazione registrati dalla centralina di Cagliari – Via Cadello nel 2021 (fonte: Relazione annuale sulla qualità dell'aria in Sardegna per l'anno 2021 – Arpa Sardegna)	19
Tabella 2: Fattori di emissione dei mezzi pesanti (fonte ISPRA)	23
Tabella 3: emissioni orarie sul dominio	23
Tabella 4: Domini di calcolo per la dispersione	39
Tabella 5: Configurazione CALPUFF per le sorgenti	40

1 DESCRIZIONE DEL CONTESTO AMBIENTALE E TERRITORIALE

1.1 Normativa di riferimento

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

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

1.1.1 Normativa regionale

- D.G.R. n. 2130 del 13.12.2021 Ulteriori misure straordinarie in materia di tutela della qualità dell'aria e proroga del Piano Aria Integrato regionale
- D.G.R. n. 189 del 15.02.2021 Ulteriori disposizioni straordinarie in materia di tutela della qualità dell'aria
- D.G.R. n. 1523 del 02.11.2020 Disposizioni in materia di pianificazione sulla tutela della qualità dell'aria
- D.G.R. n. 33 del 13.01.2021 Disposizioni straordinarie in materia di tutela della qualità dell'aria.

1.2 Climatologia e meteorologia

1.2.1 Climatologia

In primo luogo, al fine di caratterizzare la componente aria e clima da un punto di vista meteoclimatico, 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 2021 – Anno XVII – Stato dell'Ambiente - 98/2022", dal quale è stato possibile valutare le temperature e le precipitazioni medie annue registrate nell'anno 2021 relative all'intero territorio nazionale.

Regime Termico

Il primo indicatore climatico analizzato è rappresentato dalla Temperatura. In merito al territorio regionale della Regione Sardegna, le temperature medie annue registrate nell'anno 2021 si attestano tra i 13 ed i 17 °C ed in particolare, per quanto concerne la zona coinvolta dal progetto in esame, le temperature medie registrate si aggirano nell'intorno dei 14-17°C, come si osserva in **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**

*"Nuovo Stadio di Cagliari – Studio di Impatto Ambientale (SIA)
Studio Diffusionale emissioni in atmosfera*

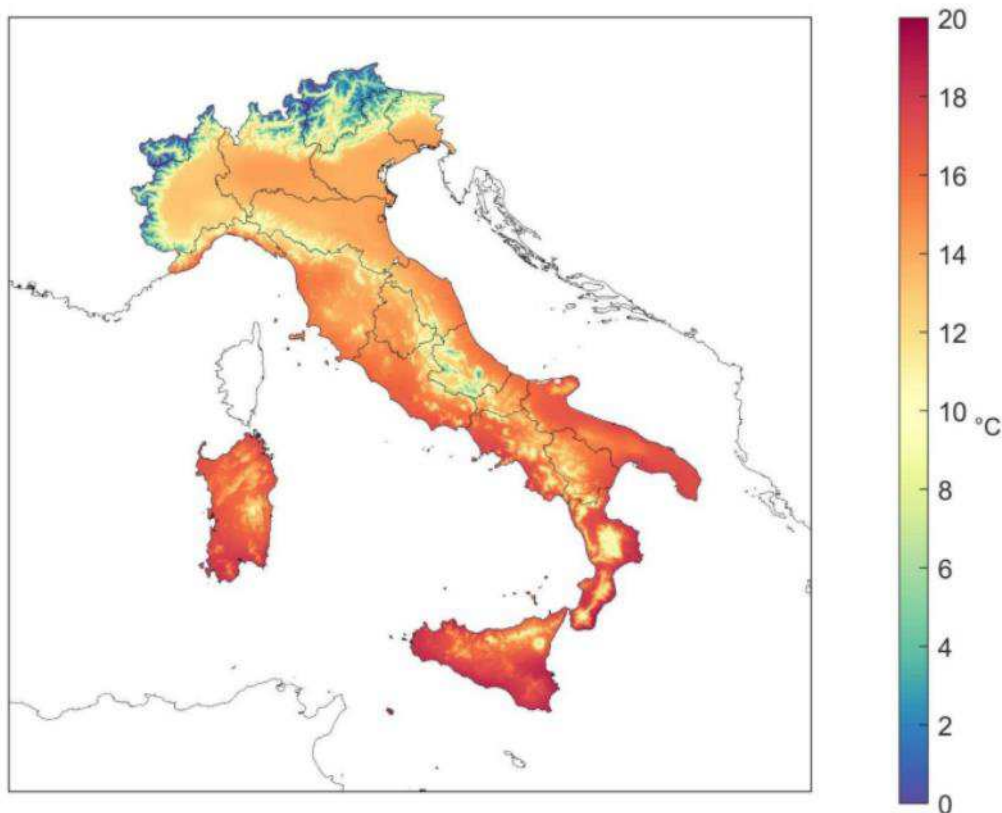


Figura 1: temperatura media annua (Fonte: documento ISPRA "Gli indicatori del clima in Italia nel 2020 - Anno XVI")

Regime Pluviometrico

In relazione alle precipitazioni registrate nell'anno 2021, rilevate dalle stazioni ricadenti sul territorio nazionale è possibile far riferimento alla seguente figura. Nello specifico, per quanto attiene la Regione Sardegna le precipitazioni non molto abbondanti hanno registrato un valore cumulato compreso tra i 600 mm e i 1.000 mm.

*"Nuovo Stadio di Cagliari – Studio di Impatto Ambientale (SIA)
Studio Diffusionale emissioni in atmosfera*

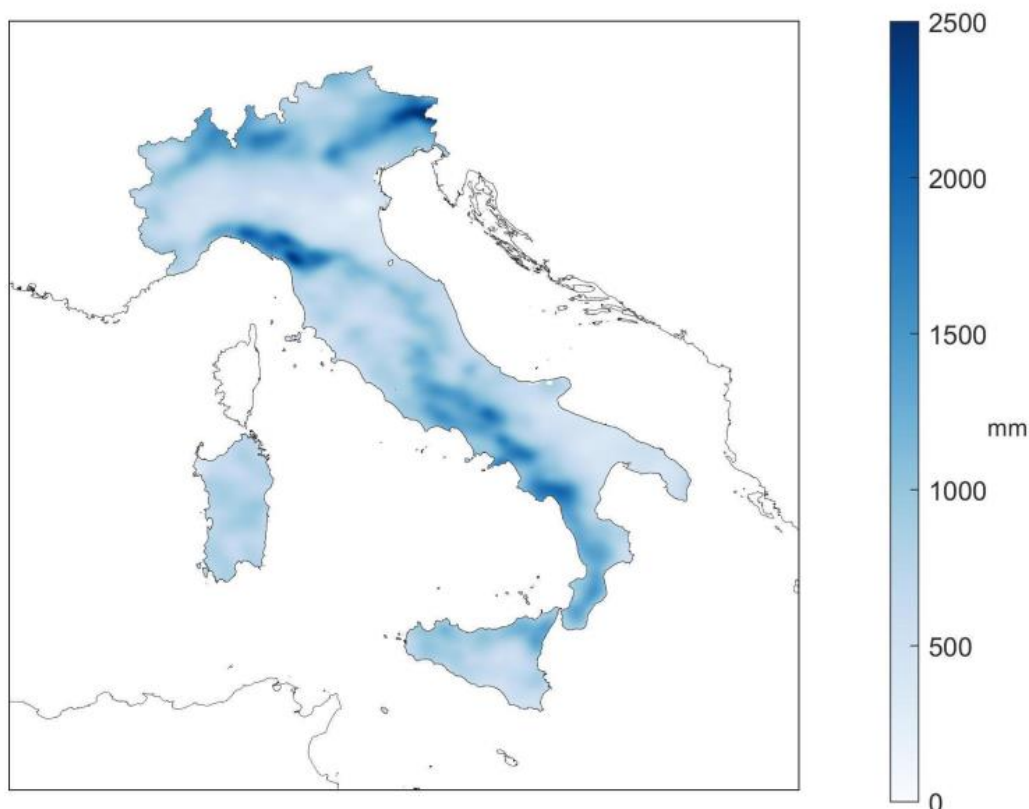


Figura 2: Precipitazione cumulata annua (Fonte: documento ISPRA "Gli indicatori del clima in Italia nel 2021 – Anno XVII – Stato dell'Ambiente 98/2022")

1.2.2 Cenni di climatologia regionale

L'informazione sul clima in Sardegna sono state estratte dal sito Sardegna clima onlus. La rete meteorologica di Sardegna Clima Onlus con oltre 110 centraline installate rappresenta la più completa e capillare rete gratuita di monitoraggio in Sardegna. Le stazioni di modello Davis sono installate secondo normative WMO (World Meteorological Organization) e trasmettono in tempo reale ogni 5 minuti i principali parametri meteo.

Il clima della Sardegna è statisticamente riconducibile al clima di tipo mediterraneo. Tale classificazione è valida per gran parte dell'isola, fanno tuttavia eccezione alcune aree interne quali altopiani e vallate sui rilievi principali che presentano invece caratteristiche più continentali anche in virtù della loro maggiore distanza dal mare.

Il clima è nel complesso piuttosto mite, sebbene durante l'arco dell'anno si possono registrare valori minimi invernali di alcuni gradi al di sotto dello zero con parecchie giornate di ghiaccio e massimi estivi sovente superiori ai +40 °C.

Le piogge, che sono distribuite in maniera piuttosto variabile ed irregolare, risultano essere di scarsa entità lungo le coste, con valori medi compresi tra i 400 mm (costa meridionale) e i 500–600 mm annui; in particolare, nell'estremo sud-est la stazione AM di Capo Carbonara fa registrare il valore meno piovoso in

*"Nuovo Stadio di Cagliari – Studio di Impatto Ambientale (SIA)
Studio Diffusionale emissioni in atmosfera*

Italia, con una media di 266 mm annui. Nelle aree interne la piovosità media è di 700–800 mm. In prossimità dei rilievi montuosi si registrano i maggiori valori pluviometrici che raggiungono e superano i 1000 mm annui e con locali picchi superiori ai 1300–1400 mm nelle zone collinari e montuose a ridosso dei rilievi orientali dell'isola.

Sui massicci montuosi nei mesi invernali nevica piuttosto di frequente con temperature scendono sotto lo zero, mentre nella stagione estiva il clima si mantiene fresco, soprattutto durante le ore notturne, e raramente fa caldo per molti giorni consecutivi.

Temperature

La Sardegna gode essenzialmente di un tipico clima Mediterraneo, tuttavia la posizione particolare, interamente circondata dal mare e lontana dai continenti, rendono l'isola soggetta a una accentuata variabilità termica, tra i versanti, in occasione di ondate di calore o di freddo. A livello medio il clima isolano è molto mite, persino nella stagione fredda. Cagliari ha le medie termiche invernali tra le più elevate di Italia, superata solo da alcune località costiere della Sicilia, mentre Carloforte ha delle medie che eguagliano i valori raggiunti in Sicilia. Le ondate di freddo giungono attenuate nel corso del loro passaggio sul Mediterraneo; tuttavia, se l'aria fredda si presenta secca (venti da nord est), l'accumulo di questa in ristretti territori dal clima maggiormente continentale (fondovalle di zone interne), può provocare valori estremi di temperatura minima, compresi tra i -5°C e i -10°C. Le correnti fredde da nord ovest sono invece più umide e il più delle volte portatrici di neve, abbondante e piuttosto frequente nel trimestre invernale, sopra i 1400 metri di quota. La vicinanza con l'Africa rende comunque l'isola soggetta a frequenti irruzioni di aria calda, dal Nord Africa. Gli effetti di queste sono minimi nel trimestre invernale, quando il Sahara presenta valori di temperatura piuttosto miti, tuttavia nei restanti mesi le irruzioni di aria calda da sud, possono portare al raggiungimento di temperature molto elevate.

*"Nuovo Stadio di Cagliari – Studio di Impatto Ambientale (SIA)
Studio Diffusionale emissioni in atmosfera*

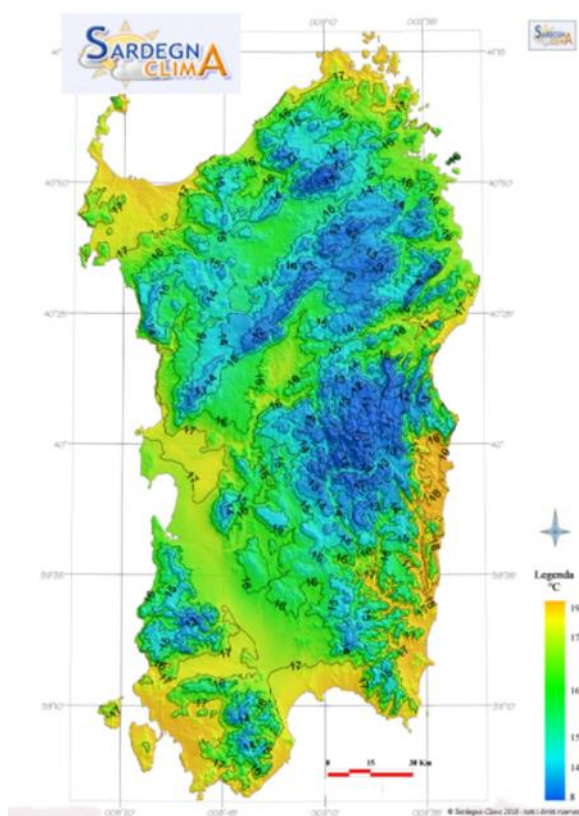


Figura 3: Mappa delle temperature medie della Sardegna su base climatologica 1981-2000 (fonte: Sardegna Clima Onlus)

Il vento caldo per eccellenza è lo scirocco, l'aria calda che questo trasporta, si inumidisce negli strati inferiori, mantenendo relativamente bassi i valori di temperatura nel sud Sardegna e nella costa orientale. Questo strato fresco e umido è alto solitamente poche centinaia di metri e sopra di esso scorre veloce, aria secca e molto calda. Tuttavia, nel passaggio, della massa d'aria, nell'entroterra, questa subisce un rimescolamento tra strati superiori e inferiori, lo strato fresco e mite sparisce e l'aria calda delle quote superiori, portata verso il basso, si riscalda per compressione adiabatica. Il risultato è un'aria molto calda e secca, ulteriormente riscaldata dal calore emesso dall'entroterra per irraggiamento.

Lo scirocco è perciò visto come un vento caldo, da tutta la popolazione dell'isola, a prescindere dai dati termici, a causa del fatto che nella costa meridionale e orientale si presenta afoso, ma con bassi valori di temperatura, mentre nella costa settentrionale e occidentale questo è torrido e con altissimi valori di temperatura. Nelle zone interne e in montagna, le temperature sono comunque alte, perché lo scirocco mostra alti valori termici soprattutto alle medie quote (tra i 800 e i 1500 metri). Le temperature estreme registrate in Sardegna, si devono proprio a questo vento, quando nelle vallate del centro dell'isola, in piena estate, si toccano i +45°C.

Più rare sono le libecciate, in questo caso l'afa con limitati valori termici, raggiunge anche la costa occidentale, mentre un clima torrido, con alti valori di temperatura interessa parte della costa orientale e buona parte del nord dell'isola.

*“Nuovo Stadio di Cagliari – Studio di Impatto Ambientale (SIA)
Studio Diffusionale emissioni in atmosfera*

Si possono però avere ondate di caldo locali, a causa di venti di maestrale. In questo caso la massa d'aria in arrivo deve essere secca e deve essere accompagnata da un debole gradiente termico all'aumentare della quota. Venti di caduta si abbattano sulla costa orientale, dove si possono raggiungere i +25°C anche in pieno inverno, un'altra zona interessata dal fenomeno è il basso Sulcis, dove con tale configurazione i 20°C sono a portata di mano anche nella stagione fredda.

Precipitazioni

La Sardegna presenta una piovosità in media scarsa e irregolare la quale però rispetta in linea generale alcune regole dettate dalla circolazione atmosferica generale.

Nel clima dell'isola si possono individuare una stagione secca e una stagione piovosa, la prima va dal mese di maggio a quello di settembre, la seconda da ottobre ad aprile. Tuttavia, la stagione secca si può estendere facilmente fino al mese di novembre o cominciare direttamente già da aprile, specialmente nelle zone più meridionali dell'isola. Il grafico seguente riporta l'andamento annuale delle precipitazioni in Sardegna su base dati climatologica nel periodo 1981-2010 (ARPAS). Si nota come aprile sia il mese più piovoso della Primavera, novembre quello più piovoso dell'anno. Sono riportati anche i valori delle stazioni rispettivamente più piovosa (Desulo) e più secca (Sestu) tra le postazioni ARPAS.

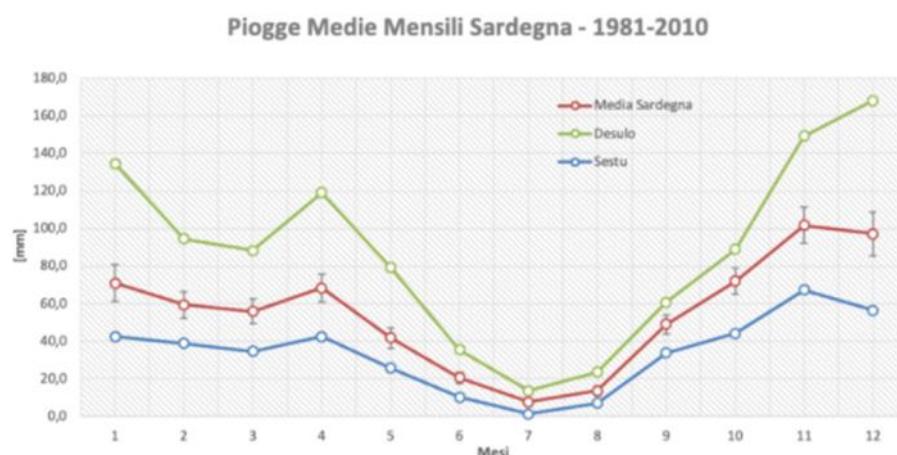


Figura 4: Media delle precipitazioni in Sardegna – 1981-2010 (Fonte Arpas).

Un ruolo importantissimo nella distribuzione delle piogge lo giocano i rilievi, ma è da considerare anche la posizione dell'isola, rispetto alle traiettorie prevalenti delle depressioni, portatrici di piogge.

Sarà piuttosto semplice intuire come le zone con la piovosità minore siano quelle più lontane dai rilievi e con la posizione più meridionale. La località più secca dell'isola si è scoperto essere Capo Carbonara (381 mm), ma questa vede una piovosità ridotta nella ristretta zona del capo, poiché già nei pressi delle montagne adiacenti a Villasimius, la piovosità aumenta fino a oltre 550 mm annui. La seconda località più secca è Capo Sperone (386 mm) a Sant'Antioco, e anche per questa si associano una posizione particolarmente meridionale a una relativa lontananza dai rilievi.

*"Nuovo Stadio di Cagliari – Studio di Impatto Ambientale (SIA)
Studio Diffusionale emissioni in atmosfera*

Oltre alle ristrette zone con pluviometrie estremamente basse, come quelle appena citate, esiste nell'isola una zona estesa con una pluviometria molto bassa e di poco superiore ai 400 mm annuali medi, si tratta della parte centrale del basso Campidano. Per questa zona sono parecchie le cause che determinano la carenza di piogge, la prima è senz'altro, la posizione meridionale a cui si associa la posizione pianeggiante relativamente lontana dai rilievi, che non permette significativi incrementi da stau negli apporti precipitativi. La terza causa della carenza di piogge è la posizione sottovento rispetto alle correnti principali, che interessano l'isola, cioè il Maestrale (NW), Ponente (W) e Libeccio (SW), ma pure rispetto a correnti meno frequenti, ma che sono foriere di piogge abbondanti invece per la costa orientale, come il Grecale (NE) e il Levante (E). Le piogge maggiori, perciò, sono portate in questa zona dallo scirocco, che però non si presenta con una frequenza necessaria a portare parecchie giornate piovose. La maggior parte delle località rientra comunque in una zona con pluviometrie mediamente abbondanti, sia per la posizione, sia per la quota. Essendo la maggior parte dei paesi, collocati a una quota di circa 300-500 metri, notiamo in questi una quantità di precipitazione oscillante tra i 700 e gli 800 mm annuali. I 1000 mm annuali vengono raggiunti solamente a quote prossime ai 900 metri e si calcola che sopra i 1400 metri la media possa essere di 1500 mm/anno. La località monitorata maggiormente piovosa è Valliciola (1343 mm), alle pendici del Limbara, ma accumuli simili si riscontrano pure a quote inferiori nel versante Orientale del Gennargentu, come dimostrano i dati di Correboi (1285 mm) e Sicca d'Erba (1265 mm).

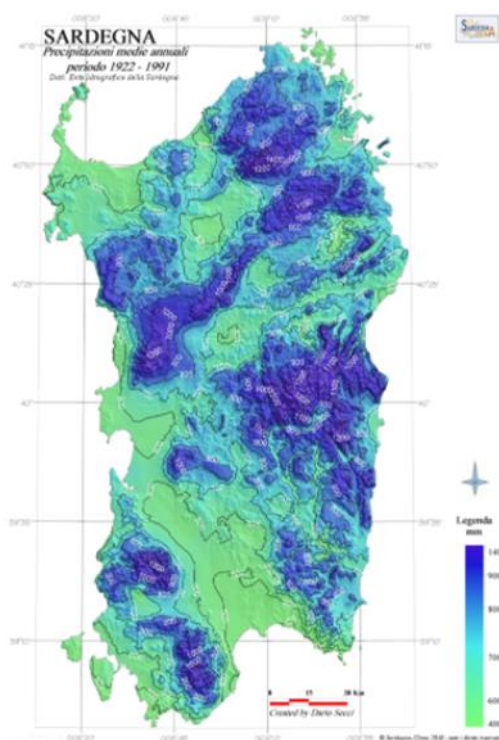


Figura 5: : precipitazioni medie annuali anni 1922 – 1991 (fonte: Sardegna clima)

"Nuovo Stadio di Cagliari – Studio di Impatto Ambientale (SIA)
Studio Diffusionale emissioni in atmosfera

Venti

Una caratteristica importante del clima della Sardegna è la frequenza dei venti. Sono rari i giorni privi di vento. Il maestrale e il ponente sono i venti forti che spirano con maggior frequenza e in tutte le stagioni. In estate aumenta la frequenza dei venti dei quadranti meridionali.

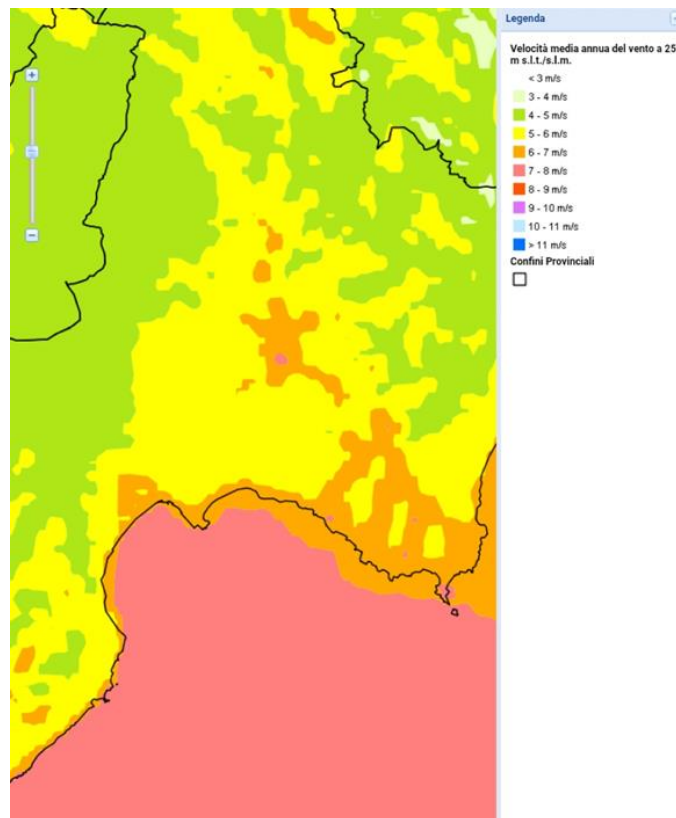


Figura 6: velocità media del vento a 25m s.l.m. (fonte Atlante eolico nazionale)

1.2.3 Dati meteorologici locali

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:

1. 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;
1. la percentuale di condizioni atmosferiche stabili (%), che esprime con quale frequenza lo strato superficiale risulta stabile e quindi meno favorevole alla dispersione degli inquinanti;

2. la velocità del vento (m/s), determinante per la dispersione, e la direzione del vento (gradi), utile per valutare il trasporto degli inquinanti.

1.3 Caratterizzazione meteorologica

La caratterizzazione meteorologica viene effettuata sulla base dei dati messi a disposizione dalle stazioni meteorologiche dell'Aeroporto di Cagliari e dell'Aeroporto di Capo Frasca a nord di Oristano.

Queste stazioni hanno disponibilità di dati orari elaborabili sull'orizzonte di tempo dell'anno preso a riferimento il 2022.

Inoltre, si può considerare che la stazione dell'aeroporto di Cagliari risulta la stazione più idonea per la descrizione meteorologica dell'area sottoposta agli interventi in oggetto. Essa dista dall'area di studio circa un chilometro 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.

Di seguito si riportano le serie temporali dei principali parametri meteorologici misurati dalle stazioni al fine di caratterizzare l'area di studio.

Si mostrano le rose dei venti per l'anno 2022 che descrivono il regime anemologico per la stazione considerata. Come evidente per entrambe le stazioni le direzioni prevalenti sono venti da NORD (Cagliari) e da SUD (Cagliari). L'intensità del vento, come mostrata nelle figure seguenti di serie temporale dei dati sono comprese tra 1 e 12 m/s a Cagliari.

"Nuovo Stadio di Cagliari – Studio di Impatto Ambientale (SIA)
Studio Diffusionale emissioni in atmosfera

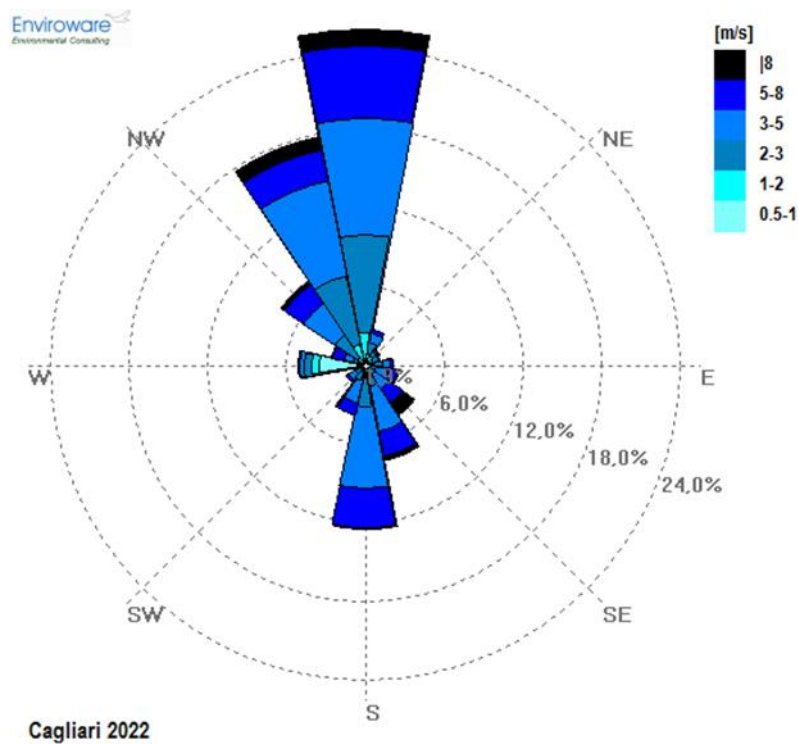


Figura 7: Rosa dei venti dell'anno 2022 per la stazione dell'aeroporto di Cagliari.

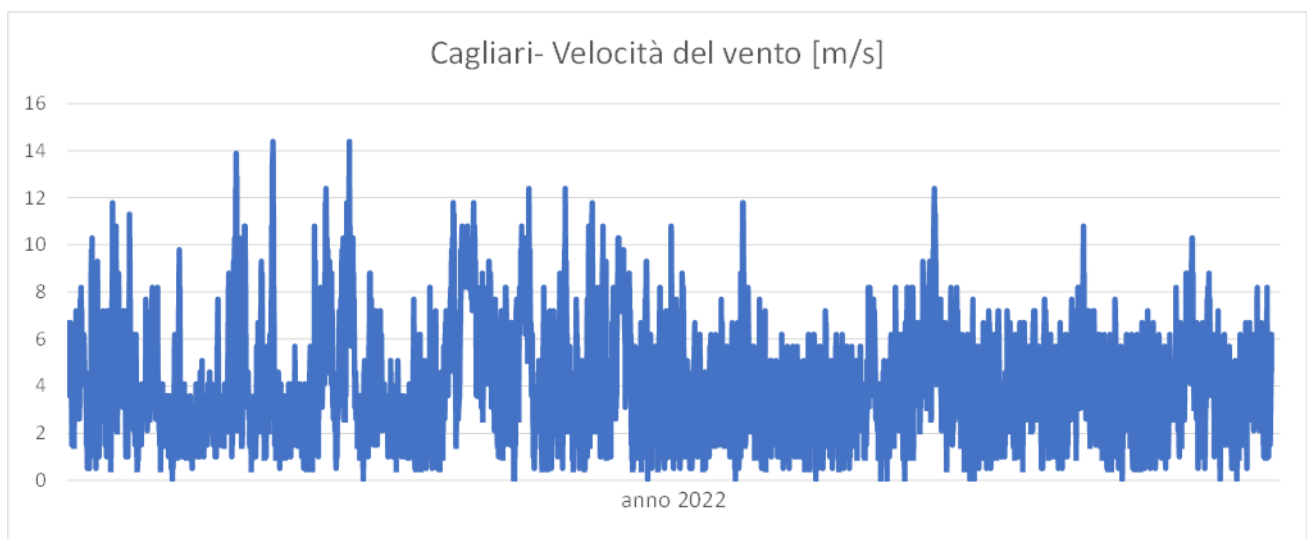


Figura 8: Serie temporale orarie della velocità dei venti dell'anno 2022 per la stazione dell'aeroporto di Cagliari.

*"Nuovo Stadio di Cagliari – Studio di Impatto Ambientale (SIA)
Studio Diffusionale emissioni in atmosfera*

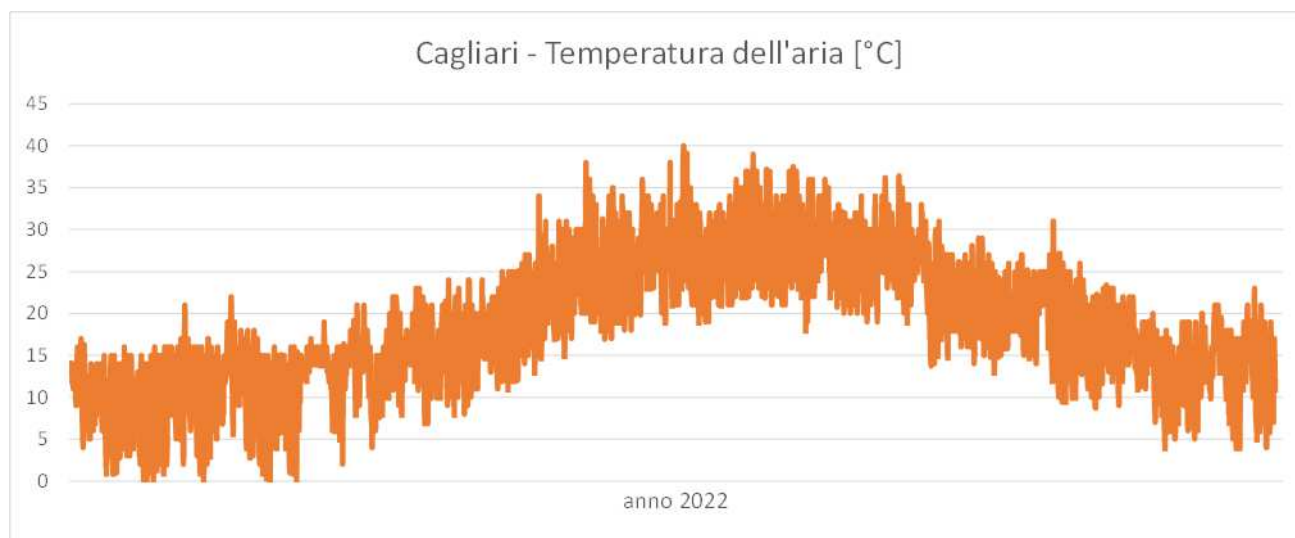


Figura 9: Serie temporale orarie della velocità dei venti dell'anno 2022 per la stazione dell'aeroporto di Cagliari.

Il valore medio della velocità del vento è pari a 4 m/s mentre quello della temperatura dell'aria è pari a circa 18°C su base annuale. Il valori massimi del vento risultano pari a 14 m/s e quelli della temperatura rivelano escursioni termiche contenute da valori di circa 0°C al massimo a 40°C.

1.4 Zonizzazione e classificazione del territorio per qualità dell'aria

Il decreto legislativo n. 155 del 13 agosto 2010, *"Attuazione della direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa"* ha ridefinito i criteri che le Regioni sono tenute a seguire per la suddivisione dei territori di competenza in zone di qualità dell'aria, allo scopo di assicurare omogeneità alle procedure applicate su tutto il territorio nazionale.

Al fine di conformarsi alle disposizioni del decreto e collaborare al processo di armonizzazione messo in atto dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare tramite il coordinamento istituito all'articolo 20 del D.Lgs. 155/2010, la Regione Sardegna ha provveduto ad elaborare la zonizzazione e classificazione del territorio regionale, approvata con la deliberazione della Giunta Regionale del 10/12/2013, n. 52/19, recante *"D.Lgs. 13/08/2010 n. 155, articoli 3 e 4. Zonizzazione e classificazione del territorio regionale"*.

Successivamente, con la deliberazione della Giunta Regionale n.52/42 del 23/12/2019, la Regione Sardegna ha provveduto ad aggiornare la classificazione col documento *"Riesame della classificazione delle zone e dell'agglomerato ai fini della valutazione della qualità dell'aria ambiente ai sensi del D.Lgs. 155/2010 e ss.mm.ii."*

La zonizzazione vigente, relativa alla protezione della salute umana, individua le zone e gli agglomerati ai sensi dell'art. 3, commi 2 e 4, e secondo i criteri specificati nell'appendice 1 del D.Lgs. 155/2010.

*“Nuovo Stadio di Cagliari – Studio di Impatto Ambientale (SIA)
Studio Diffusionale emissioni in atmosfera*

Le zone e gli agglomerati sono classificati ai sensi dell’articolo 4 del D.Lgs. 155/2010, il quale prescrive che *“ai fini della valutazione della qualità dell’aria, la classificazione delle zone e degli agglomerati è effettuata, per ciascun inquinante di cui all’articolo 1, comma 2, sulla base delle soglie di valutazione superiori e inferiori previste dall’allegato II, sezione I, e secondo la procedura prevista dall’allegato II, sezione II”*.

Si è pervenuti ad una suddivisione del territorio regionale in zone di qualità dell’aria, atte alla gestione delle criticità ambientali grazie all’accorpamento di aree il più possibile omogenee in termini di tipologia di pressioni antropiche sull’aria ambiente.

La zonizzazione è stata realizzata per la protezione della salute umana per gli inquinanti di seguito indicati: materiale particolato (PM₁₀ e PM_{2,5}), biossido di azoto (NO₂), biossido di zolfo (SO₂), monossido di carbonio (CO), piombo (Pb), benzene, arsenico (As), cadmio (Cd), nichel (Ni), benzo(a)pirene (BaP) e ozono (O₃).

Stante quanto fin qui premesso, il territorio sardo risulta dunque suddiviso nelle seguenti zone:

1. IT2007: Agglomerato di Cagliari;
2. IT2008: Zona urbana;
3. IT2009: Zona industriale;
4. IT2010: Zona rurale;
5. IT2011: Zona ozono.

Codice ISTAT Comune	Nome Comune	Popolazione (dati ISTAT al 01/01/2018)
092009	Cagliari	154.106
092051	Quartu S. Elena	70.879
092068	Selargius	28.986
092109	Monserrato	19.771
092105	Quartucciu	13.234
092108	Elmas	9.546
Totale		296.522

Figura 10: Composizione dell’agglomerato di Cagliari (IT2007) (fonte: Relazione annuale sulla qualità dell’aria in Sardegna per l’anno 2021 – Arpa Sardegna)

*“Nuovo Stadio di Cagliari – Studio di Impatto Ambientale (SIA)
Studio Diffusionale emissioni in atmosfera*

Codice zona	Nome zona	Codice ISTAT Comune	Nome Comune
IT2008	Zona urbana	104017	Olbia
		090064	Sassari (esclusa l'area industriale di Fiume Santo)
		092003	Assemini
		092011	Capoterra
IT2009	Zona industriale	092066	Sarroch
		107016	Portoscuso
		090058	Porto Torres (più l'area industriale di Fiume Santo)
IT2010	Zona rurale		Rimanente parte del territorio regionale
IT2011	Zona Ozono		Comprende tutte le zone escluso l'agglomerato

Figura 11: Composizione delle zone di qualità dell'aria individuate ai sensi del D.Lgs. 155/2010 (fonte: Relazione annuale sulla qualità dell'aria in Sardegna per l'anno 2021 – Arpa Sardegna)

L'agglomerato di Cagliari (IT2007) è stato individuato in base a quanto stabilito dall'Appendice I del D.Lgs. 155/2010, secondo cui una zona è definita agglomerato se ha una popolazione superiore a 250.000 abitanti o una densità abitativa superiore a 3.000 abitanti per chilometro quadro.

Sono state quindi identificate le aree urbane minori, correlate al comune di Cagliari sul piano demografico e dei servizi, individuate in continuità territoriale con esso e caratterizzate dalle stesse sorgenti dominanti di emissione, nonché di eventuali ulteriori conurbazioni significative, che potessero raggiungere, nel loro complesso, le caratteristiche dell'agglomerato, in base ai criteri legislativi.

Dall'analisi si evince che nella regione Sardegna è presente un unico agglomerato costituito dai comuni di: Cagliari (154.106 abitanti), Quartu S. E. (70.879 abitanti), Selargius (28.986 abitanti), Monserrato (19.771 abitanti), Quartucciu (13.234 abitanti) ed Elmas (9.546 abitanti), per un totale di 296.522 abitanti, e con una densità abitativa pari a 1.184 abitanti per km².

La zona urbana (IT2008) è invece costituita dalle aree urbane rilevanti di Sassari e Olbia, la cui individuazione è stata effettuata a partire dall'analisi dei carichi emissivi; è stato possibile accorpare le aree che presentano maggiori analogie anche in termini di livelli degli inquinanti. Si tratta di centri urbani sul cui territorio si registrano livelli emissivi significativi, principalmente prodotti dal trasporto stradale e dal riscaldamento domestico. Nel Comune di Olbia, in particolare, a tali sorgenti emissive si aggiungono anche le attività portuali e aeroportuali.

La zona industriale (IT2009) è costituita dai comuni in cui ricadono aree industriali, il cui carico emissivo è determinato prevalentemente da più attività energetiche e/o industriali localizzate nel territorio,

*"Nuovo Stadio di Cagliari – Studio di Impatto Ambientale (SIA)
Studio Diffusionale emissioni in atmosfera*

caratterizzate prevalentemente da emissioni puntuali. Non sono stati inclusi in questa zona i Comuni sul cui territorio ricadono solo impianti isolati (quali Samatzai, Ottana, Serramanna, Siniscola e Nuraminis).

La rimanente parte del territorio è stata accorpata nella zona rurale (IT2010) dal momento che, nel complesso, risulta caratterizzata da livelli emissivi dei vari inquinanti piuttosto contenuti, dalla presenza di poche attività produttive isolate e generalmente con un basso grado di urbanizzazione.

La mappa di zonizzazione per la Regione Sardegna è riportata in **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**, nella quale sono evidenziati l'agglomerato di Cagliari e le zone individuate ai sensi del decreto legislativo 155 del 2010.

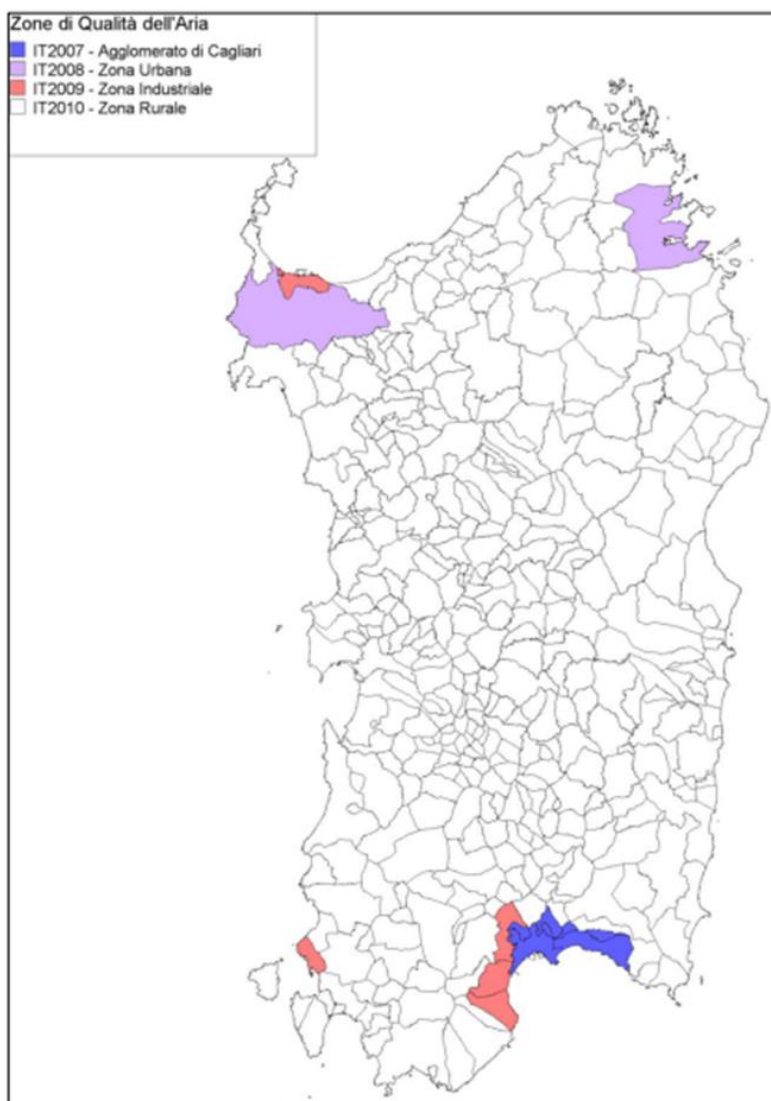


Figura 12: Mappa di zonizzazione per la Regione Sardegna (fonte: Relazione annuale sulla qualità dell'aria in Sardegna per l'anno 2021 – Arpa Sardegna)

*"Nuovo Stadio di Cagliari – Studio di Impatto Ambientale (SIA)
Studio Diffusionale emissioni in atmosfera*

Per l'ozono, è prevista una zona unica denominata IT2011 (cfr. **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**) comprendente le zone già individuate IT2008, IT2009, IT2010. È escluso l'agglomerato IT2007 in quanto già monitorato per questo inquinante.

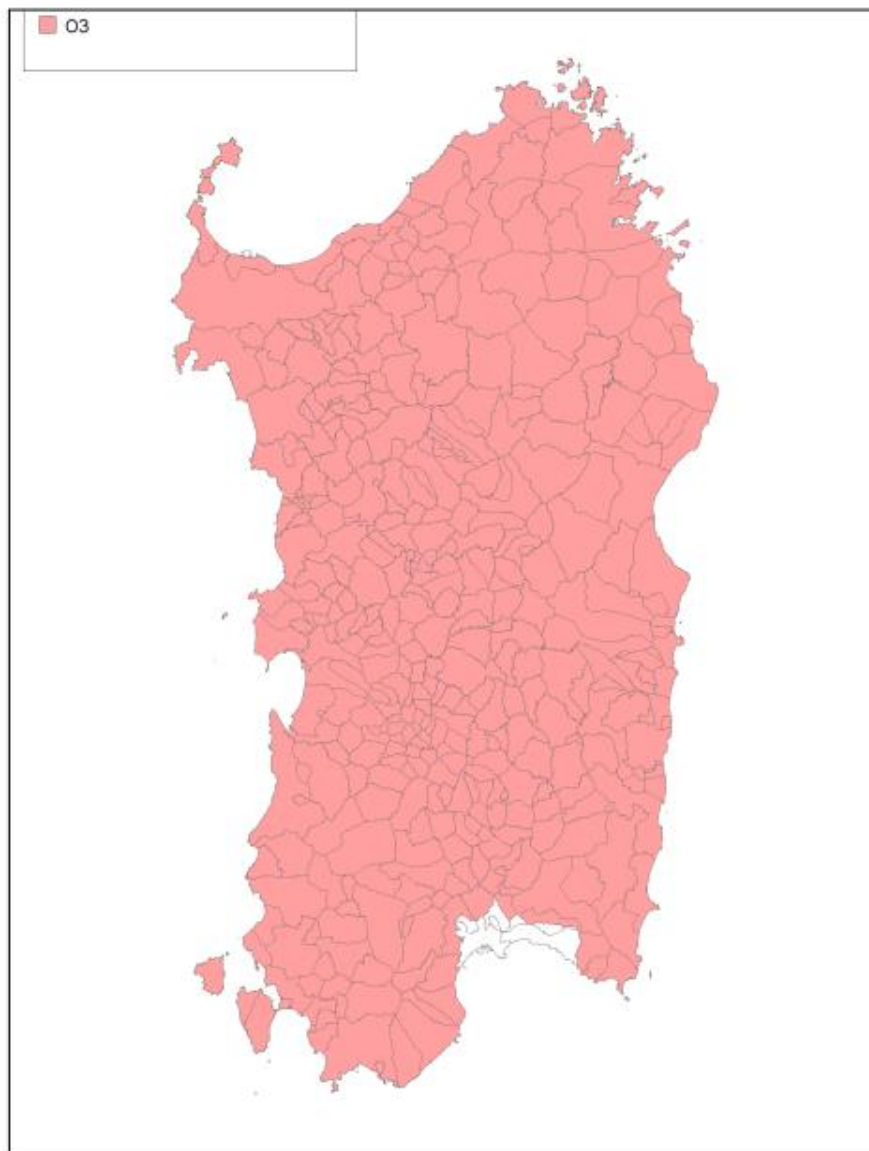


Figura 13: Zona Ozono (fonte: Relazione annuale sulla qualità dell'aria in Sardegna per l'anno 2021 – Arpa Sardegna)

In virtù di quanto fin qui esposto l'intervento in oggetto, estendendosi su un'ampia porzione del territorio sardo, ricade sia nell'agglomerato di Cagliari (IT2007) che nella Zona rurale (IT2010).

1.5 Rete di monitoraggio della qualità dell'aria e scelta della centralina per le simulazioni modellistiche

1.5.1 La rete di monitoraggio

Il D.Lgs. 155/2010, art. 5 comma 6, prevede che le Regioni trasmettano al MATTM a ISPRA ed ENEA un progetto volto ad adeguare la propria rete di misura della qualità dell'aria alle prescrizioni del decreto, in conformità alla zonizzazione del territorio.

In ossequio a tale obbligo di legge la Regione Sardegna ha predisposto, il *“Progetto di adeguamento della rete regionale di misura della qualità dell'aria ai sensi del D.Lgs. 155/2010 e s.m.i.”*, trasmesso al Ministero dell'Ambiente nel novembre 2014 e che è stato da quest'ultimo licenziato positivamente nel dicembre del 2015.

La Giunta Regionale, con la Delibera del 7 novembre 2017, n. 50/18, ha approvato il progetto, che ha l'obiettivo di razionalizzare la rete attuale e procedere, nel contempo, a dismettere le stazioni che non risultano più conformi ai criteri localizzativi di cui al d.lgs. 155/2010 e, se necessario, all'implementazione della strumentazione di misura al fine di adeguare le stazioni ai criteri previsti dalla norma, per la valutazione della qualità dell'aria ambiente nella regione Sardegna ai sensi del D.Lgs.155 del 13/08/2010 e secondo le linee guida del D.M. Ambiente 22 febbraio 2013 *“Formato per la trasmissione del progetto di adeguamento della rete di misura ai fini della valutazione della qualità dell'aria”*.

La procedura per la progettazione della rete ha comportato:

l'individuazione dei punti di monitoraggio per le emissioni diffuse, costituita dai punti minimi e quelli aggiuntivi, così come individuati nel sopraccitato D. Lgs.155 del 13/08/2010;

l'individuazione dei punti di misura a supporto, onde garantire l'acquisizione delle misure, qualora venissero a mancare le misure della rete minima.

Il progetto di adeguamento ha previsto inoltre le stazioni di misurazione per le fonti puntuali, individuate in base ai livelli delle emissioni delle fonti industriali, alle modalità di distribuzione degli inquinanti nell'aria ambiente e alla possibile esposizione della popolazione in prossimità dei centri urbani maggiormente esposti.

Nelle zone in cui si sono registrati valori inferiori alla soglia di valutazione, le misurazioni con stazioni fisse saranno integrate e combinate con tecniche di modellizzazione o misure indicative.

Sulla base della metodologia utilizzata, nel rispetto di rigidi criteri di economicità, efficienza ed efficacia, è stato individuato il set di stazioni rappresentative del territorio regionale, che costituisce la rete di misura per la valutazione della qualità dell'aria.

L'adeguamento della Rete ha previsto pertanto un programma graduale di dismissione delle stazioni che non rientrano nella Rete regionale di valutazione sopra citata, e allo stesso tempo l'installazione di idonea

*“Nuovo Stadio di Cagliari – Studio di Impatto Ambientale (SIA)
Studio Diffusionale emissioni in atmosfera*

strumentazione di misura, anche per la determinazione dei metalli e del benzo(a) pirene nel PM10, presso alcune stazioni che ne erano sprovviste.ì

L’assetto della Rete di monitoraggio regionale relativo all’anno 2021 è riepilogato nella **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**, mentre la configurazione strumentale, con gli inquinanti rilevati da ciascuna centralina, è mostrata nella successiva Figura.

Area	Stazioni
Agglomerato di Cagliari	CENCA1 - CENMO1 - CENQU1
Zona Urbana - Sassari (esclusa l'area industriale di Fiume Santo)	CENS12 - CENS16
Zona Urbana - Olbia	CENS10 - CEOLB1
Zona Industriale - Assemini	CENAS8 - CENAS9 - CENAS6
Zona Industriale - Sarroch	CENSA2 - CENSA3
Zona Industriale - Portoscuso	CENPS4 - CENPS6 - CENPS7
Zona Industriale - Porto Torres (più l'area industriale di Fiume Santo)	CENPT1 - CENSS3 - CENSS4 - CENSS2
Zona Rurale - Sulcis-Iglesiente	CENCB2 - CENIG1 - CENNF1
Zona Rurale - Campidano Centrale	CENNM1 - CENSG3
Zona Rurale - Oristano	CESGI1 - CENOR1 - CENOR2
Zona Rurale - Nuoro	CENNU1 - CENNU2
Zona Rurale - Sardegna Centro-Settentrionale	CEALG1 - CENMA1 - CENOT3 - CENS1
Zona Rurale - Seulo - Stazione di Fondo Regionale	CENSE0

N.B.: le stazioni appartenenti alla Rete di misura per la valutazione della qualità dell'aria sono evidenziate in grassetto

Tabella 8

Figura 14: Rete di monitoraggio della qualità dell’aria per l’anno 2021 nella regione Sardegna (fonte: Relazione annuale sulla qualità dell’aria in Sardegna per l’anno 2021 – Arpa Sardegna)

*"Nuovo Stadio di Cagliari – Studio di Impatto Ambientale (SIA)
Studio Diffusionale emissioni in atmosfera*

Area	Stazione	C ₆ H ₆	CO	NO ₂	O ₃	PM10	SO ₂	PM2,5
Agglomerato di Cagliari	CENCA1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	CENMO1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	CENQU1	✓		✓	✓	✓	✓	
Zona Urbana Sassari	CENS12		✓	✓	✓	✓	✓	
	CENS16	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Zona Urbana Olbia	CEOLB1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
	CENS10		✓	✓		✓	✓	
Zona Industriale Assemini	CENAS8		✓	✓	✓	✓	✓	
	CENAS9			✓	✓	✓	✓	
	CENAS6			✓		✓	✓	
Zona Industriale Sarroch	CENSA2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	CENSA3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Zona Industriale Portoscuso	CENPS4		✓	✓		✓	✓	
	CENPS6			✓		✓	✓	✓
	CENPS7	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Zona Industriale Porto Torres	CENPT1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	CENSS3		✓	✓	✓	✓	✓	
	CENSS4	✓		✓		✓	✓	
	CENSS2			✓	✓	✓	✓	
Zona Rurale Sulcis Iglesiente	CENCB2	✓		✓	✓	✓	✓	
	CENIG1			✓	✓	✓	✓	
	CENNF1			✓		✓	✓	
Zona Rurale Campidano Centrale	CENNM1			✓	✓	✓	✓	
	CENSG3			✓		✓	✓	
Zona Rurale Oristano	CESGI1		✓	✓		✓	✓	
	CENOR1			✓	✓	✓	✓	
	CENOR2	✓		✓	✓	✓	✓	
Zona Rurale Nuoro	CENNU1	✓		✓		✓	✓	
	CENNU2		✓	✓	✓	✓	✓	
Zona Rurale Sardegna Centro Settentrionale	CENMA1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	CENOT3	✓		✓	✓	✓	✓	
	CENSN1			✓		✓	✓	
	CEALG1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Zona Rurale Seulo	CENSE0		✓	✓	✓	✓	✓	✓

N.B.: le stazioni appartenenti alla Rete di misura per la valutazione della qualità dell'aria sono evidenziate in grassetto

Tabella 9

Figura 15: Inquinanti monitorati dalle stazioni appartenenti alla rete di monitoraggio della qualità dell'aria della Regione Sardegna (Le stazioni appartenenti alla rete di misura per la valutazione della qualità dell'aria sono evidenziate in grassetto) (fonte: Relazione annuale sulla qualità dell'aria in Sardegna per l'anno 2021 – Arpa Sardegna)

1.5.2 La scelta della centralina per le simulazioni modellistiche

Posto che lo studio modellistico risulta inerente all'analisi della diffusione degli inquinanti relativi alla realizzazione della linea di contatto e che tali interventi di elettrificazione avvengono in condizione di prossimità e/o attraversamento delle aree protette in corrispondenza dei Comuni di Cagliari ed Oristano, la scelta delle centraline della qualità dell'aria è ricaduta su due stazioni, una localizzata a Cagliari ed una nell'intorno del Comune di Oristano.

*“Nuovo Stadio di Cagliari – Studio di Impatto Ambientale (SIA)
Studio Diffusionale emissioni in atmosfera*

Per quanto concerne l'area di Cagliari ed il relativo agglomerato (IT2007), la Rete regionale è costituita dalla stazione di traffico di Cagliari, Via Cadello (CENCA1), e dalle stazioni di fondo di Monserrato, Via Sant'Angelo (CENMO1), e Quartu S. E., Via Perdalunga (CENQU1) (cfr. **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**). Tutte le stazioni sono rappresentative dell'area e appartengono alla Rete di misura per la valutazione della qualità dell'aria.



Figura 16: Posizione delle stazioni di misura dell'agglomerato di Cagliari (fonte: Relazione annuale sulla qualità dell'aria in Sardegna per l'anno 2021 – Arpa Sardegna)

Stante quanto fin qui riportato è stata scelta come centralina di riferimento per la porzione di tracciato prossima al Comune di Cagliari la stazione di traffico CENCA1.

Gli inquinanti monitorati dalla suddetta centralina sono Benzene, Monossido di Carbonio, NO₂, Ozono, PM₁₀, PM_{2,5} ed SO₂.

1.6 Stato della Qualità dell'Aria

Nel seguito si riporta una tabella riepilogativa delle concentrazioni degli inquinanti di interesse ai fini della presente analisi, registrati nel 2019, rispettivamente dalla centralina di Cagliari (CENCA1) e di Santa Giusta (CESGI1).

*“Nuovo Stadio di Cagliari – Studio di Impatto Ambientale (SIA)
Studio Diffusionale emissioni in atmosfera*

Tabella 1: Valori di concentrazione registrati dalla centralina di Cagliari – Via Cadello nel 2021 (fonte: Relazione annuale sulla qualità dell'aria in Sardegna per l'anno 2021 – Arpa Sardegna)

Comune	Stazione	Tipo	PM ₁₀		PM _{2,5} *	NO ₂	
			Media annua 2021 [µg/m ³]	N° medie giornaliere >50 µg/m ³ (V.L. 35 giorni)	Media annua 2021 [µg/m ³]	Media annua 2021 [µg/m ³]	N° medie orarie >200 µg/m ³ (V.L. 18)
Cagliari	Stazione di Via Cadello (CENCA1)	Stazione di traffico	28,4	18	14,3	20,3	--

Analizzando la tabella 1, si evidenzia come, per entrambe le centraline, si registra una situazione entro la norma per tutti gli inquinanti monitorati nell'anno 2021. In particolare, in relazione al PM₁₀, la media annuale risulta inferiore ai limiti normativi, con 18 e 10 superamenti registrati a Cagliari rispetto ai 35 ammessi dalla normativa.

Relativamente al biossido di azoto (NO₂) la media annua registrata risulta rispettivamente pari a 20,3 e 9,2 µg/m³, non evidenziando superamenti della soglia limite per la protezione della salute umana pari a 40 µg/m³.

2 SCENARIO EMISSIVO

2.1 Scenario di esercizio

Come evidenziato nel documento “*Studio Trasportistico*” per il Piano Portuale di Cagliari fatto redigere dall’Autorità di Sistema Portuale del Mar di Sardegna, attualmente il Porto Industriale di Cagliari è connesso con la viabilità primaria attraverso due infrastrutture:

- la prima è localizzata sul versante nord-orientale, subito dopo (provenendo da Cagliari) lo svincolo per l’area di Giorgino, e garantisce l’accesso al terminal container, all’area in concessione alla Grendi e alle aree logistiche retrostanti;
- la seconda è posta sul versante nord-occidentale, in connessione con la SP 2 “strada Saline Contivecchi”, e garantisce l’accesso al terminal rinfuse.

La valutazione del miglior sistema di accessibilità della sponda sud-ovest del porto canale è stata fatta confrontando sette diversi scenari di progetto ottenuti combinando diversi interventi tra di loro: il completamento dello svincolo tra la SS 195 e la Contivecchi, la realizzazione di un nuovo accesso localizzato nella strada di accesso a “Giorgino Ovest” e contestuale realizzazione di una nuova rotatoria sulla SS 195, il completamento della viabilità interna di collegamento tra il nuovo terminal Ro-Ro e il retro banchina di ponente, la riqualificazione della strada Contivecchi di collegamento con la zona industriale di Macchiareddu.

In conclusione, è stato valutato che lo scenario n°4 è quello più adatto ed in grado di garantire la migliore accessibilità all’intera area del Porto Canale, anche alla luce degli interventi di rafforzamento della dotazione infrastrutturale di tutta l’area, andando a potenziare anche l’accessibilità all’area di intervento progettuale del nuovo Terminal RoRo

Per maggiori dettagli si rimanda al documento “Approfondimento Studio Trasportistico per accessibilità lato sud-ovest Porto Canale di Cagliari” per il Piano Portuale di Cagliari fatto redigere dall’Autorità di Sistema Portuale del Mar di Sardegna nel periodo 2020-2021.

Le emissioni da traffico su gomma sono state elaborate a partire dai dati dello studio trasportistico riguardanti il traffico di mezzi pesanti e leggeri sugli archi viari riportati di seguito, di accesso all’area portuale.

*"Nuovo Stadio di Cagliari – Studio di Impatto Ambientale (SIA)
Studio Diffusionale emissioni in atmosfera*

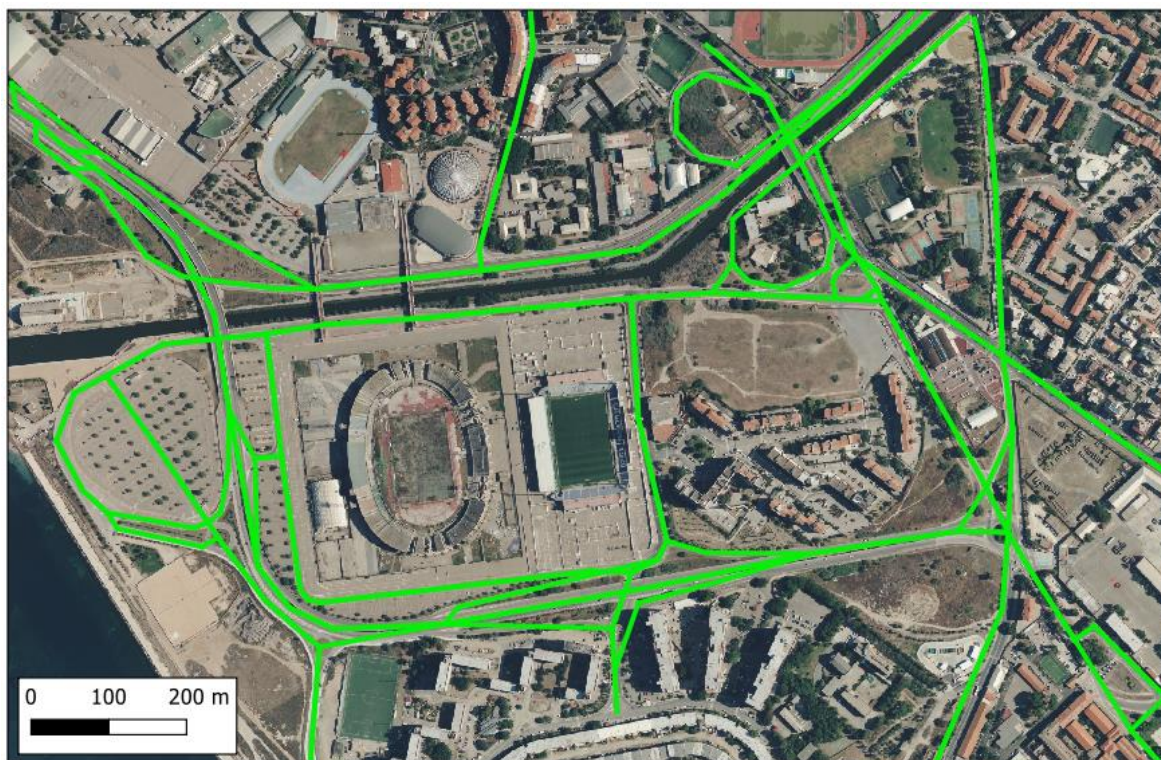


Figura 17: Percorsi traffico indotto – scenario attuale.



Figura 18: Percorsi traffico indotto – scenario futuro

*“Nuovo Stadio di Cagliari – Studio di Impatto Ambientale (SIA)
Studio Diffusionale emissioni in atmosfera*

Per la stima delle emissioni da traffico su gomma si è fatto ricorso ad un approccio basato su un indicatore che caratterizza l'attività della sorgente (A in eq.1) e di un fattore di emissione specifico per il tipo di sorgente (Ei in eq.1). Il fattore di emissione Ei dipende dal tipo di sorgente considerata.

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

$$Q(E)_i = A * E_i \quad (eq.1)$$

dove:

- Q(E)_i: emissione dell'inquinante i (kg/h);
- A: indicatore dell'attività (veicolo-chilometri viaggiati);
- E_i: fattore di emissione dell'inquinante i (ad es. g/km veic).

I fattori di emissione sono stati desunti per mezzi pesanti dal sito di ISPRA Inventaria – *fattori di emissione medi per traffico autoveicolare anno 2019*¹. [<http://www.sinanet.isprambiente.it/it/sia-ispra/fetransp>] dal file fe2019.xls dove sono contenuti i fattori di emissione per tipologia di veicolo e inquinante.

Sulla base delle informazioni disponibili si sono desunti i seguenti fattori di emissione per veicoli pesanti e leggeri. Si prendono a riferimento gli inquinanti che hanno un maggior impatto sulla qualità dell'aria locale PM10 e NOx

Sulla base delle informazioni disponibili si sono desunti i seguenti fattori di emissione per veicoli pesanti e leggeri. Si prendono a riferimento gli inquinanti che hanno un maggior impatto sulla qualità dell'aria locale PM10 e NOx

Tabella 2: Fattori di emissione dei mezzi pesanti (fonte ISPRA)

Inquinante	Passenger Cars (g/km*veicolo)	Heavy Duty Trucks (g/km*veicolo)	Motorcycles (g/km*veicolo)
PM10	0.03288	0.13519	0.02520
NOX	0.31578	2.46100	0.09240
BENZ	0.00163	0.00006	0.00798
CO	0.42238	0.79877	3.03410
PM25	0.02079	0.09331	0.01988

Considerando i dati dello studio trasportistico ed i fattori di emissione ISPRA si ottengono le emissioni riportate in tabella per il dominio considerato

Tabella 3: emissioni orarie sul dominio

¹ <http://www.sinanet.isprambiente.it/it/sia-ispra/fetransp>

*“Nuovo Stadio di Cagliari – Studio di Impatto Ambientale (SIA)
Studio Diffusionale emissioni in atmosfera*

	NOX	PM10	NOX	PM10
	ATTUALE	ATTUALE	POST OPERAM	POST OPERAM
	(kg/g)	(kg/g)	(kg/g)	(kg/g)
Traffico indotto stradale				

2.2 Scenario di cantiere

La valutazione delle emissioni di polveri e l'individuazione dei necessari interventi di mitigazione sono state effettuate secondo le indicazioni di cui ai contenuti delle “Linee guida per la valutazione delle emissioni di polveri provenienti da attività di produzione, manipolazione, trasporto, carico o stoccaggio di materiali pulverulenti” redatte da ARPAT previa convenzione con la Provincia di Firenze.

Tali linee guida introducono i metodi di stima delle emissioni di particolato di origine diffusa prodotte dalle attività di trattamento degli inerti e dei materiali pulverulenti in genere, e le azioni e le opere di mitigazione che si possono effettuare, anche ai fini dell'applicazione del D.Lgs 152/06 (Allegato V alla Parte 5°, Polveri e sostanze organiche liquide, Parte 1: Emissioni di polveri provenienti da attività di produzione, manipolazione, trasporto, carico o stoccaggio di materiali pulverulenti).

I metodi di valutazione proposti nelle Linee guida ARPAT provengono principalmente da dati e modelli dell'US-EPA (AP-42 Compilation of Air Pollutant Emission Factors) ai quali si rimanda per la consultazione della trattazione originaria, in particolare degli algoritmi di calcolo, e qualora sorgessero dubbi interpretativi.

Le linee guida ARPAT sono suddivise principalmente in due capitoli: nel Capitolo 1 sono analizzate le sorgenti di particolato dovute alle attività di trattamento di materiali pulverulenti e per ciascuna sorgente vengono individuate le variabili da cui dipendono le emissioni ed il metodo di calcolo, in taluni casi semplificato rispetto al modello originale ed adattato dove possibile alla realtà locale. Nel Capitolo 2 sono presentate delle soglie di emissione al di sotto delle quali l'attività di trattamento di materiali pulverulenti può essere ragionevolmente considerata ad impatto non significativo sull'ambiente. Tale conclusione deriva dall'analisi effettuata tramite l'applicazione di modelli di dispersione, i cui risultati indicano che al di sotto dei valori individuati non sussistono presumibilmente rischi di superamento o raggiungimento dei valori limite di qualità dell'aria di PM10 dovuti alle emissioni dell'attività in esame.

2.2.1 emissioni inquinanti

Le due principali tipologie di emissioni di inquinanti sono:

- Emissioni particellari (PM10) dovute alle lavorazioni all'interno del cantiere: quali demolizioni e scavi, carico/scarico del materiale, formazioni e stoccaggio di cumuli, trasporto del materiale su aree non pavimentate;

- Emissioni particellari e gas (PM10, NOX) dovute alle macchine operatrici e mezzi pesanti in cantiere.

Nei seguenti paragrafi si descrive l'approccio utilizzato per la stima delle emissioni connesse alle attività di cantiere (comprese le movimentazioni, trasporti da e per le aree di cantiere).

2.2.2 Fattori di emissione

2.2.2.1 Attività di escavazione e sbancamento

Nella fase di scotico una ruspa rimuove circa 5.5 m³/h di materiale ed il fattore di emissione delle operazioni di scotico previsto in "13.2.3 Heavy construction operation", pari a 3.42 kg/km di PM10. Considerando un volume di 12 m³/h (derivato dal volume di scavo pari a 82000 m³), l'emissione oraria stimata per questa fase è quindi pari a **25.3 g/h di PM10**.

Nella stessa ora di attività la ruspa effettua anche lo sbancamento.

Per la fase di sbancamento o estrazione non è presente uno specifico fattore di emissione; considerando che il materiale estratto è bagnato, si considera cautelativamente il fattore di emissione associato al SCC 3-05-027-60 Sand Handling, Transfer, and Storage in "Industrial Sand and Gravel", pari a 1.30x10⁻³ lb/tons di PTS equivalente a 3.9x10⁻⁴ kg/Mg di PM10 avendo considerato il 60% del particolato come PM10. Il fattore di emissione per la fase di sbancamento sarà pari a **6 g/h**.

2.2.2.2 Frantumazione e demolizione

Le lavorazioni di frantumazione in situ tramite macchine movimento terra e pinze meccaniche è identificabile per similitudine nel fattore di frantumazione SCC-3-05-020-03 pari a 0.00027 kg/ton valutato come "controlled" ovvero con mitigazioni standard.

2.2.2.3 Paved roads – mezzi in trasporto su strade pavimentate

Per la stima delle emissioni di polvere generate dal traffico veicolare per azione di risollevarimento nelle aree non pavimentate è stato utilizzato il seguente fattore di emissione:

$$E = k (sL)^{0.91} \times (W)^{1.02} \quad [\text{kg/km}]$$

dove:

- W = peso medio dei mezzi di cantiere che percorrono le aree considerate (t)
- SI = contenuto del limo sul fondo stradale (g/m²)
- K per PM10 = 0.62

Il contenuto di limo è stato assunto pari al 0.6 g/m³. Considerando l'intero percorso e un numero di camion/h pari a 2, i km complessivi percorsi (A/R) è circa pari a 5 km. Per il calcolo dei mezzi medi orari si è considerato

*“Nuovo Stadio di Cagliari – Studio di Impatto Ambientale (SIA)
Studio Diffusionale emissioni in atmosfera*

un volume di materiale pari a 152000 m³, dato dalla somma di scotico, terreno e demolizioni come mostrato in tabella e considerando un numero di giorni pari al 60% dei complessivi (720 giorni).

Il fattore di emissione associato al passaggio di un camion su piste interne alle aree di cantiere pavimentate è pari a **92 g/h** di PM₁₀, senza alcuna mitigazione.

2.2.2.4 Formazione e stoccaggio cumuli

La produzione totale di polvere legata all'attività di movimentazione e stoccaggio è legata alle seguenti singole attività:

- carico e scarico dei mezzi;
- traffico dei mezzi nelle aree di stoccaggio, carico e scarico;
- erosione del vento nella fase di carico e scarico.

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

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

(eq.6: EPA, AP-42 13.2.4)

dove:

- **E** = fattore di emissione di particolato (kg/Mg);
- **k** = parametro dimensionale (dipende dalla dimensione del particolato);
- **U** = velocità media del vento (m/s) assunta pari a 2.2 m/s come da centralina di riferimento;
- **M** = umidità del terreno (%) assunta pari al 4.5.

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

Aerodynamic Particle Size Multiplier (k) For Equation 1				
< 30 µm	< 15 µm	< 10 µm	< 5 µm	< 2.5 µm
0.74	0.48	0.35	0.20	0.053 ^a

Per il PM₁₀ si assume quindi k pari a 0.35. 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.

La suddetta formula empirica garantisce una stima attendibile delle emissioni considerando valori di U e M compresi nell'intervallo dei valori specificati nella tabella seguente.

Parametro	Range
Velocità del vento	0,6 – 6.7 m/s

*“Nuovo Stadio di Cagliari – Studio di Impatto Ambientale (SIA)
Studio Diffusionale emissioni in atmosfera*

Umidità del materiale	0,25 – 4,8 %
-----------------------	--------------

Considerando sempre 12 m³/h, i fattori di emissione associato alle operazioni di formazione e stoccaggio cumuli è pari a **3.4 g/h** di PM₁₀.

2.2.2.5 Erosione del vento dei cumuli

Facendo riferimento a quanto riportato nel paragrafo 1.4 delle Linee guida ARPAT ed applicando la seguente formula si può determinare il coefficiente di emissione per il PM₁₀ che è pari a 0,0002 kg/h.

$$EF_i(\text{kg/h}) = EF_i * a * mvh$$

cumuli alti $H/D > 0.2$	
	$EF_i(\text{kg/m}^2)$
PTS	1.6E-05
PM ₁₀	7.9E-06
PM _{2.5}	1.26E-06
cumuli bassi $H/D \leq 0.2$	
	$EF_i(\text{kg/m}^2)$
PTS	5.1E-04
PM ₁₀	2.5 E-04
PM _{2.5}	3.8 E-05

Il valore sopra riportato è stato impostando un'altezza del cumulo pari a 2 m, ipotizzandolo conico con un diametro di 5 m e con una superficie laterale di circa 25 m². Il rapporto tra altezza del cumulo e diametro è superiore a 0.2 quindi il cumulo è considerato “alto”. Considerando un numero di viaggi/h pari a 2, il fattore di emissione risulta pari **0.45 g/h**.

2.2.2.6 Carico e scarico del materiale

Per le operazioni relative al “carico camion” del materiale corrisponde la fase classificata come SCC 3-05-020-33, non è disponibile un fattore di emissione. Può essere eventualmente utilizzato quello del SCC 3-05-010-37 “Truck Loading: Overburden” presente per il settore “Coal Mining, Cleaning and Material Handling, corrispondente alla fase di carico del materiale superficiale rimosso dallo scotico. Osservando i rapporti tra i fattori di emissione di PM₁₀ e PTS, si può ritenere cautelativo considerare una componente PM₁₀ dell'ordine del 60% del PTS. Il fattore di emissione espresso in kg per ogni tonnellata di materiale caricato è pari a 0.0075 kg/t per il PM₁₀.

*“Nuovo Stadio di Cagliari – Studio di Impatto Ambientale (SIA)
Studio Diffusionale emissioni in atmosfera*

Per la fase di scarico è stato considerato il fattore SCC 3-05-010-42 “Truck unloading: Bottom-Dump-Overburden” pari a 0,0005 Kg/t di PM10 per tonnellata di materiale scaricato.

Considerando un volume di materiale caricato/scaricato pari a 12 m³/h (volume di materiale pari a 150000 m³), otteniamo i seguenti fattori di emissione:

- 12 g/h per la fase di carico
- 0.2 g/h per la fase di scarico

2.2.2.7 Riepilogo fattori di emissione

Nella seguente tabella i fattori di emissione considerati ed utilizzati nel Database allegato per il calcolo delle emissioni di PM10.

Fattori di Emissione	PM10 (g/h)
<i>Sbancamento</i>	6
<i>Stoccaggio Cumuli</i>	3.4
<i>Demolizione/Frantumazione</i>	47
<i>Erosione</i>	0.09
<i>Carico</i>	12
<i>Scarico</i>	0.2
<i>Trasporto su piste non asfaltate</i>	91

I fattori di emissione così si differenziano per ogni area di lavorazione se si considera la sorgente areale. In tal caso si evidenzia come, per ogni singolo fattore di emissione calcolato su ognuno dei vari contributi, quelli maggiori in termini di g/h sono quelli legati ai mezzi meccanici (“overburden”) e al trasporto sulle piste pavimentate.

Il fattore di emissione totale è dato dalla somma dei vari contributi ed è pari a **192 g/h**.

2.2.2.8 Emissione dai gas di scarico di macchine e mezzi d’opera

Con riferimento all’emissione di sostanze inquinanti ad opera dei mezzi meccanici e degli automezzi in circolazione sulle piste di cantiere e sulla viabilità principale, aggiungono anche le PM10, da traffico veicolare.

Per la stima dei fattori di emissione delle macchine e dei mezzi d’opera impiegati è stato fatto riferimento al database del programma di calcolo COPERT III ed all’Atmospheric Emission Inventory Guidebook dell’EEA.

*"Nuovo Stadio di Cagliari – Studio di Impatto Ambientale (SIA)
Studio Diffusionale emissioni in atmosfera*

All'interno del documento è possibile individuare dati relativi ai seguenti macchinari principali (Other Mobile SouRes and Machinery – SNAP 0808XX):

Pale meccaniche (Tractors/Loaders/Backhoes): le pale impiegate per la movimentazione delle terre di scavo, su ruote o cingolate (Bulldozer), sono di vario tipo a seconda della loro dimensione. Una pala meccanica di medie dimensioni ha una potenza tra i 40 kW ed i 120 kW. I motori di media e grossa cilindrata sono tipicamente turbodiesel;

Escavatori (wheel/crawler type): utilizzati principalmente per movimenti di terra e lavori di carico/scarico. Possono essere distinti in tre classi: piccola taglia con potenza da 10 a 40kW, di media taglia da 50 a 500kW, e superiori ai 500kW utilizzati per lavori pesanti di estrazione e movimentazione del materiale

sorgenti emissive	NOx	PM10	U.M.	Fonte
Pala meccanica				EEA-BV810v3-Other Mobile
Escavatore	7.0	0.2	gr/h*kW	SouRes and Machinery –
Autogru				SNAP 0808XX

3 MODELLISTICA DIFFUSIONALE

3.1 Scenario di esercizio

3.1.1 CALINE 4

Il presente paragrafo contiene una descrizione del modello utilizzato.

Il modello "CALINE4 - steady-state Gaussian dispersion model designed to determine air pollution concentrations at receptor locations downwind of highways located in relatively uncomplicated terrain" è inserito nella lista dei Preferred/Recommended Models - Appendix W Guidance – Permit Modeling Guidance US-EPA.

CALINE è il modello di calcolo utilizzato per lo studio di sorgenti lineari, come le emissioni dovute a traffico veicolare, appositamente realizzato dal Dipartimento dei Trasporti della California per le autostrade americane e successivamente convalidato dall'US-EPA. Tale modello è basato sull'utilizzo congiunto di un "box model" e della formulazione dell'equazione gaussiana di dispersione, valida per moti del vento laminari e atmosfera stabile.

La versione attualmente utilizzata del codice è CALINE4, che è anche la più recente al momento disponibile. Lo scopo di questo modello è di stimare gli impatti sulla qualità dell'aria nei pressi di strade o infrastrutture viarie lineari. CALINE4 è in grado di simulare le concentrazioni in aria ambiente di inquinanti primari inerti come CO e articolato ed NO₂, originate dalle emissioni degli autoveicoli.

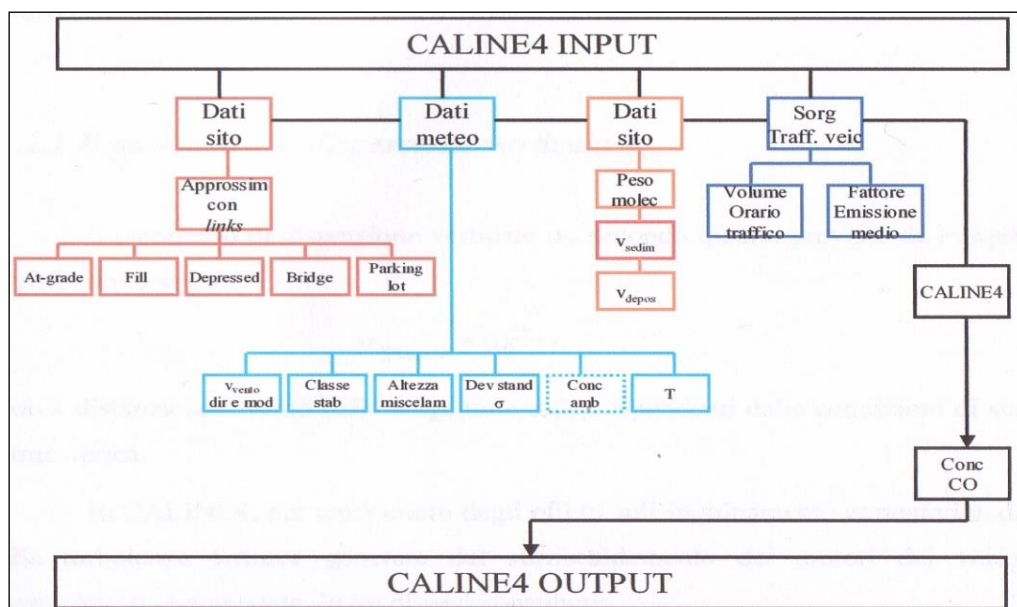


Figura 19: Schema a blocchi INPUT/OUTPUT del codice CALINE4.

3.1.1.1 Schematizzazione del sito

Il modello suddivide l'asse stradale in una serie di elementi discreti (determinati tenendo conto della direzione del vento e della posizione rispetto alla strada del punto recettore in cui deve essere stimata la concentrazione) per i quali le singole concentrazioni sono calcolate e poi sommate per ottenere il valore

*“Nuovo Stadio di Cagliari – Studio di Impatto Ambientale (SIA)
Studio Diffusionale emissioni in atmosfera*

finale in corrispondenza di un particolare recettore. Ciascun elemento in cui è ripartito il tratto stradale è schematizzato come una sorgente lineare fittizia di emissione perpendicolare alla direzione del vento: per ognuna di queste sorgenti viene simulato un processo di dispersione gaussiana delle sostanze inquinanti.

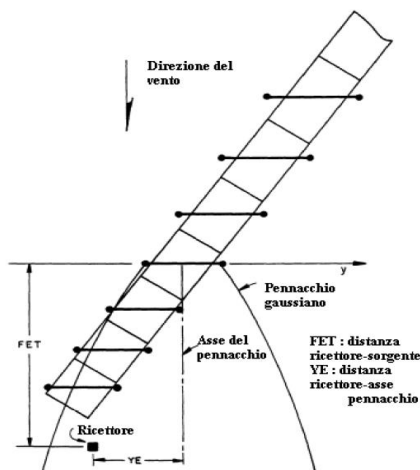


Figura 20: Schematizzazione della sorgente in CL4.

Per quanto concerne la definizione della geometria della strada, il modello permette di suddividere il tratto studiato fino ad un massimo di 20 segmenti continui, ognuno con differente orientamento. Ogni segmento è definito come retto e con un'ampiezza, una quota, un traffico ed un fattore di emissione per veicolo costante. E' possibile simulare sia tratti in trincea che sezioni elevate o ponti, oltre che stimare gli impatti generati da parcheggi posti a livello del terreno.

E' importante considerare come le variazioni della topografia al contorno possano influenzare in maniera decisiva la buona applicabilità del modello, in particolare l'utilizzo su terreni orograficamente complessi potrebbe invalidare l'applicabilità dell'equazione gaussiana di diffusione. All'interno del codice di calcolo è stato quindi incluso un algoritmo per la simulazione di canyon urbani o naturali, il quale prevede il calcolo degli effetti della riflessione orizzontale del pennacchio.

Il canyon proposto da CL4 è formato da barriere di altezza fissa (dipendente dall'altezza media degli edifici nel caso urbano) con distanze (destra e sinistra) variabili dall'asse della strada. Questo tipo di rappresentazione che ben si adatta alla struttura delle arterie dei centri urbani americani e dell'Europa centro-settentrionale, pone a priori qualche dubbio circa la riproducibilità delle caratteristiche delle arterie di centri posti nella Piana di Lucca dove le barriere dei canyon urbani sono costituite spesso da edifici non allineati e con altezze sensibilmente diverse.

L'input del codice, in presenza dell'opzione canyon urbano, richiede che la direzione del vento sia posta parallela all'asse stradale: condizione apparentemente non restrittiva imponendo un allineamento del flusso conforme alla topografia del sito.

*"Nuovo Stadio di Cagliari – Studio di Impatto Ambientale (SIA)
Studio Diffusionale emissioni in atmosfera*

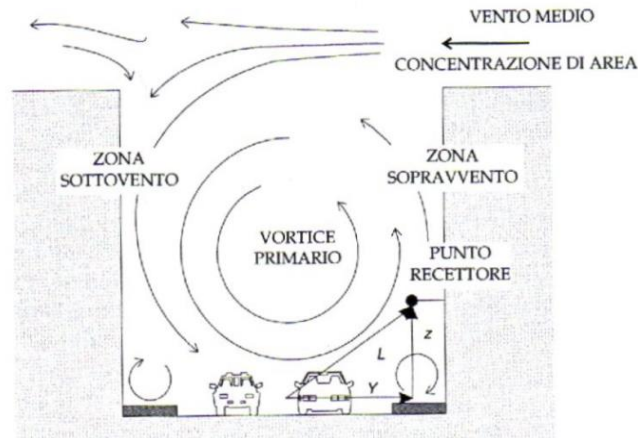


Figura 21: Caratteristiche geometriche e di circolazione dell'aria in un canyon urbano.

3.2 Equazione per il calcolo della concentrazione

Sono impiegati due differenti equazioni per calcolare le concentrazioni sottovento, nei casi limite di venti paralleli o trasversali ad ogni asse viario:

- un'equazione per sorgente lineare continua infinita (*direzione del vento perpendicolare alla strada*);
 - un'equazione per sorgente puntiforme (*direzione parallela alla strada*).
- In questo caso ogni tratto della strada viene considerato come una successione di sorgenti areali quadrate di dimensione pari alla larghezza della strada, assimilate poi a sorgenti puntuali equivalenti, delle quali sono sommati gli effetti sulle concentrazioni.

In tutti i casi intermedi di direzione prevalente del vento viene utilizzata una media pesata delle due formule. La concentrazione in un punto $P(x,y,z)$, in riferimento ad un tratto infinitesimo di strada e ammettendo una riflessione totale da parte del suolo, è la seguente:

$$dC = \frac{q \cdot dv}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} e^{\frac{-y^2}{2\sigma_y^2}} \left(e^{\left(\frac{-(z-H)^2}{2\sigma_z^2} \right)} + e^{\left(\frac{-(z+H)^2}{2\sigma_z^2} \right)} \right)$$

Dove:

- dC : incremento della concentrazione (ppm)
- dQ : emissione sul tratto infinitesimo (mg/s)
- u : velocità del vento all'altezza H (m/s)
- H : altezza della sorgente (m)
- σ_y, σ_z : parametro di dispersione orizzontale e verticale rispettivamente (m)

*“Nuovo Stadio di Cagliari – Studio di Impatto Ambientale (SIA)
Studio Diffusionale emissioni in atmosfera*

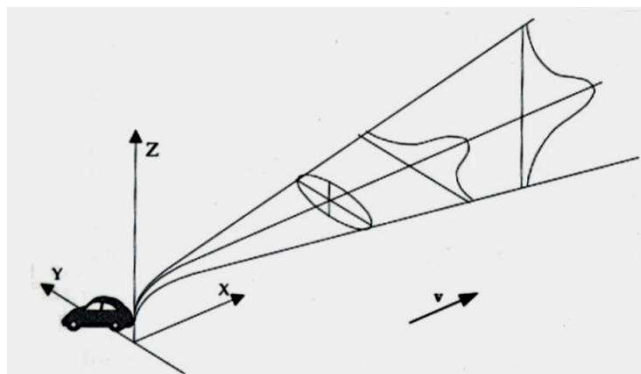


Figura 22: Schema della dispersione gaussiana in un sistema di riferimento orientato secondo il vento

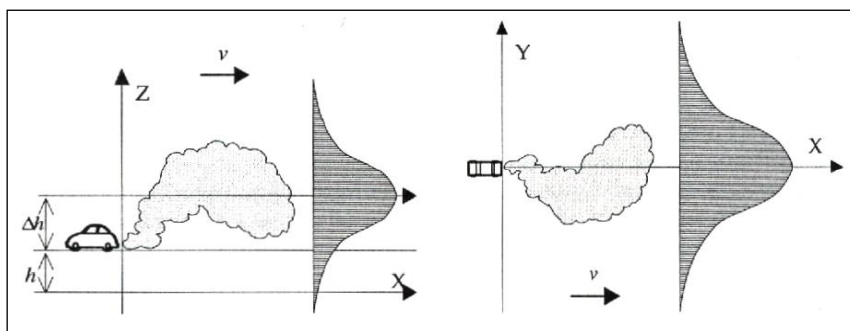


Figura 23: Vista dei piani (x,z) e (x,y) dello schema di dispersione gaussiana in un sistema di riferimento orientato secondo il vento.

Osservando le immagini sopra riportate, per una sorgente puntuale continua è assunto che il materiale inquinante venga trasportato dal vento nel verso in cui esso spira, distribuendosi secondo un sistema di riferimento cartesiano avente origine degli assi in un punto del suolo con l'asse Z ortogonale al piano stradale e uscente da esso e gli assi X e Y orizzontali.

Come è facile notare, nella sua formulazione standard il modello gaussiano è infatti sottoposto ad una serie di limitazioni, tra le quali ricordiamo:

1. *stazionarietà delle emissioni*: si assume che le emissioni siano costanti;
2. *stazionarietà ed omogeneità delle condizioni atmosferiche*: si assume che non intervengano variazioni della direzione e della velocità del vento, della stabilità atmosferica, durante il trasporto di inquinante dalla sorgente al recettore, ipotesi ragionevole solo per brevi distanze e in assenza di rapide variazioni delle condizioni meteorologiche;
3. *assenza di reazioni chimiche nell'atmosfera* che interessino gli inquinanti e fenomeni di dispersione al suolo;
4. *estensione infinita del dominio spaziale di dispersione degli inquinanti*: si assume che la dispersione non sia alterata dalla presenza del suolo, ostacoli, stratificazioni termiche dell'atmosfera

impossibilità di simulare calme di vento: per velocità di vento prossime a 0, la concentrazione di un inquinante va all'infinito; dunque, è necessario adottare un artificio considerando le calme di vento pari a 1 m/s.

3.2.1 I coefficienti di dispersione verticale ed orizzontale

Per i coefficienti di dispersione verticale (σ_z), CL4 utilizza una versione modificata delle curve di *Pasquill-Smith*, in modo da includere la turbolenza termica generata dal surriscaldamento dei motori dei veicoli. In questo modo tale parametro risulta composto da tre diversi contributi:

$$\sigma_z = \sigma_z(I) + \sigma_z(M) + \sigma_z(F)$$

$\sigma_z(I)$, $\sigma_z(M)$, $\sigma_z(F)$ = parametro di dispersione verticale Iniziale, Medio, Finale.

Tale parametro, indipendentemente dalla classe di stabilità atmosferica e dalla rugosità superficiale, dipende dal tempo di residenza della particella d'aria nella zona di turbolenza: maggiore è il tempo di permanenza in questa zona, maggiore è la dispersione verticale subita dalla particella. Tale parametro rimane costante fino ad una distanza della sorgente dipendente dall'ampiezza della strada e dall'angolo formato dalla direzione del vento e dalla posizione della strada stessa. All'aumentare della distanza, gli effetti della turbolenza termica producono un aumento nella dispersione verticale rappresentato tramite il parametro $\sigma_z(M)$, che ad una distanza dipendente dal parametro di dispersione orizzontale σ_y , si esauriscono, conferendo alla dispersione il tipico andamento gaussiano indicato da Pasquill:

$$\sigma_z(P) = \alpha X^{\beta} \gamma$$

con X distanza sottovento dalla sorgente (Km) e α, β, γ dipendenti dalle condizioni di stabilità atmosferica.

Il *parametro di dispersione orizzontale* (σ_y), invece, oltre che dalla deviazione standard della fluttuazione della direzione del vento orizzontale e dalla distanza sottovento dalla sorgente, dipende anche dal tempo di diffusione secondo il modello *Draxler* che pone:

$$\sigma_y = \sigma_\theta * X * F(T, t_L)$$

σ_θ = deviazione standard della direzione del vento orizzontale;

X = distanza sottovento alla sorgente;

$F(T, t_L)$ = funzione del tempo di diffusione T e del tempo di scala lagrangiano t_L , data da:

$$F(T, t_L) = 1 / [1 + 0.9 * (T/T')^{0.5}]$$

Dove T' è il tempo di diffusione necessario perché la funzione raggiunga il valore F=0.5 e $T' \propto t_L$

3.2.2 Applicazione del codice Caline

CALINE è un modello stazionario gaussiano che simula le ricadute degli inquinanti da traffico da archi viari. L'approccio del modello nel ricostruire le condizioni di dispersione degli inquinanti (e quindi le dimensioni laterale e verticale del pennacchio gaussiano), consiste nel considerare la zona direttamente sopra la carreggiata come una regione di rimescolamento uniforme, definita mixing zone. In tale zona i meccanismi dominanti sono la turbolenza meccanica creata dal movimento dei veicoli e termica dei gas di scarico. Queste componenti aggiuntive della turbolenza atmosferica impartiscono una dispersione verticale iniziale, in funzione del tempo di permanenza della massa inquinante nella mixing zone. Minore è la velocità del vento, maggiore è la dispersione verticale che subisce una particella d'aria prima di essere trasportata fino al recettore. Il parametro che ha il maggior peso nel calcolo delle ricadute è la direzione del vento, che pone o meno i siti recettori sottovento alla sorgente emissiva. La topografia urbana e la presenza di edifici lungo l'arco viario considerato comportano l'incanalamento del vento, con variazione di velocità e direzione rispetto al vento esterno all'area edificata. La presenza degli edifici ai bordi della carreggiata, inoltre, influisce sulla turbolenza meccanica. Questo effetto, che comporta un incremento della dispersione verticale, viene quantificato attraverso la roughness (lunghezza di rugosità) dell'area di studio, ricavata in modo empirico come un decimo dell'altezza media degli edifici lungo entrambe le carreggiate dell'arco viario considerato.

*“Nuovo Stadio di Cagliari – Studio di Impatto Ambientale (SIA)
Studio Diffusionale emissioni in atmosfera*

L'applicazione del modello CALINE IV nel presente caso di studio ha previsto le seguenti fasi:

Acquisizione ed elaborazione dei dati territoriali:

- a) L'area di calcolo definita nell'intorno dell'area oggetto del progetto pari a circa 2 km in direzione E-O e 1,5 km in direzione N-S

Acquisizione ed elaborazione delle informazioni relative alle emissioni del traffico indotto dal porto

- a) Sono elaborati i dati di emissione per il calcolo dei fattori di emissione dei veicoli pesanti e leggeri utilizzando i fattori di emissione ISPRA SINANET applicandoli al flusso di veicoli per ogni percorso definiti nello studio trasportistico
- b) Sono elaborati i dati di emissione per il calcolo dei fattori di emissione dei veicoli marittimi commerciali e passeggeri, utilizzando i fattori di emissione EMEP applicandoli ai movimenti descritti nella relazione generale di progetto
- c) Le suddette elaborazioni sono state svolte per lo stato di esercizio ante e post progetto

Applicazione del codice numerico di dispersione degli inquinanti per la valutazione delle concentrazioni nei recettori.

- a) Il codice di dispersione CALINE IV viene utilizzato per la valutazione delle ricadute degli inquinanti dalle sorgenti emissive da traffico in area urbana. Applicato il codice di dispersione nella configurazione di “screening” (worst case) che identifica la peggiore situazione descrivibile dal modello dispersione a favore di sicurezza.
- b) Le simulazioni forniscono come risultati le concentrazioni sul dominio di calcolo selezionato.

Risultati

- a) I risultati delle simulazioni sono rappresentati in forma di mappe di isoconcentrazione su griglia cartesiana per il dominio di calcolo e confrontati con i valori limite di qualità dell'aria

I risultati delle simulazioni sono rappresentati in forma di mappe di isoconcentrazione su griglia cartesiana per il dominio di calcolo e confrontati con i valori limite di qualità dell'aria

All'interno di CALINE4 le strade sono definite come segmenti rettilinei dei quali è necessario specificare le seguenti caratteristiche:

- endpoint delle coordinate;
- altezza delle strade dal piano campagna;
- larghezza della “mixing zone”;
- dispersione verticale di canyon o bluff.

Endpoint delle coordinate: le coordinate cartesiane degli endpoint (x1, y1) e (x2, y2) definiscono le posizioni degli estremi dei tratti stradali. La lunghezza del segmento impostato in CALINE4 le coordinate degli endpoint sono state definite secondo il sistema metrico.

Altezza delle strade dal piano campagna: per tutti i tipi di strade questo parametro che rappresenta l'altezza della strada sopra il terreno circostante è stato definito a quota 0 m.

Larghezza della “mixing zone”: i calcoli gaussiani di diffusione si basano sul modello della “mixing zone” definita come un'area di spessore pari alla dimensione della strada +3 metri a destra e +3 metri a sinistra di essa (per tenere conto della dispersione orizzontale d'inquinante legata alla scia generata dal movimento dei veicoli). In quest'area si assume che la turbolenza e l'emissione siano costanti e che la turbolenza (termica e meccanica) sia dovuta alla presenza di veicoli in movimento a temperature elevate. La dispersione verticale

*“Nuovo Stadio di Cagliari – Studio di Impatto Ambientale (SIA)
Studio Diffusionale emissioni in atmosfera*

di inquinante (SGZ1) è funzione della turbolenza ed è indipendente dal numero di veicoli (in un intervallo di 4000 – 8000 veicoli/ora) e dalla loro velocità (in un intervallo di circa 40 – 96 km/h): questo perché un incremento del traffico aumenta la turbolenza termica ma riduce la turbolenza meccanica legata alla velocità (da qui l’ipotesi di costanza della turbolenza nella “mixing zone”). SGZ1 dipende invece dal tempo di residenza TR dell’inquinante nella “mixing zone” che è funzione della velocità del vento

(State of California, Department of Transportation, 1989).

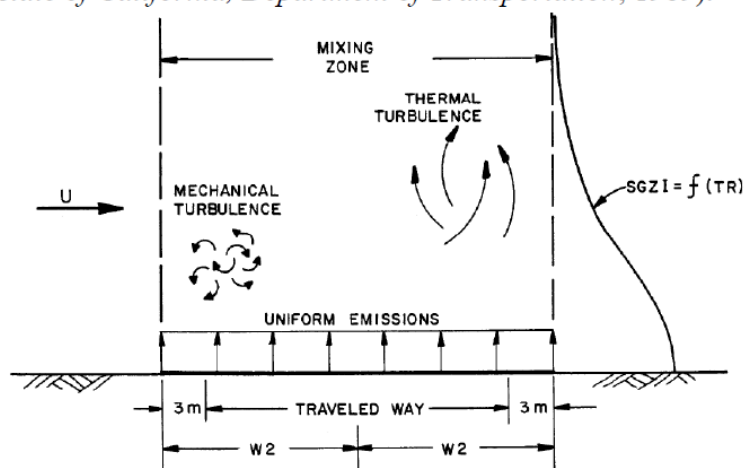


Figura 24: Arco stradale e parametri considerati dal modello CALINE4

Dispersione verticale di canyon o bluff: il modello è basato su due assunzioni – il flusso del vento orizzontale omogeneo e le condizioni meteorologiche di stato stazionario – piuttosto restrittive. La topografia complessa può invalidare ognuna di queste assunzioni: canyon possono canalizzare i venti, colline e valli possono causare frequenti spostamenti della direzione del vento. L’utilizzo di CALINE4 in terreni complessi deve pertanto procedere con cautela. Il modello gestisce situazioni di bluff e canyon riflettendo il flusso di dispersione dell’inquinante a distanze specificate su uno o più siti della mixing zone.

La topografia dell’area urbana-industriale di Genova, il fatto che la presenza degli edifici sia già considerata con il parametro “rugosità superficiale” hanno portato a inserire entrambi questi parametri (canyon e bluff) con valore uguale a 0 per tutti i percorsi considerati. Per definire la classificazione ai fini delle simulazioni con CALINE4 si sono valutati i seguenti parametri per ciascuna tipologia di strada necessari per individuare i dati di input per il modello.

Tipologia di Strada	Aerodynamic Roughness Coefficient	Mixing Zone Height
Urbana	200 cm	12

3.2.3 Applicazione GIS e redazione delle mappe di concentrazione

E’ stato sviluppato un apposito algoritmo che permettesse di applicare il modello CALINE4 in modo sistematico ad un dominio di calcolo di grandi dimensioni (5 km x 5 km) quale quello descritto ed individuato

*"Nuovo Stadio di Cagliari – Studio di Impatto Ambientale (SIA)
Studio Diffusionale emissioni in atmosfera*

per queste simulazioni. L'algoritmo permette di ottenere risultati delle simulazioni sull'intera estensione del dominio di calcolo (circa 25km² circa) che è suddiviso in una griglia regolare di passo cella 10 m x 10 m

4 SCENARIO DI CANTIERE

4.1 CALPUFF

Il sistema di modelli CALPUFF MODEL SYSTEM, inserito dall'U.S. EPA in Appendix A di "Guideline on Air Quality Models", è stato sviluppato da Sigma Research Corporation, ora parte di Earth Tech, Inc, con il contributo di California Air Resources Board (CARB).

Il sistema di modelli è composto da tre componenti:

- Il preprocessore meteorologico CALMET: utile per la ricostruzione del campo tridimensionale di vento e temperatura all'interno del dominio di calcolo;
- Il processore CALPUFF: modello di dispersione, che 'inserisce' le emissioni all'interno del campo di vento generato da Calmet e ne studia il trasporto e la dispersione;
- Il postprocessore CALPOST: ha lo scopo di processare i dati di output di CALPUFF, in modo da renderli nel formato più adatto alle esigenze dell'utente.

CALMET è un preprocessore meteorologico di tipo diagnostico, in grado di riprodurre campi tridimensionali di vento e temperatura e campi bidimensionali di parametri descrittivi della turbolenza. È adatto a simulare il campo di vento su domini caratterizzati da orografia complessa. Il campo di vento viene ricostruito attraverso stadi successivi, in particolare un campo di vento iniziale viene rielaborato per tenere conto degli effetti orografici, tramite interpolazione dei dati misurati alle centraline di monitoraggio e tramite l'applicazione di specifici algoritmi in grado di simulare l'interazione tra il suolo e le linee di flusso. Calmet è dotato, infine, di un modello micrometeorologico per la determinazione della struttura termica e meccanica (turbolenza) degli strati inferiori dell'atmosfera.

CALPUFF è un modello di dispersione 'a puff' multistrato non stazionario. È in grado di simulare il trasporto, la dispersione, la trasformazione e la deposizione degli inquinanti, in condizioni meteorologiche variabili spazialmente e temporalmente. CALPUFF è in grado di utilizzare campi meteorologici prodotti da CALMET, oppure, in caso di simulazioni semplificate, di assumere un campo di vento assegnato dall'esterno, omogeneo all'interno del dominio di calcolo. CALPUFF contiene diversi algoritmi che gli consentono, opzionalmente, di tenere conto di diversi fattori, quali: l'effetto scia dovuto agli edifici circostanti (building downwash) o allo stesso camino di emissione (stack-tip downwash), shear verticale del vento, deposizione secca ed umida, trasporto su superfici d'acqua e presenza di zone costiere, presenza di orografia complessa, ecc. CALPUFF è infine in grado di trattare diverse tipologie di sorgente emissiva, in base essenzialmente alle caratteristiche geometriche: sorgente puntiforme, lineare, areale, volumetrica.

CALPOST consente di elaborare i dati di output forniti da CALPUFF, in modo da ottenere i risultati in un formato adatto alle esigenze dell'utente. Tramite Calpost si possono ottenere dei file di output direttamente interfacciabili con software grafici per l'ottenimento di mappe di concentrazione.

4.2 Configurazione codice di calcolo

Al fine dell'implementazione della catena modellistica per la valutazione del potenziale impatto in atmosfera derivante dalle attività di cantiere è stato necessario definire per ognuna delle aree di cantiere esaminate, i seguenti dati:

- dominio di calcolo e schema di modellazione;
- condizioni meteoroclimatiche;
- parametri emissivi.

4.3 Dominio di calcolo e schema di modellazione

La dispersione delle polveri e degli inquinanti potenzialmente prodotte in fase di cantiere è stata simulata, su di un'area compatibile con quella dell'opera in progetto. Al fine di poter correttamente ricostruire la meteorologia dell'area in esame e per la dispersione degli inquinanti si sono individuati domini di calcolo di estensione pari ad un'area di circa 4.0 km x 4.0 km il cui baricentro cade nelle aree di cantiere da simulare. Ai fini del calcolo della concentrazione delle polveri e dei gas, i domini di calcolo sono stati suddivisi in un grigliato con maglie quadrate di passo pari a 100 m sia in direzione nord-sud che in direzione est-ovest.

Tabella 4: Domini di calcolo per la dispersione

	Estensione del dominio	
	UTM WGS84	Passo griglia
	FUSO 32 [m]	
Dominio simulazione	509300.0,4337000.0	100 m
	513300.0,4341000.0	

4.4 Parametri di calcolo

Nel file di controllo del modello sono state impostate le seguenti opzioni:

- trasformazioni chimiche non considerate (condizione cautelativa);
- deposizione umida non simulata (condizione cautelativa);
- deposizione secca non simulata per gli inquinanti particellari e non simulata per quelli gassosi;
- coefficienti di dispersione calcolati in base alle variabili micro-meteorologiche.

Per tutte le altre impostazioni sono stati utilizzati i valori di default consigliati. Per meglio valutare il reale impatto delle emissioni inquinanti considerate si sono inseriti nel codice di calcolo, file di controllo di CALPUFF, i coefficienti di ripartizione giornaliera delle emissioni da ogni area di cantiere e la disaggregazione media oraria per il traffico.

*“Nuovo Stadio di Cagliari – Studio di Impatto Ambientale (SIA)
Studio Diffusionale emissioni in atmosfera*

Per l'applicazione del codice di calcolo CALPUFF MODEL SYSTEM sono stati predisposti i necessari files di ingresso, per le simulazioni del periodo solare dell'anno 2015, configurazione del codice, realizzati come di seguito riportato in tabella.

Tabella 5: Configurazione CALPUFF per le sorgenti

Parametro	Descrizione
Periodo	Anno solare 2022
Emissioni CANTIERE	Le emissioni di cantiere sono state rappresentate nel codice di calcolo come emissioni volumetriche ed inserite come variabili su scala oraria per le effettive ore di lavorazione del cantiere.
Meteorologia	La configurazione prevede impostazione di Meteorological Data Format (METFM = 1, METFM = 2, METFM = 3 - ISC ASCII file (ISCMET.MET), come previsto nel Manuale Operativo del codice. I dati sono relativi all'anno 2022 per l'aeroporto di Cagliari.
Simulazioni	
Dispersione	Sono state effettuate simulazioni “short term” per la valutazione della dispersione degli inquinanti emessi su scala oraria per il periodo di riferimento e per i vari scenari
Output	
	Sono stati elaborati i dati di concentrazioni di polveri calcolati da CALPUFF sia nei “recettori discreti”, ovvero in corrispondenza di punti selezionati come “sensibili” per valutare il rispetto dei limiti di legge, che come “recettori grigliati” per ottenere le mappe di isonconcentrazione sul dominio di indagine.

5 RISULTATI

5.1 Scenario di esercizio

Le simulazioni svolte con CALINE hanno permesso di caratterizzare gli impatti sulla qualità dell'aria derivanti dalle emissioni da traffico indotto nello stato attuale e post progetto del porto canale di Cagliari. I risultati sono stati rappresentati sotto forma di mappe di concentrazione per gli inquinanti considerati. Tutti i valori sono stati confrontati con i valori limite di qualità dell'aria previsti dal DLgs 155/2010 e smi.

Nelle simulazioni svolte per i due scenari (attuale e futuro) i valori risultano inferiori ai limiti di legge.

Per quanto riguarda i potenziali impatti dello stato futuro rispetto a quello attuale si può concludere che non si hanno modificazioni significative della qualità dell'aria sia per le polveri che per i gas emessi dal traffico stradale indotto.

Massimo valore di concentrazione sul dominio di calcolo	Scenario Attuale [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Scenario Futuro [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Valore limite qualità dell'aria [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
NO ₂ (valutati come NO _x) media annuale	0.903	1.184	40
NO ₂ (valutati come NO _x) 99.8° percentile medie orarie	3.785	4.962	200
PM ₁₀ media annuale	0.097	0.127	40
PM ₁₀ 90.4° percentile medie giorno	0.155	0.203	50

Infatti, come evidente dalle mappe di isoconcentrazione riportate nel seguito del documento i valori di concentrazione sia di PM₁₀ che di NO₂ (assunti pari a NO_x simulati) sono entro i limiti previsti dalla normativa negli ambiti abitativi e potenziali recettori sul dominio di calcolo. Lo scenario di progetto non modifica lo stato della qualità dell'aria infatti, le modificazioni sia della viabilità che del traffico navale avvengono in ambito lontano dall'abitato urbano e da potenziali recettori.

Si può concludere come lo stato futuro è compatibile con l'ambiente per quanto riguarda la qualità dell'aria. Di seguito si riportano le mappe di isconcentrazione.

"Nuovo Stadio di Cagliari – Studio di Impatto Ambientale (SIA)
Studio Diffusionale emissioni in atmosfera

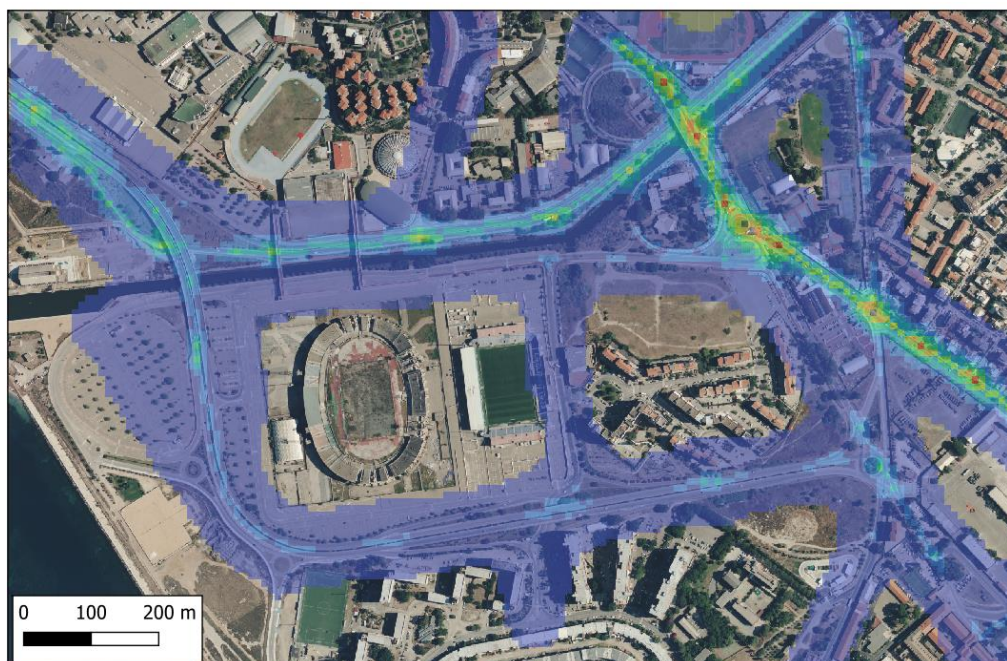


Figura 25: NOX concentrazione oraria valutata come 99.8°percentile su base annuale - scenario attuale.

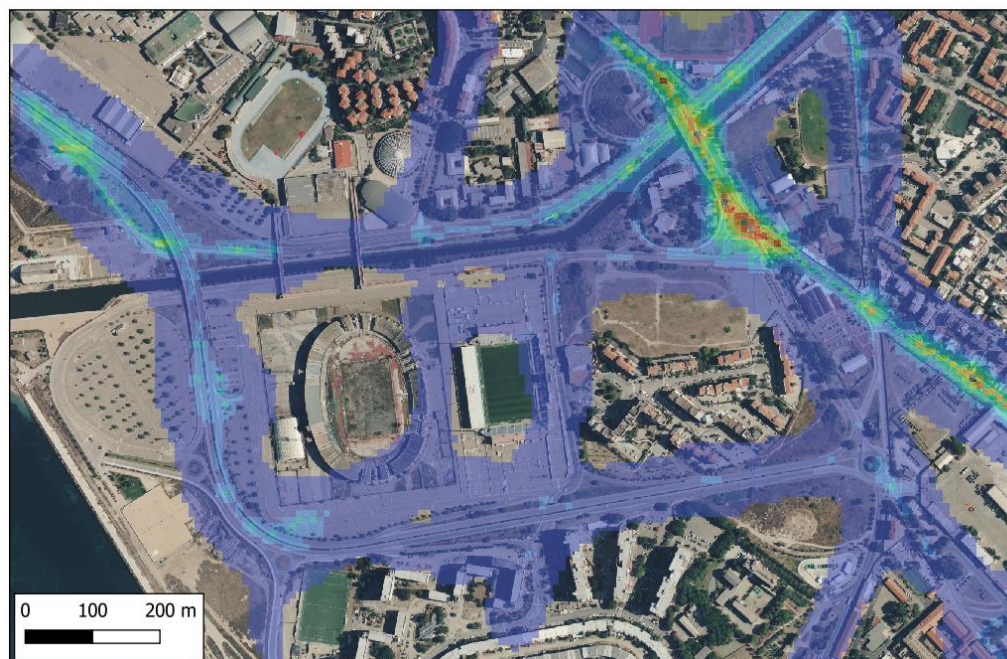


Figura 26: NOX concentrazione oraria valutata come 99.8°percentile su base annuale - scenario futuro.

"Nuovo Stadio di Cagliari – Studio di Impatto Ambientale (SIA)
Studio Diffusionale emissioni in atmosfera

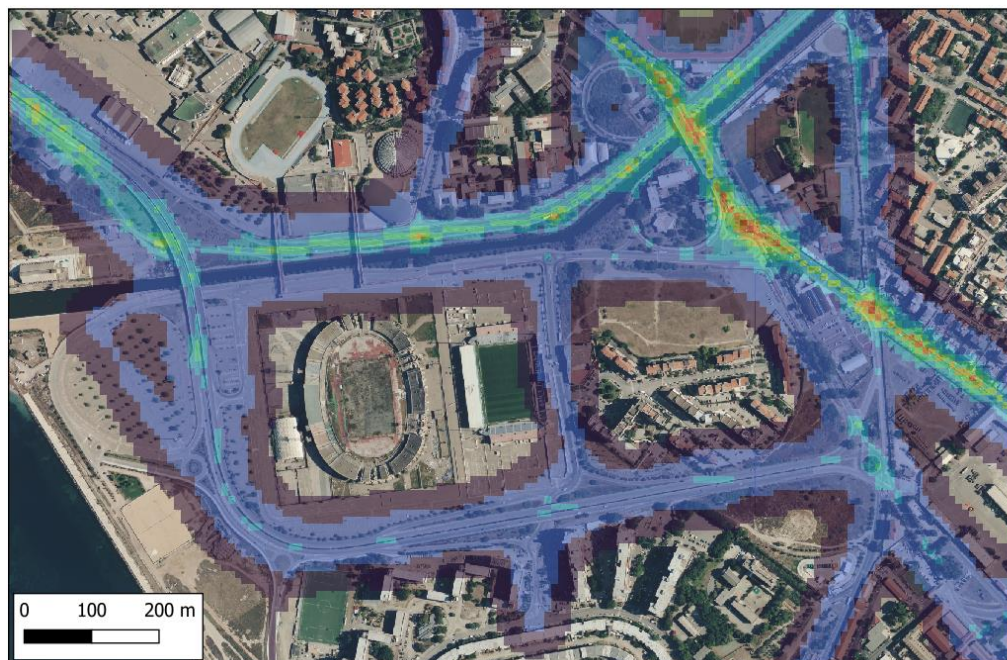


TAVOLA 03 - ATTUALE

NOx concentrazione
ug/m3

<= 0.01
0.01 - 0.10
0.10 - 0.20
0.20 - 0.30
0.30 - 0.40
0.40 - 0.50
0.50 - 0.80
0.80 - 1.00
1.00 - 1.10

Valore media annuale

Figura 27: NOX concentrazione media annuale - scenario attuale.

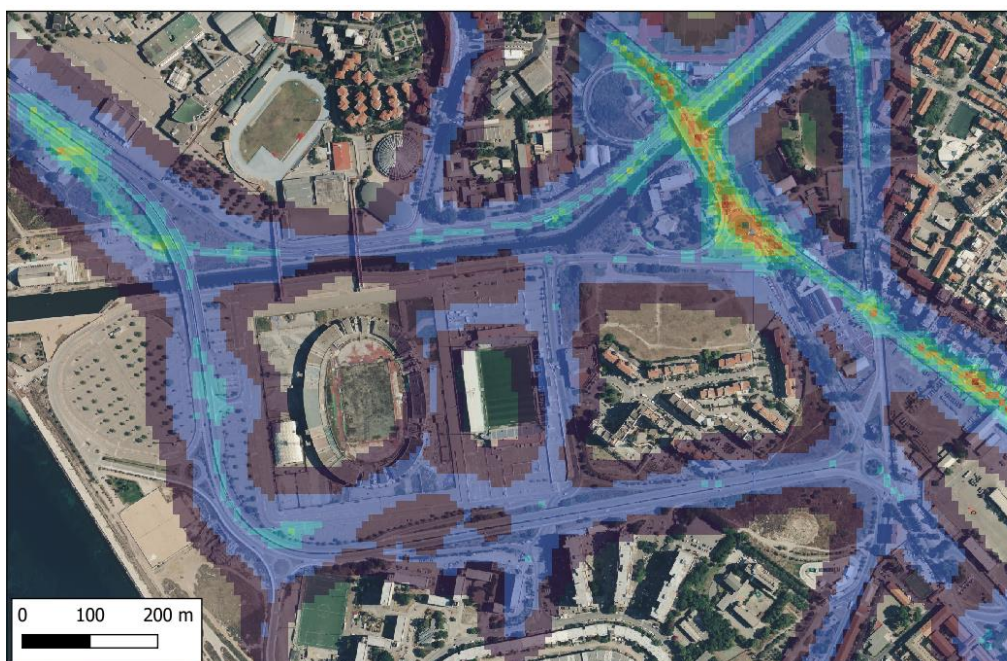


TAVOLA 04 - FUTURO

NOx concentrazione
ug/m3

<= 0.01
0.01 - 0.10
0.10 - 0.20
0.20 - 0.30
0.30 - 0.40
0.40 - 0.50
0.50 - 0.80
0.80 - 1.00
1.00 - 1.10

Valore media annuale

Figura 28: NOX concentrazione media annuale - scenario futuro.

"Nuovo Stadio di Cagliari – Studio di Impatto Ambientale (SIA)
Studio Diffusionale emissioni in atmosfera

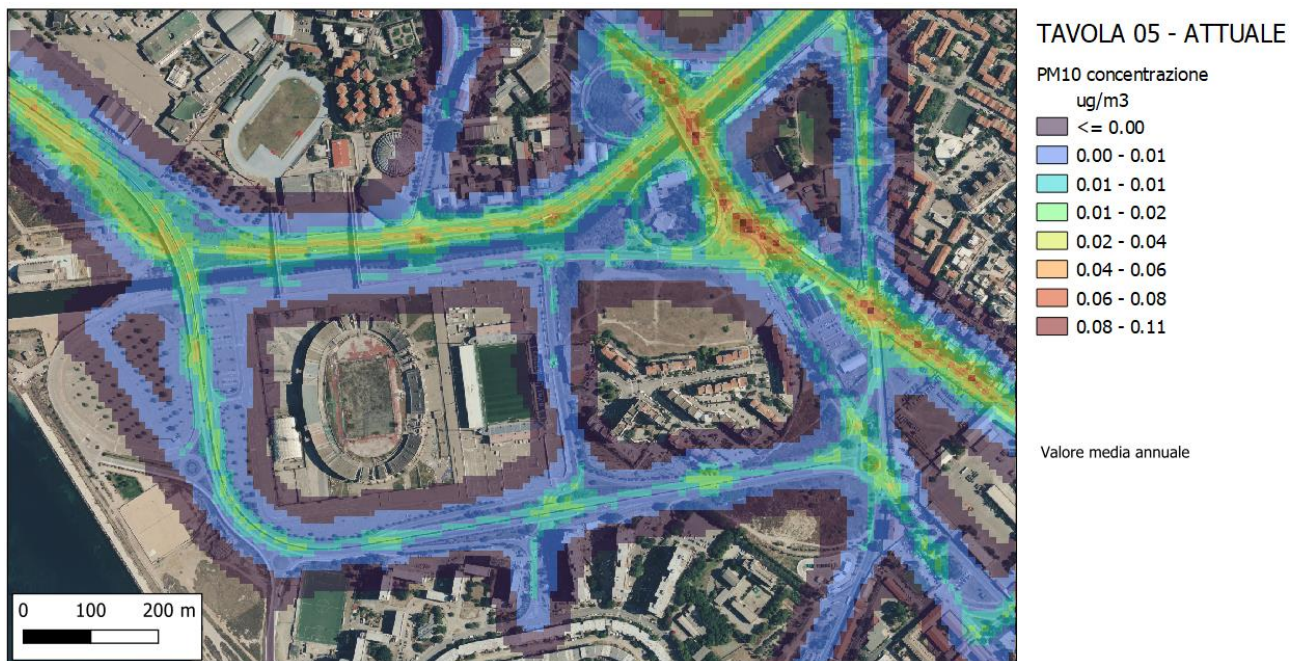


Figura 29: PM10 concentrazione media annuale - scenario attuale.

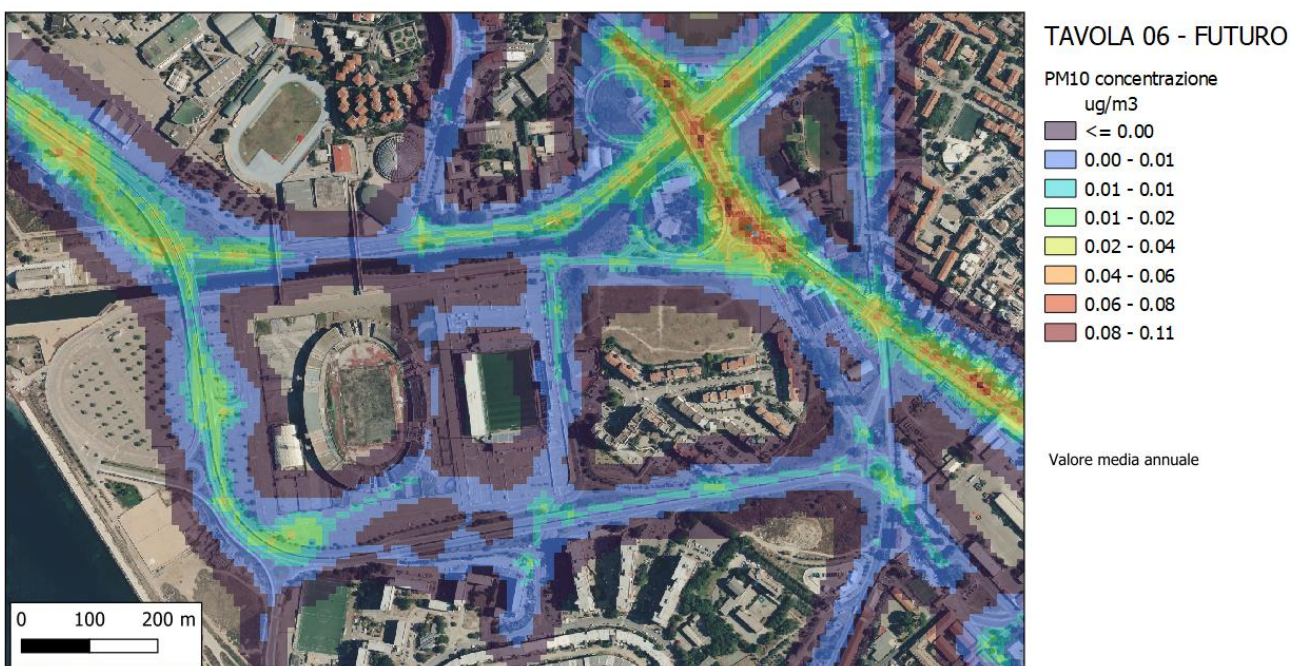


Figura 30: PM10 concentrazione media annuale - scenario futuro.

**"Nuovo Stadio di Cagliari – Studio di Impatto Ambientale (SIA)
Studio Diffusionale emissioni in atmosfera**

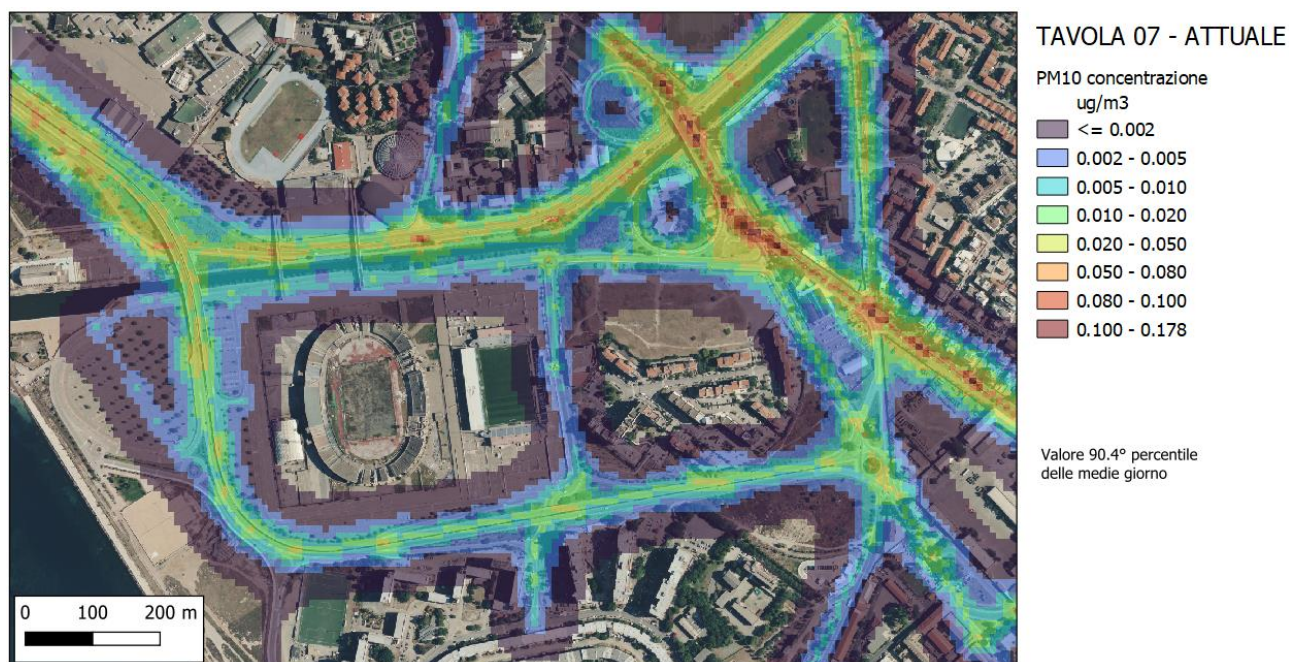


Figura 31: PM10 concentrazione media giorno valutata come 90.4°percentile su base annuale - scenario attuale.

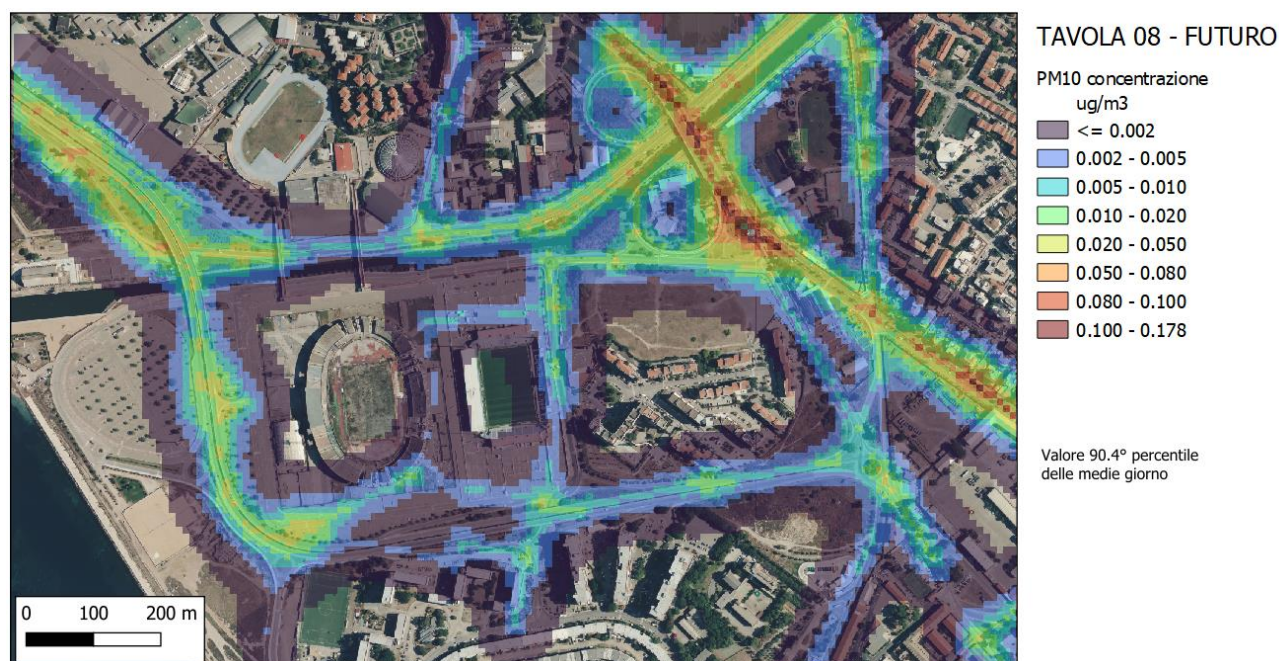


Figura 32: PM10 concentrazione media giorno valutata come 90.4°percentile su base annuale - scenario futuro.

5.2 Scenario di cantiere

Sulla base delle informazioni sopra citate, del dato emissivo calcolato, della durata del cantiere e della localizzazione delle aree di lavoro, si è applicato Calpuff per la dispersione dalle lavorazioni di cantiere. Le simulazioni svolte, tramite il codice di calcolo numerico selezionato, hanno permesso di valutare gli scenari

*“Nuovo Stadio di Cagliari – Studio di Impatto Ambientale (SIA)
Studio Diffusionale emissioni in atmosfera*

di impatto sulla qualità dell'aria delle emissioni derivanti dall'attività di cantiere nel loro svolgimento operativo. Gli inquinanti simulati sono PM10 e NOX, in quanto quelli tipicamente più critici per la qualità dell'aria. I risultati delle simulazioni sono stati rappresentati come mappe di isoconcentrazione delle medie annue e dei massimi orari per NO2 e giornalieri per PM10 e i risultati sono stati valutati relazionandoli con gli indicatori di qualità dell'aria previsti dalla normativa vigente.

Massimo valore di concentrazione sul dominio di calcolo	Scenario Cantiere [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Valore limite qualità dell'aria [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
NO2 (valutati come NOx) media annuale	2.72	40
NO2 (valutati come NOx) 99.8° percentile medie orarie	32.10	200
PM10 media annuale	2.37	40
PM10 90.4° percentile medie giorno	3.99	50

Si fa presente che i valori massimi si riscontrano tutti all'interno delle aree di lavoro.



Figura 33: NOX concentrazione oraria valutata come 99.8°percentile su base annuale - scenario cantiere.

"Nuovo Stadio di Cagliari – Studio di Impatto Ambientale (SIA)
Studio Diffusionale emissioni in atmosfera



Figura 34: NOx concentrazione media annuale - scenario cantiere.



Figura 35: PM10 concentrazione media annuale - scenario cantiere.

"Nuovo Stadio di Cagliari – Studio di Impatto Ambientale (SIA)
Studio Diffusionale emissioni in atmosfera



Figura 36: PM10 concentrazione media giorno valutata come 90.4°percentile su base annuale - scenario cantiere.

I risultati mostrano come i valori di concentrazione sia su breve periodo (media oraria e media giornaliera) che su lungo periodo (media annuale) siano compatibili con gli standard di qualità dell'aria. Inoltre, da notare che l'impatto stimato è stato determinato considerando come operativa per tutti i mesi dell'anno la situazione più gravosa dal punto di vista emissivo. Pertanto, i risultati sono da considerare cautelativi e indicano che la realizzazione dell'opera è compatibile con i parametri ambientali allo studio.

A quanto sopra, si aggiunge che nelle valutazioni effettuate non è stato considerato l'effetto di mitigazioni che solitamente possono essere presenti presso le aree di cantiere, come ad esempio le bagnature.

6 CONCLUSIONI

Il presente documento riassume i risultati dello studio di simulazione delle emissioni e di valutazione delle ricadute al suolo del traffico indotto del progetto del nuovo stadio di Cagliari, nello stato attuale e post operam. In particolare, a partire dai dati di traffico indotto stradale si è provveduto a stimare le emissioni di polveri PM10 e gas NOx (ossidi di azoto). I risultati mostrano come i valori di concentrazione sia su breve periodo (media oraria e media giornaliera) che su lungo periodo (media annuale) siano compatibili con gli standard di qualità dell'aria.

Sono stati valutati inoltre gli impatti potenziali per la fase di cantiere che per loro caratteristica sono reversibili e comunque stimati come compatibili con la qualità dell'aria.