

PROGETTO N° A11002-D

AUTOSTRAD E SESTRI LEVANTE – LIVORNO  
con diramazione VIAREGGIO – LUCCA e FORNOLA – LA SPEZIA

Gruppo S.I.A.S. S.p.A.

MIGLIORAMENTO VIABILITA' SVINCOLI

**NUOVO SVINCOLO A12 - S.S.1 VIA AURELIA SUD  
LOCALITA' CIMITERO DI STAGNO  
COMUNE DI PISA**

**PROGETTO DEFINITIVO**

PROGETTAZIONE:



Ing. Dorina Spoglianti  
Iscritto Albo Ingegneri  
Prov. di Milano n° A 20953

CONSULENZA PROGETTAZIONE:



EM./RE.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	CONTR.	APPROV.
0	agosto 2011	Prima Emissione	A.C. Bertetti	M. Battiston	D. Spoglianti

**STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE  
QUADRO DI RIFERIMENTO AMBIENTALE**

Studio atmosferico

CODICE IDENTIFICATIVO: **03\_QA\_XL\_01**

Scala:

  
**società autostrada ligure toscana p.a.**  
AMMINISTRATORE DELEGATO

(Dott. Ing. Paolo Pierantoni)



Sede sociale:  
55041 Lido di Camaiore (LU)  
via Don Enrico Tazzoli 9  
Casella postale 56

Telefono: 0584-9091  
Telefax: 0584-909300/319  
E-mail: salt@salt.it  
www.salt.it

Capitale sociale  
€ 120.000.000  
interamente versato

Codice Fiscale – P.IVA e  
n.Iscr. Registro Imprese Lucca  
00140570466

**SALT**  
**SOCIETA' AUTOSTRADA LIGURE TOSCANA s.p.a.**

**AUTOSTRADA A12**

**MIGLIORAMENTO VIABILITA' SVINCOLI**

**Nuovo svincolo A12 – S.S.1 Via Aurelia sud  
Località Cimitero di Stagno - Comune di Pisa**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE**

**STUDIO ATMOSFERICO**

						
0	Agosto 2011	Prima emissione	A. Bertetti	M. Battiston	D. Spoglianti	
<b>Rev.</b>	<b>Data</b>	<b>Descrizione</b>	<b>Redatto</b>	<b>Controllato</b>	<b>Approvato</b>	
Attività: A.102.S.108.D1			Documento: 03_QA_XL_01			



## INDICE

<b>1. QUADRO DI RIFERIMENTO NORMATIVO.....</b>	<b>3</b>
1.1. NORMATIVA NAZIONALE .....	3
1.2. LA PROGRAMMAZIONE REGIONALE PER LA QUALITÀ DELL'ARIA E LA ZONIZZAZIONE.....	11
1.2.1. <i>Il quadro emissivo</i> .....	13
1.2.2. <i>Nuova zonizzazione del territorio ai sensi del D.Lgs. 155/10</i> .....	14
<b>2. QUADRO DI RIFERIMENTO AMBIENTALE .....</b>	<b>19</b>
2.1. CARATTERISTICHE METEOCLIMATICHE DELL'AREA.....	19
2.1.1. <i>Dati di fonte pubblica</i> .....	21
2.1.2. <i>Ricostruzione campi di vento LAMA</i> .....	26
2.2. QUALITÀ DELL'ARIA .....	31
2.2.1. <i>Dati centraline presenti nell'area</i> .....	32
2.2.2. <i>Rilievi strumentali sito specifici</i> .....	42
2.2.3. <i>Valutazione modellistica livelli di inquinamento determinati dal sistema infrastrutturale</i> .....	43
2.3. SENSIBILITÀ AMBIENTALE ANTROPICA E NATURALE DELL'AREA .....	53
<b>3. QUADRO DI RIFERIMENTO PREVISIONALE .....</b>	<b>67</b>
<b>4. CANTIERI .....</b>	<b>72</b>

## 1. QUADRO DI RIFERIMENTO NORMATIVO

### 1.1. NORMATIVA NAZIONALE

La normativa italiana relativamente all'inquinamento atmosferico ha subito recentemente una radicale revisione attraverso il recepimento della Direttiva 2008/50/CE, avvenuta tramite il Decreto Legislativo 13/08/2010, n. 155, che ha abrogato praticamente tutte le norme precedentemente vigenti. Fanno eccezione le disposizioni relative alle emissioni e alle loro autorizzazioni che continuano ad essere normate dal DLgs 152/06 e successive modifiche tra le quali, di particolare importanza risultano essere quelle apportate dal Decreto legislativo 29/06/2010, n. 128.

L'obiettivo del Dlgs 155/10 (art. 1) è quello di istituire un quadro normativo unitario in materia di valutazione e gestione della qualità dell'aria, al fine di:

- individuare obiettivi di qualità dell'aria ambiente volti a evitare, prevenire o ridurre effetti nocivi per la salute umana e per l'ambiente nel suo complesso;
- valutare la qualità dell'aria ambiente sulla base di metodi e criteri comuni su tutto il territorio nazionale;
- ottenere informazioni sulla qualità dell'aria ambiente come base per individuare le misure da adottare per contrastare l'inquinamento e gli effetti nocivi dell'inquinamento sulla salute umana e sull'ambiente e per monitorare le tendenze a lungo termine, nonché i miglioramenti dovuti alle misure adottate;
- mantenere la qualità dell'aria ambiente, laddove buona, e migliorarla negli altri casi;
- garantire al pubblico le informazioni sulla qualità dell'aria ambiente;
- realizzare una migliore cooperazione tra gli Stati dell'Unione europea in materia di inquinamento atmosferico.

Gli inquinanti che il decreto ritiene opportuno monitorare e per i quali vengono definiti specifici riferimenti normativi sono: biossido di zolfo, biossido di azoto, ossidi di azoto, benzene, monossido di carbonio, piombo e PM10, PM2,5, arsenico, cadmio, nichel e benzo(a)pirene.

Gli strumenti definiti dal decreto per la gestione della qualità dell'aria sono:

- zonizzazione e classificazione del territorio;
- sistemi di valutazione della qualità dell'aria;
- piani per la riduzione dei livelli di inquinamento, per il mantenimento e per la gestione dei eventi acuti.

La zonizzazione e la classificazione del territorio spetta alle Regioni e alle Province Autonome e ha l'obiettivo di individuare porzioni di territorio omogenee dal punto di vista della valutazione della qualità dell'aria ambiente per ciascuno degli inquinanti normati. La suddivisione del territorio viene effettuata prioritariamente attraverso l'individuazione dei agglomerati (area urbane caratterizzate da specifiche caratteristiche di unitarietà spaziale e di densità di popolazione) e in seconda battuta delle altre zone. I criteri per la zonizzazione sono definiti dettagliatamente nell'Appendice 1 del decreto.

La valutazione della qualità dell'aria ambiente all'interno di ogni agglomerato/zona spetta alle Regione e alle Province Autonome ed è fondata su una rete di misura e su un programma di valutazione in cui vengono indicate le stazioni di misurazione della rete di misura utilizzate per le misurazioni in siti fissi e per le misurazioni indicative, le tecniche di modellizzazione e le tecniche di stima obiettiva. La possibilità di impiegare metodologie diversificate è stabilita per ogni inquinante in base alla definizione di soglie di valutazione superiore e inferiore. Al di sopra delle soglie di valutazioni superiore la valutazione della qualità dell'aria ambiente può essere effettuata esclusivamente mediante rilievi in postazioni fisse. Al di sotto di tale soglia le misurazioni in siti fissi possono essere combinate con misurazioni indicative o tecniche di modellizzazione e, per l'arsenico, il cadmio, il nichel ed il benzo(a) pirene, le misurazioni in siti fissi o indicative possono essere combinate con tecniche di modellizzazione. Al di sotto della soglia di valutazione inferiore è previsto, anche in via esclusiva, l'utilizzo di tecniche di modellizzazione o di stima obiettiva. Il superamento delle soglie di valutazione superiore e delle soglie di valutazione inferiore deve essere determinato in base alle concentrazioni degli inquinanti nell'aria ambiente nei cinque anni civili precedenti. Il superamento si realizza se la soglia di valutazione è stata superata in almeno tre sui cinque anni civili precedenti. Nella Tabella 1-1 per ognuno degli inquinanti previsti dalla norma, vengono indicate le soglie di valutazione inferiore e superiore.

La valutazione della qualità dell'aria ambiente è il presupposto per l'individuazione delle aree di superamento dei valori, dei livelli, delle soglie e degli obiettivi previsti dal Dlgs 155/10. In presenza di un superamento dei limiti normativi spetta alle Regione e alla Province Autonome predisporre i piani e le misure da adottare per assicurare il contenimento delle concentrazioni al di sotto delle prescrizioni normative. Gli interventi devono essere definiti secondo criteri di efficienza ed efficacia e devono agire sull'insieme delle principali sorgenti di emissione, ovunque localizzate, che influenzano le aree in cui si è riscontrato il superamento, senza l'obbligo di estendersi all'intero territorio della zona o dell'agglomerato, né di limitarsi a tale territorio. Le modalità e i contenuti dei piani, differenziati per inquinante e per tipologia di limite di riferimento sono definiti negli allegati e nelle appendici del decreto.

Le tipologie di limiti previste dal decreto sono sintetizzate nella Tabella 1-2 mentre dalla



**A 12 – AUTOSTRADE SESTRI LEVANTE – LIVORNO**  
**Nuovo Svincolo A12 - S.S.1 Via Aurelia Sud – Località**  
**Cimitero Di Stagno - Comune Di Pisa**  
**Progetto Definitivo – Quadro di riferimento ambientale**

Tabella 1-3 alla Tabella 1-12 per ogni inquinante si riportano i limiti applicabili e i rispettivi valori.

*Tabella 1-1: Soglie di valutazione superiore e inferiore*

<b>INQUINANTE</b>	<b>PARAMETRO DI RIFERIMENTO</b>	<b>SOGLIA VALUTAZIONE SUPERIORE</b>	<b>SOGLIA VALUTAZIONE INFERIORE</b>
SO <sub>2</sub>	Protezione della salute umana	60% del val. lim. sulle 24 ore (75 µg/m <sup>3</sup> da non superare più di 3 volte/anno)	40% val. lim. sulle 24 ore (50 µg/m <sup>3</sup> da non superare più di 3 volte/anno)
SO <sub>2</sub>	Protezione della vegetazione	60% del livello critico invernale (12 µg/m <sup>3</sup> )	40% del livello critico invernale (8 µg/m <sup>3</sup> )
NO <sub>2</sub>	Protezione della salute umana	70 % del val. lim. orario (140 µg/m <sup>3</sup> da non superare più di 18 volte/anno)	50 % del val. lim. orario (100 µg/m <sup>3</sup> da non superare più di 18 volte)
NO <sub>2</sub>	Protezione della salute umana Media annuale	80 % del valore limite annuale (32 µg/m <sup>3</sup> )	65% del valore limite annuale (26 µg/m <sup>3</sup> )
NOx	Protezione della Vegetazione	80 % del livello critico annuale (24 µg/m <sup>3</sup> )	65 % del valore limite critico (19.5 µg/m <sup>3</sup> )
Pm10	Media su 24 ore	70 % del valore limite (35 µg/m <sup>3</sup> da non superare più di 35 volte per anno civile)	50 % del valore limite (25 µg/m <sup>3</sup> da non superare più di 35 volte per anno civile)
Pm10	Media annuale	70 % del valore limite (28 µg/m <sup>3</sup> )	50 % del valore limite (20 µg/m <sup>3</sup> )
Pm2.5	Media annuale	70 % del valore limite (17 µg/m <sup>3</sup> )	50 % del valore limite (12 µg/m <sup>3</sup> )
Pb	Media annuale	70 % del valore limite (0.35 µg/m <sup>3</sup> )	50 % del valore limite (0.25 µg/m <sup>3</sup> )
C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	Media annuale	70 % del valore limite (3.5 µg/m <sup>3</sup> )	40 % del valore limite (2.0 µg/m <sup>3</sup> )
CO	Media su 8 ore	70 % del valore limite (7 mg/m <sup>3</sup> )	50 % del valore limite (5 mg/m <sup>3</sup> )
Arsenico	In percentuale del valore obiettivo	60% (3.6 ng/m <sup>3</sup> )	40% (2.4 ng/m <sup>3</sup> )
Cadmio	In percentuale del valore obiettivo	60% (3 ng/m <sup>3</sup> )	40% (2 ng/m <sup>3</sup> )
Nichel	In percentuale del valore obiettivo	70% (14 ng/m <sup>3</sup> )	50% (10 ng/m <sup>3</sup> )
B(a)P	In percentuale del valore obiettivo	60% (0.6 ng/m <sup>3</sup> )	40% (0.4 ng/m <sup>3</sup> )



**A 12 – AUTOSTRADE SESTRI LEVANTE – LIVORNO**  
**Nuovo Svincolo A12 - S.S.1 Via Aurelia Sud – Località**  
**Cimitero Di Stagno - Comune Di Pisa**  
**Progetto Definitivo – Quadro di riferimento ambientale**

*Tabella 1-2: Tipologie di limiti previste dal D. Lgs. 155/10*

<b>TIPOLOGIA DI LIMITE</b>	<b>DEFINIZIONE</b>
Valore limite	Livello fissato in base alle conoscenze scientifiche, incluse quelle relative alle migliori tecnologie disponibili, al fine di evitare, prevenire o ridurre gli effetti nocivi per la salute umana o per l'ambiente nel suo complesso, che deve essere raggiunto entro un termine prestabilito e che non deve essere successivamente superato
Livelli critici	Livello fissato in base alle conoscenze scientifiche, oltre il quale possono sussistere effetti negativi diretti su recettori quali gli alberi, le altre piante o gli ecosistemi naturali, esclusi gli esseri umani
Valore obiettivo	Livello fissato al fine di evitare, prevenire o ridurre effetti nocivi per la salute umana o per l'ambiente nel suo complesso, da conseguire, ove possibile, entro una data prestabilita
Esposizione media	Livello medio da determinare sulla base di misurazioni effettuate da stazioni di fondo ubicate in siti fissi di campionamento urbani presso l'intero territorio nazionale e che riflette l'esposizione della popolazione. Permette di calcolare se sono stati rispettati l'obiettivo nazionale di riduzione dell'esposizione e l'obbligo di concentrazione dell'esposizione
Obiettivo nazionale di riduzione dell'esposizione	Riduzione, espressa in percentuale, dell'esposizione media della popolazione, fissata, in relazione ad un determinato anno di riferimento, al fine di ridurre gli effetti nocivi per la salute umana, da raggiungere, ove possibile, entro una data prestabilita
Obiettivi a lungo termine	Livello da raggiungere nel lungo periodo mediante misure proporzionate, al fine di assicurare un'efficace protezione della salute umana e dell'ambiente
Soglie di allarme	Livello oltre il quale sussiste un rischio per la salute umana in caso di esposizione di breve durata per la popolazione nel suo complesso ed il cui raggiungimento impone di adottare provvedimenti immediati
Soglie di informazione	Livello oltre il quale sussiste un rischio per la salute umana in caso di esposizione di breve durata per alcuni gruppi particolarmente sensibili della popolazione nel suo complesso ed il cui raggiungimento impone di assicurare informazioni adeguate e tempestive



**A 12 – AUTOSTRADE SESTRI LEVANTE – LIVORNO**  
**Nuovo Svincolo A12 - S.S.1 Via Aurelia Sud – Località**  
**Cimitero Di Stagno - Comune Di Pisa**  
**Progetto Definitivo – Quadro di riferimento ambientale**

*Tabella 1-3: Limiti previsti per l'ozono (03)*

<b>VALORI OBIETTIVO</b>			
<b>Finalità</b>	<b>Periodo di mediazione</b>	<b>Valore obiettivo</b>	<b>Data entro la quale deve essere raggiunto il valore obiettivo</b>
Protezione della salute umana	MEDIA massima giornaliera calcolata su 8 ore	120 µg/m <sup>3</sup> da non superare più di 25 volte per anno civile come media su tre anni	1.1.2010
Protezione della vegetazione	Da maggio a luglio	AOT40 (calcolato sulla base dei valori di 1 ora) 18.000 µg/m <sup>3</sup> *h come media su 5 anni	1.1.2010
<b>OBIETTIVI A LUNGO TERMINE</b>			
<b>Finalità</b>	<b>Periodo di mediazione</b>	<b>Obiettivo a lungo termine</b>	<b>Data entro la quale deve essere raggiunto il valore obiettivo</b>
Protezione della salute umana	Media massima giornaliera calcolata su 8 ore nell'arco di un anno civile	120 µg/m <sup>3</sup>	non definito
Protezione della vegetazione	Da maggio a luglio	AOT40, (calcolato sulla base dei valori di 1 ora) 6.000 µg/m <sup>3</sup> *h	non definito
<b>SOGLIA DI INFORMAZIONE</b>			
<b>Periodo di mediazione</b>		<b>Soglia di informazione</b>	
1 ora		180 µg/m <sup>3</sup>	
<b>SOGLIA DI ALLARME</b>			
<b>Periodo di mediazione</b>		<b>Soglia di allarme</b>	
1 ora		240 µg/m <sup>3</sup>	



**A 12 – AUTOSTRADE SESTRI LEVANTE – LIVORNO**  
**Nuovo Svincolo A12 - S.S.1 Via Aurelia Sud – Località**  
**Cimitero Di Stagno - Comune Di Pisa**  
**Progetto Definitivo – Quadro di riferimento ambientale**

*Tabella 1-4: Limiti previsti per il Biossido di Zolfo (SO<sub>2</sub>)*

<b>VALORI LIMITE</b>			
<b>Periodo di mediazione</b>	<b>Valore limite</b>	<b>Margine di tolleranza</b>	<b>Data entro la quale deve essere raggiunto il valore obiettivo</b>
1 ora	350 µg/m <sup>3</sup> , da non superare più di 24 volte anno civile	-	-
1 giorno	125 µg/m <sup>3</sup> , da non superare più di 3 volte per anno	-	-
<b>LIVELLO CRITICO</b>			
<b>Livello critico annuale (anno civile)</b>		<b>Livello critico invernale (1°ottobre-31 marzo)</b>	<b>Margine di tolleranza</b>
20 µg/m <sup>3</sup>		20 µg/m <sup>3</sup>	Nessuno
<b>SOGLIA DI ALLARME</b>			
<b>Periodo di mediazione</b>		<b>Soglia di allarme</b>	
3 ore		500 µg/m <sup>3</sup>	

*Tabella 1-5: Limiti previsti per il Biossido di Azoto (NO<sub>2</sub>)*

<b>VALORI LIMITE</b>			
<b>Periodo di mediazione</b>	<b>Valore limite</b>	<b>Margine di tolleranza</b>	<b>Data entro la quale deve essere raggiunto il valore obiettivo</b>
1 ora	200 µg/m <sup>3</sup> , da non superare più di 18 volte per anno civile	50% il 19 luglio 1999, con una riduzione il 1°gennaio 2001 e successivamente ogni 12 mesi secondo una percentuale annua costante fino a raggiungere lo 0% entro il 1°gennaio 2010	1°gennaio 2010
Anno civile	40 µg/m <sup>3</sup>	50% il 19 luglio 1999, con una riduzione il 1°gennaio 2001 e successivamente ogni 12 mesi secondo una percentuale annua costante fino a raggiungere lo 0% entro il 1°gennaio 2010	1°gennaio 2010
<b>SOGLIA DI ALLARME</b>			
<b>Periodo di mediazione</b>		<b>Soglia di allarme</b>	
3 ore		400 µg/m <sup>3</sup>	



**A 12 – AUTOSTRADE SESTRI LEVANTE – LIVORNO**  
**Nuovo Svincolo A12 - S.S.1 Via Aurelia Sud – Località**  
**Cimitero Di Stagno - Comune Di Pisa**  
**Progetto Definitivo – Quadro di riferimento ambientale**

*Tabella 1-6: Limiti previsti per gli Ossidi di Azoto (NOx)*

<b>LIVELLO CRITICO</b>	
<b>Periodo di mediazione</b>	<b>Livello critico</b>
Anno civile	30 µg/m <sup>3</sup>

*Tabella 1-7: Limiti previsti per il Benzene (C6H6)*

<b>VALORI LIMITE</b>			
<b>Periodo di mediazione</b>	<b>Valore limite</b>	<b>Margine di tolleranza</b>	<b>Data entro la quale deve essere raggiunto il valore obiettivo</b>
Anno civile	5.0 µg/m <sup>3</sup>	5 µg/m <sup>3</sup> (100%) il 13 dicembre 2000, con una riduzione il 1° gennaio 2006 e successivamente ogni 12 mesi di 1 µg/m <sup>3</sup> fino a raggiungere lo 0% entro il 1° gennaio 2010	1° gennaio 2010

*Tabella 1-8: Limiti previsti per il Monossido di Carbonio (CO)*

<b>VALORI LIMITE</b>			
<b>Periodo di mediazione</b>	<b>Valore limite</b>	<b>Margine di tolleranza</b>	<b>Data entro la quale deve essere raggiunto il valore obiettivo</b>
Media max giornaliera calcolata su 8 h	10 mg/m <sup>3</sup>	-	-

*Tabella 1-9: Limiti previsti il Piombo (Pb)*

<b>VALORI LIMITE</b>			
<b>Periodo di mediazione</b>	<b>Valore limite</b>	<b>Margine di tolleranza</b>	<b>Data entro la quale deve essere raggiunto il valore obiettivo</b>
Anno civile	0.5 µg/m <sup>3</sup>	-	-



**A 12 – AUTOSTRADE SESTRI LEVANTE – LIVORNO**  
**Nuovo Svincolo A12 - S.S.1 Via Aurelia Sud – Località**  
**Cimitero Di Stagno - Comune Di Pisa**  
**Progetto Definitivo – Quadro di riferimento ambientale**

*Tabella 1-10: Limiti previsti per Polveri inalabili (Pm10)*

<b>VALORI LIMITE</b>			
<b>Periodo di mediazione</b>	<b>Valore limite</b>	<b>Margine di tolleranza</b>	<b>Data entro la quale deve essere raggiunto il valore obiettivo</b>
1 giorno	50 µg/m <sup>3</sup> , da non superare più di 35 volte per anno civile	50% il 19 luglio 1999, con una riduzione il 1° gennaio 2001 e successivamente ogni 12 mesi secondo una percentuale annua costante fino a raggiungere lo 0% entro il 1° gennaio 2005	
Anno civile	40 µg/m <sup>3</sup>	20% il 19 luglio 1999, con una riduzione il 1° gennaio 2001 e successivamente ogni 12 mesi secondo una percentuale annua costante fino a raggiungere lo 0% entro il 1° gennaio 2005	1° gennaio 2010

*Tabella 1-11: Limiti previsti per il Pm2.5*

<b>VALORI LIMITE</b>			
<b>Periodo di mediazione</b>	<b>Valore limite</b>	<b>Margine di tolleranza</b>	<b>Data entro la quale deve essere raggiunto il valore obiettivo</b>
Anno civile	25 µg/m <sup>3</sup>	20% l'11 giugno 2008, con riduzione il 1° gennaio successivo e successivamente ogni 12 mesi secondo una percentuale annua costante fino allo 0% entro il 1/1/15	1° gennaio 2015
Anno civile	20 µg/m <sup>3</sup> Valore indicativo da definire con decreto		1° gennaio 2020

Per il Pm2.5 sono definiti anche degli obiettivi e degli obblighi per l'indicatore di esposizione media

*Tabella 1-12: Limiti previsti per Arsenico, Cadmio, Nichel, B(a)P*

<b>INQUINANTE</b>	<b>PERIODO DI MEDIAZIONE</b>	<b>VALORE OBIETTIVO</b>
Arsenico	Media annuale	6.0 ng/m <sup>3</sup>
Cadmio	Media annuale	5.0 ng/m <sup>3</sup>
Nichel	Media annuale	20.0 ng/m <sup>3</sup>
Benzo(a)pirene	Media annuale	1.0 ng/m <sup>3</sup>

## 1.2. LA PROGRAMMAZIONE REGIONALE PER LA QUALITÀ DELL'ARIA E LA ZONIZZAZIONE

La Regione Toscana ha predisposto il proprio Piano Regionale di Risanamento e Mantenimento della qualità dell'aria (PRRM) per il periodo 2008-2010, secondo quanto previsto dal D.Lgs. 351/99. Questo decreto prevede che le Regioni, in base ai criteri e alle metodologie disposte dal D.M. 261/02, debbano:

1. adottare un piano o programma (di risanamento) per il raggiungimento dei valori limite, entro i termini stabiliti, nelle zone o agglomerati ove uno o più inquinanti eccedono i valori limite;
2. adottare un piano di mantenimento della qualità dell'aria al fine di conservare i livelli degli inquinanti al di sotto dei valori limite e adoperarsi al fine di preservare la migliore qualità dell'aria ambiente compatibile con lo sviluppo sostenibile.

Il PRRM è stato approvato con Deliberazione n. 44 del 25/06/2008.

La finalità generale del piano è quella di perseguire una strategia regionale integrata sulla tutela della qualità dell'aria ambiente e sulla riduzione delle emissioni dei gas ad effetto serra (Kyoto) coerente con quella della UE e quella nazionale.

IL PRRM inoltre attua:

1. le priorità del Programma Regionale di Sviluppo (PRS) per quanto la sostenibilità dello sviluppo, l'eco-efficienza, il rispetto del protocollo di Kyoto e la qualità dell'aria;
2. i macrobiettivi del Piano Regionale di Azione Ambientale (PRAA) connessi all'inquinamento atmosferico e alla riduzione delle emissioni dei gas climalteranti.

In coerenza con tale strategia integrata, il PRRM si pone anche come finalità generale la riduzione della percentuale di popolazione esposta ad elevati livelli di inquinamento atmosferico.

Complessivamente gli obiettivi del PRRM sono:

- a) rispetto dei valori limite del PM10 della prima fase, entrati in vigore il 1° gennaio 2005 e quelli che entreranno in vigore dal 1° gennaio 2010, su tutto il territorio regionale ;
- b) rispetto del valore limite di qualità dell'aria per il biossido di azoto NO2 che entrerà in vigore il 1° gennaio 2010 su tutto il territorio regionale;
- c) migliorare la qualità dell'aria anche nelle zone dove già si rispettano i valori limite (anche quelli futuri), evitando il trasferimento dell'inquinamento tra i diversi settori ambientali;
- d) prevedere l'applicazione delle norme sul PM2.5 in anticipo rispetto alle previsioni della U.E.;
- e) integrare le considerazioni sulla qualità dell'aria nelle altre politiche settoriali (energia, trasporti, salute, attività produttive, agricoltura, gestione del territorio );
- f) provvedere a tenere aggiornato il quadro conoscitivo, in particolare quello relativo allo stato della qualità dell'aria anche ai fini di verifica di efficacia delle azioni/misure/interventi realizzati, e quello relativo ai contributi emissivi delle

- varie categorie di sorgenti (IRSE), in collegamento e coerenza con il quadro regionale delle emissioni di gas climalteranti;
- g) perseguire nella scelta e nella attuazione delle azioni e misure, i criteri di sussidiarietà e di concertazione istituzionale (rapporto tra livelli istituzionali di integrazione e di coordinamento) e far adottare ai Comuni, in coerenza e continuità con gli Accordi, il PAC (Piano di Azione Comunale) secondo linee guida regionali determinate, individuando anche le misure/interventi prioritarie e fattibili nei vari settori;
  - h) fornire le informazioni al pubblico sulla qualità dell'aria favorendone l'accesso e la diffusione al fine di permetterne una più efficace partecipazione al processo decisionale in materia; attivare iniziative su buone pratiche (stili di vita) compatibili con le finalità generali del piano, in particolare sul risparmio energetico al fine di ottenere un doppio beneficio ambientale (riduzione delle emissioni di sostanze inquinanti e dei gas climalteranti regolati dal Protocollo di Kyoto).

Per il conseguimento di questi obiettivi il Piano prevede di utilizzare una molteplicità di strumenti generali (conoscitivi, economico-finanziari, normativi, ecc...) e di attuare una serie di interventi aggregati nel seguente modo:

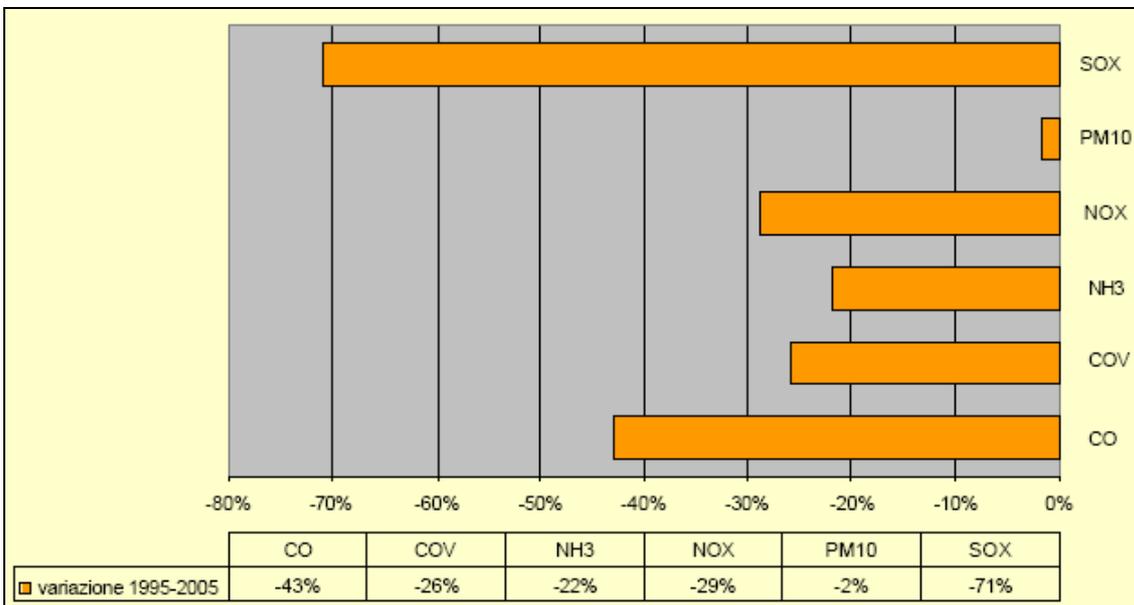
- i. Interventi nel settore della Mobilità pubblica e privata
- ii. Interventi nel settore Riscaldamento domestico e nel terziario
- iii. Interventi nel settore delle Attività produttive
- iv. Interventi per il miglioramento della conoscenza e dell'informazione al pubblico
- v. Interventi Generali di tipo Organizzativo Gestionale.

### 1.2.1. Il quadro emissivo

L'Inventario Regionale delle Sorgenti di Emissioni in atmosfera della Toscana è realizzato secondo gli standard indicati a livello nazionale dall'Istituto Superiore per la Prevenzione e Ricerca Ambientale (ISPRA) nonché seguendo le metodologie adottate a livello europeo (EMEP/EEA). Ha conosciuto quattro edizioni relative agli anni 1995, 2000, 2003, 2005 ed è attualmente in fase di validazione l'aggiornamento al 2007. L'IRSE è una raccolta coerente di dati sulla quantità di emissioni di sostanze inquinanti immesse in atmosfera da attività antropiche e naturali ottenute sia da misure dirette, effettuate per alcuni impianti industriali, sia da stime per tutte le altre sorgenti, a partire da dati quantitativi sull'attività presa in considerazione e da opportuni fattori d'emissione.

Attraverso l'IRSE la Regione individua le tipologie di sorgenti emissive presenti sul territorio toscano, i principali inquinanti emessi, le loro quantità insieme alla loro distribuzione spaziale. In tal modo si possono determinare a livello regionale, provinciale e comunale, quali sono le sorgenti maggiormente responsabili dell'inquinamento e quindi mirare con criteri oggettivi alla riduzione delle emissioni delle varie sostanze inquinanti.

L'inventario, inoltre, è uno strumento basilare per valutare e confrontare, in termini di efficacia e di costi, scenari emissivi utili alla predisposizione delle misure da adottarsi per il risanamento. Nel grafico seguenti sono riportate le variazioni percentuali delle emissioni regionali di tutti gli inquinanti considerati nel periodo 1995-2005.



*Figura 1-1 Variazione percentuale delle emissioni regionali 1995-2005 (Fonte: PRRM 2008)*

Il grafico mostra come le emissioni di tutti gli inquinanti presentano riduzioni significative, dal 1995 al 2005, con valori compresi tra il 43% e il 22% , ed addirittura per gli ossidi di zolfo è stata registrata una riduzione dal 1995 al 2005 pari al 71%. Fa eccezione il PM<sub>10</sub> primario per il quale si è registrata una riduzione solo del 2%.

### **1.2.2. Nuova zonizzazione del territorio ai sensi del D.Lgs. 155/10**

La zonizzazione è il presupposto su cui si organizza l'attività di valutazione della qualità dell'aria ambiente e deve essere effettuata previa individuazione degli agglomerati e poi delle altre zone. Nella fattispecie gli agglomerati sono individuati sulla base dell'assetto urbanistico, della popolazione residente e della densità abitativa seguendo i criteri riportati nell'art. 2, lett. F del DLgs. Le altre zone sono individuate sulla base di aspetti come il carico emissivo, le caratteristiche orografiche, le caratteristiche meteo-climatiche e il grado di urbanizzazione del territorio, al fine di individuare le aree in cui uno o più di tali aspetti sono predominanti nel determinare i livelli degli inquinanti e di accorpate tali aree in zone contraddistinte dall'omogeneità degli aspetti predominanti. Ai fini della valutazione della qualità dell'aria, la classificazione degli agglomerati e delle zone è effettuata, per ciascun inquinante di cui all'art. 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. Nella fattispecie è definita soglia di valutazione superiore il livello al di sotto del quale le misurazioni in siti fissi possono essere combinate con misurazioni indicative o tecniche di modellizzazione e, per l'arsenico, il cadmio, il nichel ed il benzo(a)pirene, il livello al di sotto del quale le misurazioni in siti fissi o indicative possono essere combinate con tecniche di modellizzazione così come riportato dall'art. 2, comma I, lettera z. In base all'art. 2, comma I, lettera aa. Si definisce invece soglia di valutazione inferiore il livello al di sotto del quale è previsto, anche in via esclusiva, l'utilizzo di tecniche di modellizzazione o di stima obiettiva. Il 06/12/2010 con la delibera N. 1025 la Giunta Regionale ha provveduto alla "Zonizzazione e classificazione del territorio regionale" ai sensi del DLgs 155/2010 e della L.R. 09/2010. In particolare il territorio è stato suddiviso in zone e agglomerati come previsto dall'art. 3 del DLgs 155/10 nel rispetto dei criteri riportati in appendice I del presente decreto. Per l'individuazione delle zone e degli agglomerati si è fatto riferimento ai confini amministrativi a livello comunale. Secondo quanto previsto per il territorio sono state effettuate due distinte zonizzazioni:

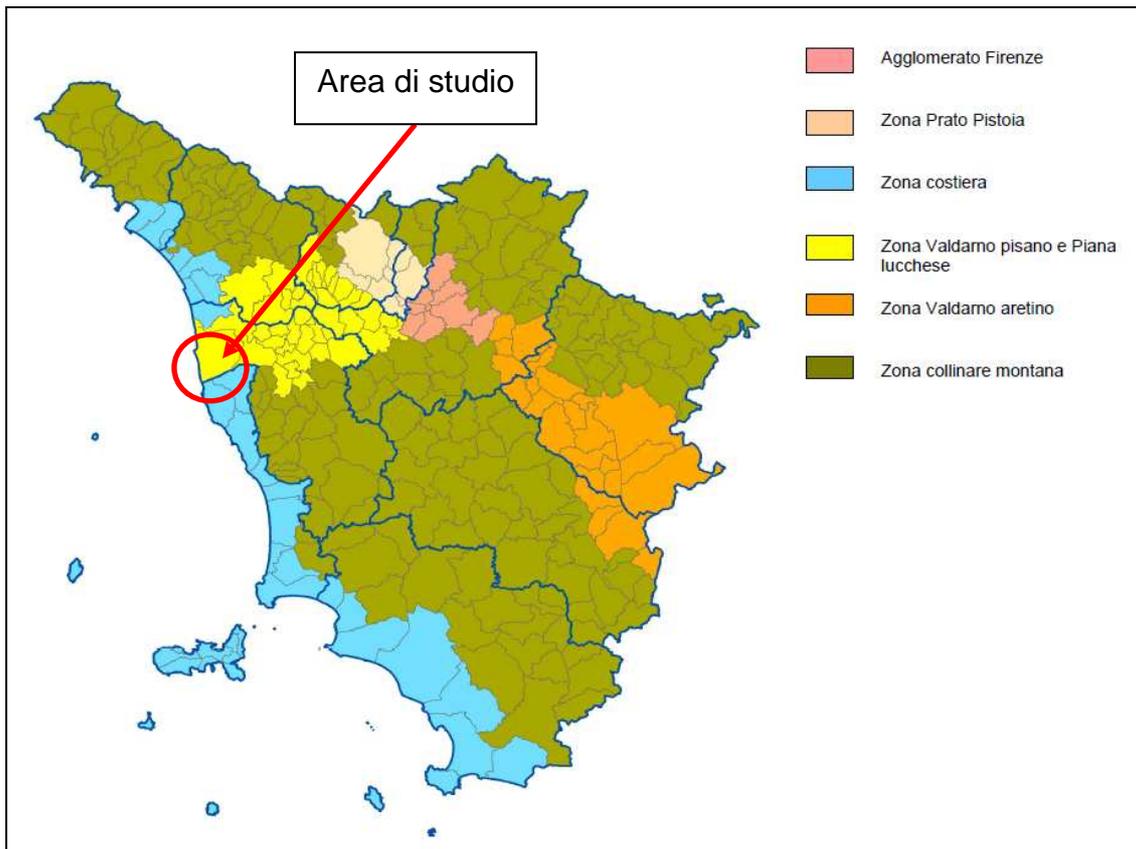
- zonizzazione per gli inquinanti di cui all'allegato V del DLgs 155/10 (biossido di zolfo, biossido di azoto, particolato (PM<sub>10</sub> e PM<sub>2.5</sub>), piombo, benzene, monossido di carbonio, arsenico, cadmio, nichel, benzo(a)pirene)
- zonizzazione per l'ozono di cui all'allegato IX del DLgs 155/10.

Ai fini della prima zonizzazione, relativamente agli inquinanti dell'allegato V, il territorio regionale è stato suddiviso in un agglomerato e cinque zone (Figura 1-2):

- Agglomerato di Firenze;
- Zona di Prato-Pistoia;
- Zona Costiera;
- Zona valdarno pisano e piana lucchese;
- Zona valdarno aretino;
- Zona collinare montana

Le zone sono state individuate prendendo in considerazione le seguenti variabili:

- caratteristiche orografiche, paesaggistiche e climatiche che contribuiscono a definire "zone di influenza" degli inquinanti in termini di diffusività atmosferica;
- caratteristiche legate alle pressioni esercitate sul territorio come demografia, uso del suolo ed entità delle emissioni in atmosfera.



*Figura 1-2: Zonizzazione per gli inquinanti di cui all'All. V – D.Lgs. 155/2010 (Appendice I)*

Il sito in questione ricade nella zona identificata come Zona Valdarno Pisano e Piana Lucchese (Figura 1-2). Un bacino continuo in cui si identificano due aree principali che hanno caratteristiche comuni a livello di pressioni antropiche individuate dalla densità di popolazione e dalla presenza di distretti industriali di una certa rilevanza.

Ai fini della zonizzazione per l'ozono il territorio regionale è stato invece suddiviso in tre zone (Figura 1-3), individuate prendendo in considerazione caratteristiche legate principalmente all'altitudine e alla vicinanza alla costa, ovvero:

- Zona Pianure costiere;
- Zona Pianure interne;
- Zona collinare montana.

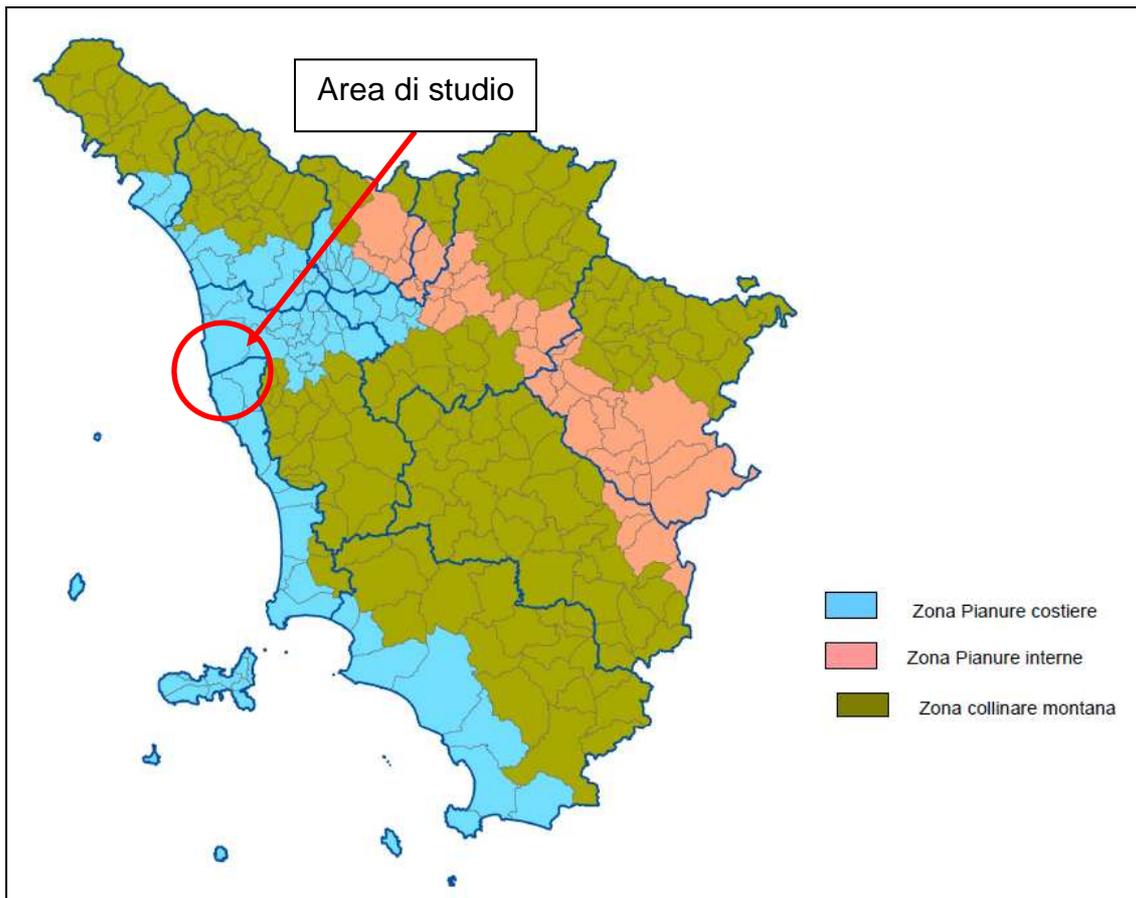


Figura 1-3 Zonizzazione per l'ozono ( Appendice I D. Lgs. 155/2010 )

Il progetto ricade nella Zona Costiera che unisce tutte la pianure collegate da una continuità territoriale con la costa.

La classificazione delle zone e agglomerati ai fini della valutazione della qualità dell'aria ambiente è stata effettuata sulla base delle disposizioni contenute nell'Art. 4 del D. Lgs. 155/2010.

In coerenza con la normativa le modalità seguite per la classificazione sono le seguenti:

- per il biossido di zolfo, biossido di azoto,  $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$ , piombo, benzene, monossido di carbonio, arsenico, cadmio, nichel, benzo(a)pirene, confronto dei livelli delle concentrazioni rilevati nei 5 anni civili precedenti, con le soglie di valutazione inferiore (SVI) e le Soglie di Valutazione Superiore (SVS). Il superamento di una soglia si è realizzato se questa è stata superata in almeno tre anni ( Allegato II, sezione I, del D. Lgs. 155/2010 );
- confronto dei livelli delle concentrazioni di ozono rilevati nei 5 anni civili precedenti, con l'obiettivo a lungo termine (OLT) per la protezione della salute umana. I superamento di un obiettivo si è realizzato se questo è stato superato in almeno 1 anno ( art. 8, comma 1, e allegato VII, del D. Lgs. 155/2010 );

- in caso di indisponibilità di dati relativi ai cinque anni civili precedenti, la determinazione del superamento delle soglie è stata effettuata attraverso l'utilizzo di misure indicative (Allegato I, D. Lgs. 155/2010) e di combinazioni dei risultati ottenuti da campagne di misura svolte per periodi limitati e stime oggettive basate sull'inventario delle sorgenti di emissione (IRSE) ( Allegato II, sezione II, e art. 8, comma 1 del D. Lgs. 155/2010 ).

Di seguito si riportano i confronti dei livelli di concentrazione con le soglie di valutazione per gli inquinanti previsti dal decreto per la zona Valdarno Pisano e Piana Lucchese.

*Tabella 1-13: Confronto dei livelli di concentrazione con le soglie di valutazione per gli inquinanti previsti dall'allegato V del D. Lgs. 155/2010*

<b>Zona costiera</b>	<b>&lt; SVI</b>	<b>SVI &lt; x &lt; SVS</b>	<b>&gt; SVS</b>
PM <sub>10</sub>			X
PM <sub>2,5</sub>		X	
NO <sub>2</sub>			X
SO <sub>2</sub>	X		
CO	X		
Benzene		X	
Piombo	X <sup>(1)</sup>		
Arsenico	X <sup>(1)</sup>		
Cadmio	X <sup>(1)</sup>		
Nichel	X <sup>(1)</sup>		
Benzo(a)pirene	X <sup>(1)</sup>		

*Tabella 1-14: Confronto dei livelli di concentrazione con le soglie di valutazione per gli inquinanti previsti dall'allegato V del D. Lgs. 155/2010*

<b>Zona Valdarno pisano e pianura lucchese</b>	<b>&lt; SVI</b>	<b>SVI &lt; x &lt; SVS</b>	<b>&gt; SVS</b>
PM <sub>10</sub>			X
PM <sub>2,5</sub>		X <sup>(1)</sup>	
NO <sub>2</sub>			X
SO <sub>2</sub>	X		
CO	X		
Benzene		X	
Piombo	X <sup>(1)</sup>		
Arsenico	X <sup>(1)</sup>		
Cadmio	X <sup>(1)</sup>		
Nichel	X <sup>(1)</sup>		
Benzo(a)pirene	X <sup>(1)</sup>		



**A 12 – AUTOSTRADE SESTRI LEVANTE – LIVORNO**  
**Nuovo Svincolo A12 - S.S.1 Via Aurelia Sud – Località**  
**Cimitero Di Stagno - Comune Di Pisa**  
**Progetto Definitivo – Quadro di riferimento ambientale**

*Tabella 1-15: Confronto dei livelli di concentrazione con le soglie di valutazione per gli inquinanti previsti dall'allegato V del D. Lgs. 155/2010*

<b>Zone e agglomerati</b>	<b>&lt;OLT</b>	<b>&gt;OLT</b>
Zona delle pianure costiere		X
Zona collinare montana		X
Zona delle pianure interne		X

Con la Delibera di Giunta N. 22 del 17-01-2011 la Regione Toscana ha individuato i Comuni, riportati nell'Allegato I della medesima, con rischio di superamento dei valori limite e delle soglie di allarme. Sono state inoltre identificate le stazioni della rete regionale idonee alla loro gestione nell'ambito dei PAC ( Piani di Azione Comunale ) previsti dall'art. 12 della L.R. 9/2010, che i Comuni, individuati come Autorità Competente nella Delibera di cui sopra, dovranno adottare al fine di limitare il rischio di superamento. Di seguito sono riportati i Comuni oggetto della presente Delibera raggruppati in base alle Zone-Agglomerati di appartenenza a loro volta individuate ai sensi della DGR. 1025 del 06/12/2010 (Tabella 1-16 e Tabella 1-17). Il Comune di Pisa, non è considerato a rischio di superamento del valore limite.

*Tabella 1-16: Comuni a rischio di superamento dei valori limite (Allegato I, DGR 22 del 17-01-2011)*

Valdarno pisano e piana lucchese	Capannori	LU-Capannori
	Lucca	
	Porcari	
	Montecatini Terme	

*Tabella 1-17: Comuni a rischio di superamento dei valori limite (Allegato I, DGR 22 del 17-01-2011)*

Costiera	Viareggio	LU-Viareggio 2
----------	-----------	----------------

## **2. QUADRO DI RIFERIMENTO AMBIENTALE**

### **2.1. CARATTERISTICHE METEOCLIMATICHE DELL'AREA**

L'analisi meteorologica rappresenta un elemento di valutazione essenziale nel caratterizzare lo stato di qualità dell'aria di un territorio. Lo studio del regime dei venti e delle capacità dispersive dell'atmosfera consente infatti di individuare le condizioni meteorologiche più ricorrenti o più critiche per l'accumulo delle sostanze inquinanti. È nota l'influenza delle condizioni meteorologiche nei fenomeni di inquinamento atmosferico. Infatti, a parità di inquinante emesso in atmosfera, le concentrazioni misurate possono essere molto diverse a seconda che si realizzino o meno condizioni favorevoli all'accumulo nell'aria ambiente delle sostanze inquinanti emesse. In generale, si possono individuare un insieme di parametri meteorologici che caratterizzano la capacità dell'atmosfera a disperdere e trasportare gli inquinanti. Tale capacità è associata sostanzialmente sia alla presenza ed intensità del vento, che caratterizza i fenomeni di trasporto nel piano orizzontale degli inquinanti, sia alla turbolenza atmosferica, cioè la capacità di rimescolamento delle masse d'aria lungo la direzione verticale, all'altezza dello stato di rimescolamento, cioè la porzione di atmosfera in cui sono possibili i moti convettivi verticali ed alla presenza ed intensità della pioggia. Le suddette caratteristiche meteorologiche insieme all'orografia di un territorio influenzano la diffusività atmosferica, ovvero quella condizione che permette ai bassi strati dell'atmosfera di disperdere, trasportare ed accumulare le sostanze inquinanti. Il territorio della Toscana è a carattere prevalentemente collinare e montuoso. La parte collinare, infatti, costituisce circa il 66 % del territorio, la zona montuosa il 25 % e infine l'area pianeggiante l'8.4 %. La parte montuosa rappresenta sicuramente un fattore che limita la diffusione e il trasporto degli inquinanti, e può assumere, in particolare, nelle zone vallive un fattore di criticità. Il tratto in studio ricade in un'area pianeggiante che interessa la fascia costiera tra Pisa e Livorno a ridosso tra il Valdarno Inferiore e la Piana di Pisa. Considerando i parametri meteo e le caratteristiche orografiche di cui sopra e utilizzando i dati misurati dalle stazioni meteorologiche regionali, il territorio è stato suddiviso in tre classi di diffusività atmosferica ovvero alta, media e bassa. Quest'ultime consentono di individuare le aree in cui possono verificarsi con maggior frequenza condizioni critiche per la diffusione degli inquinanti. I territori della Toscana con bassa diffusività atmosferica, e quindi più soggetti a fenomeni di inquinamento atmosferico, sono posizionati nella zona che si estende fra l'area metropolitana Firenze-Prato-Pistoia fino alla zona di Massa Carrara passando attraverso la Garfagnana e la Lunigiana. L'altra zona soggetta a bassa diffusività atmosferica, molto limitata territorialmente, è nell'entroterra Grossetano al confine con la Regione Lazio (Figura 2-1). La località Cimitero di Stagno ricade in un'area caratterizzata da una diffusività medio-alta favorita dal fatto che si trova in una zona pianeggiante e dalle particolari condizioni meteo-climatiche che verranno esaminate in seguito.

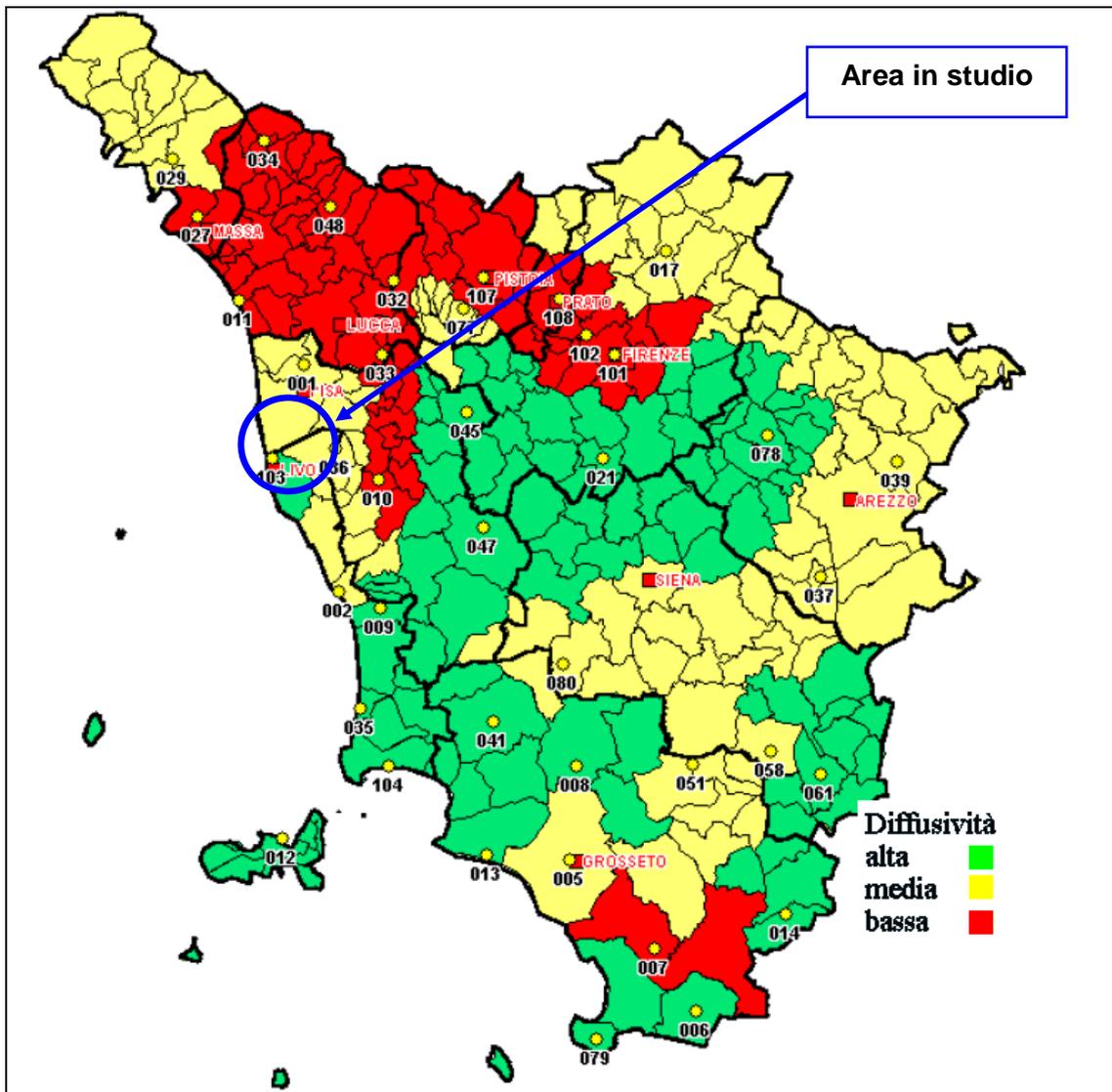


Figura 2-1: classificazione del territorio regionale in base alla diffusività

### 2.1.1. Dati di fonte pubblica

Lo studio dei parametri meteo è stato effettuato prendendo in considerazione due stazioni di monitoraggio. La prima è quella di Pisa-Oratoio di proprietà della Provincia di Pisa, utilizzata dall'Arpa e scelta per la sua collocazione che può verosimilmente rappresentare l'esposizione globale dell'intera rete, mentre la seconda è quella di Livorno ed è afferente alla Rete Mareografica Nazionale. Dai dati rilevati si può notare come le precipitazioni siano concentrate soprattutto nel periodo invernale ad eccezione dell'anno 2010 in cui si è registrato un picco a Maggio. In Tabella 2-1 è riportato lo storico del triennio 2008-2010. La temperatura invece ha gli andamenti tipici dei climi temperati con escursioni termiche modeste. Raramente scende sotto lo zero e oscilla tra un minimo di 5-6 °C in inverno e un massimo di 25-30 °C in estate. Analizzando le rose dei venti nelle due stazioni in linea generale si può dire che vi è una marcata direzionalità lungo l'asse Est-Ovest. Dai dati di Pisa Oratoio emerge, infatti, che il settore di provenienza preferenziale è da sud-est e in misura minore da ovest. Nella stazione di Livorno la rosa dei venti mette in luce come vi sia un settore preferenziale da est-nord-est e anche qui in misura minore da ovest. In conclusione si può dire che il litorale e l'entroterra pisano sono caratterizzati da un regime di brezze, favorite dalla condizione orografica di questo territorio. La valle dell'Arno assume un ruolo fondamentale perché attraverso di essa si fa sentire l'azione della bassa pressione relativa che si genera, in seguito al riscaldamento, sull'Appennino e nel bacino di Firenze e che esercita un'azione di richiamo sulle alte pressioni relative presenti sul mare generando così un flusso di venti da ovest a est. La situazione si inverte di notte. In sintesi il regime anemometrico di Pisa deriva, nel semestre invernale, dalla presenza di una bassa pressione quasi stazionaria sul Mediterraneo centro-occidentale, che determina un flusso di correnti orientali mentre, nel semestre estivo, da un flusso di correnti occidentali favorite dall'instaurarsi di un regime ciclonico sull'Europa centro-orientale, cui si sovrappone un importante regime di brezze.

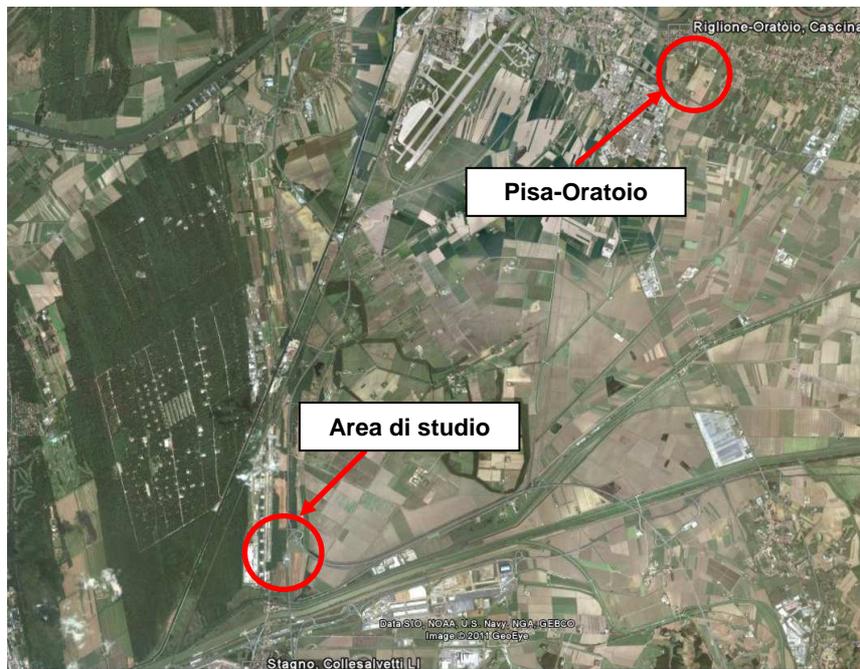


Figura 2-2: stazione di Pisa Oratoio

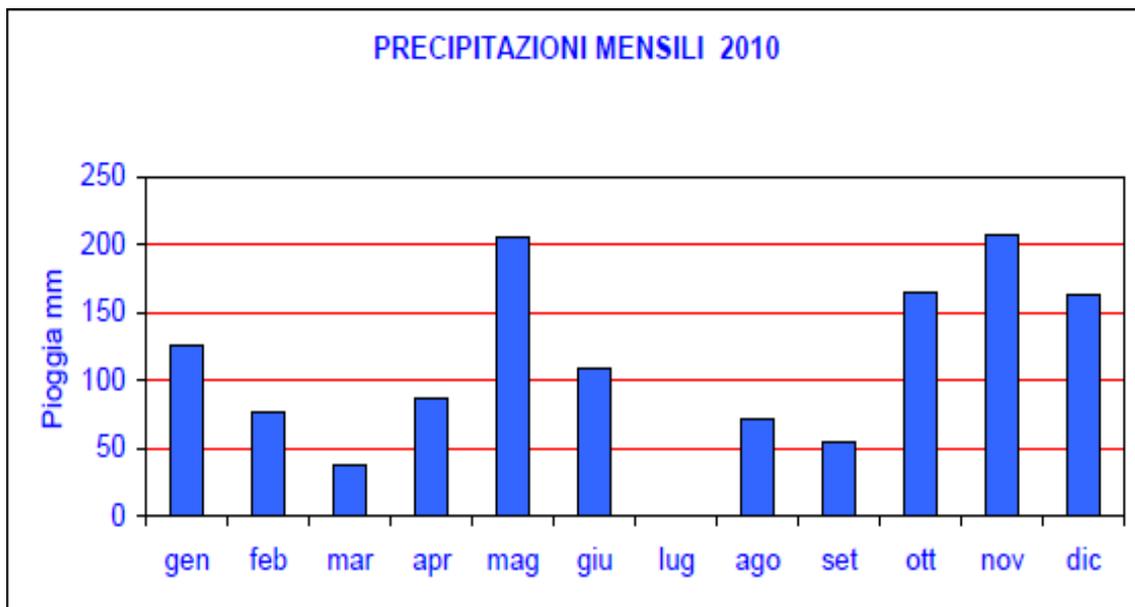


Figura 2-3: precipitazioni mensili 2010

Tabella 2-1: precipitazioni mensili negli ultimi tre anni (mm)

	2008	2009	2010
Gennaio	122	179	126
Febbraio	195	38	76
Marzo	178	78	38
Aprile	97	60	87
Maggio	9	83	206
Giugno	40	60	109
Luglio	0	0.2	0
Agosto	0	5	72
Settembre	180	29	54
Ottobre	105	164	164
Novembre	92	244	207
Dicembre	88	204	163
<b>TOT</b>	<b>1106</b>	<b>1144</b>	<b>1302</b>

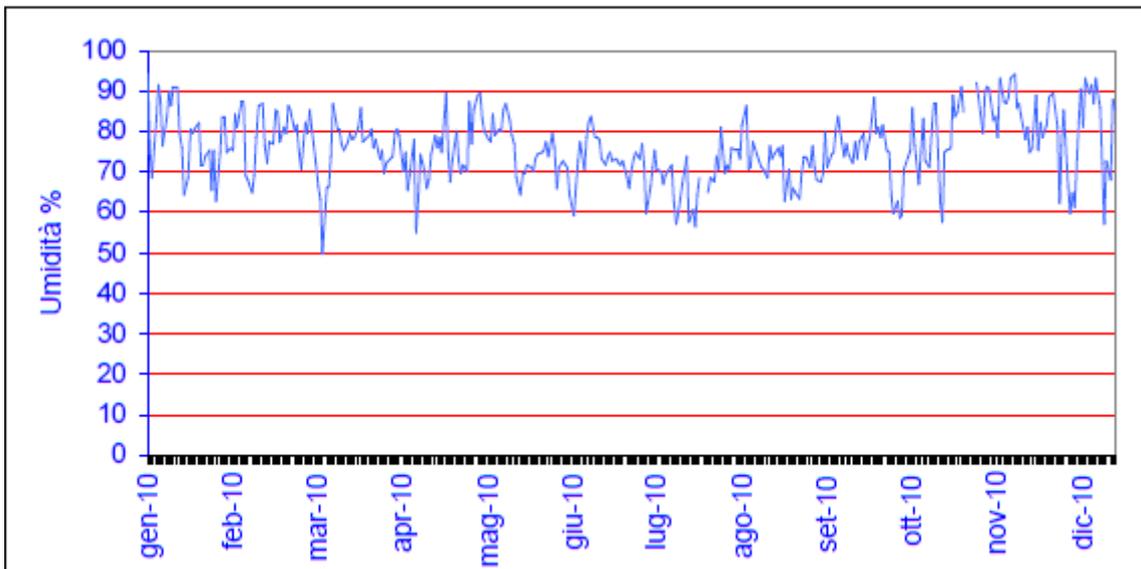


Figura 2-4: umidità relativa 2010

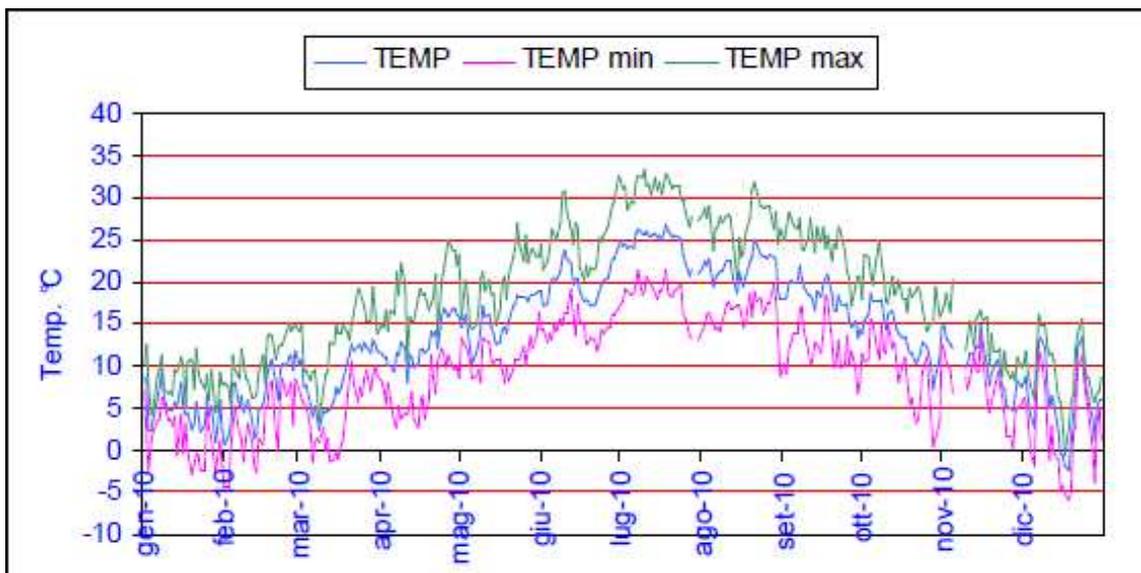


Figura 2-5: andamento della temperatura 2010

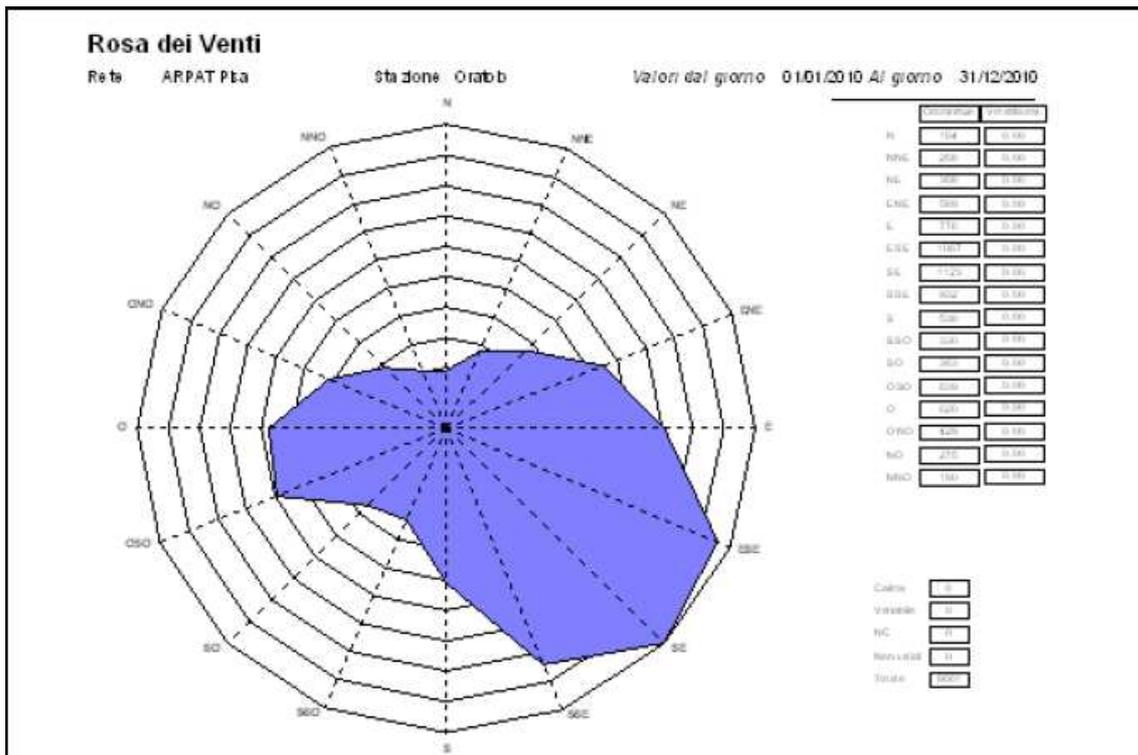


Figura 2-6: rosa dei venti 2010

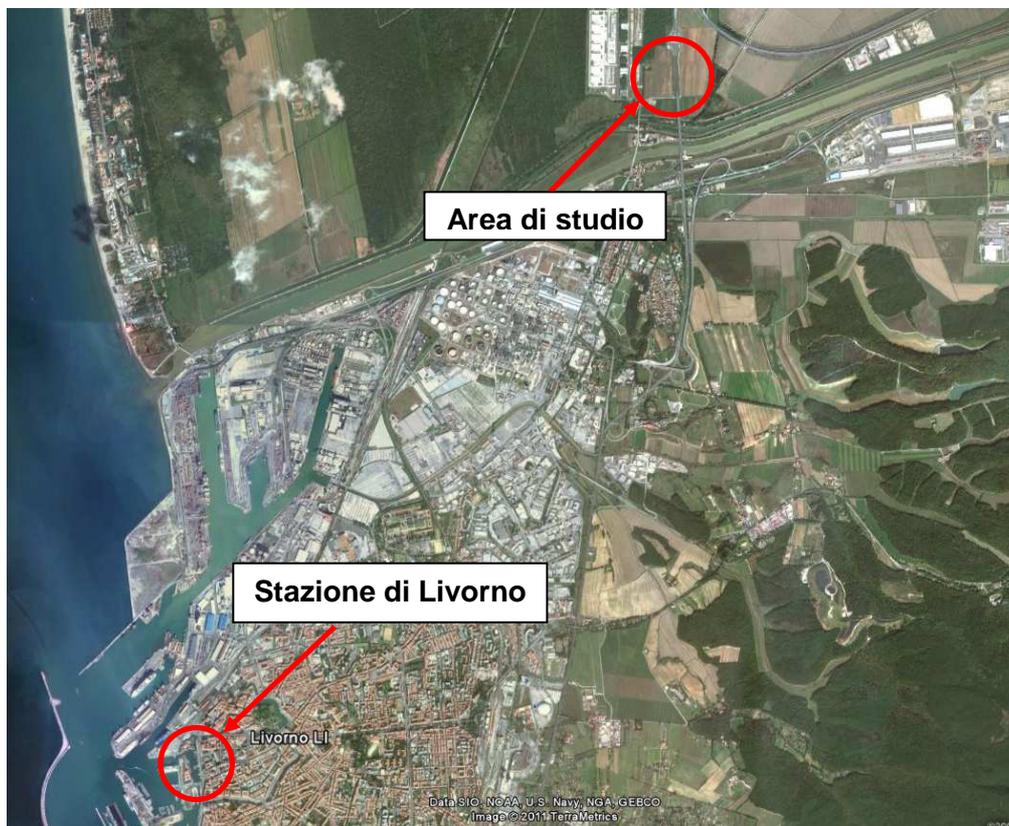
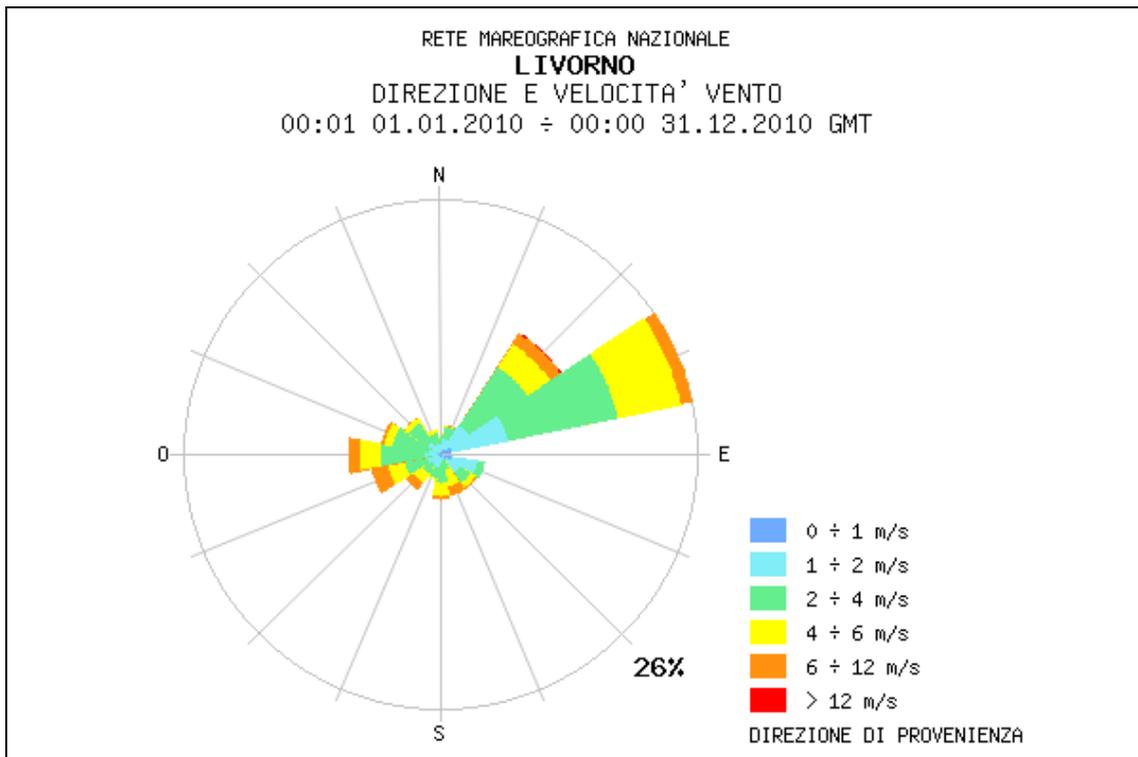
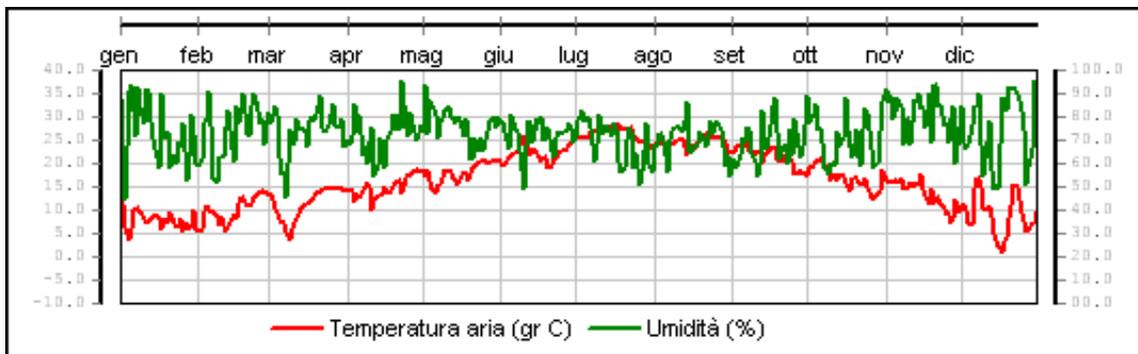


Figura 2-7: stazione di Livorno



*Figura 2-8: rosa dei venti alla stazione di Livorno*



*Figura 2-9: temperatura e umidità relativa nel 2010*

### 2.1.2. Ricostruzione campi di vento LAMA

Per una caratterizzazione maggiormente dettagliata delle condizioni meteorologiche relative all'anno 2010 si è ritenuto opportuno analizzare gli andamenti dei parametri che caratterizzano la capacità dell'atmosfera di innescare fenomeni di rimescolamento e, di conseguenza, diluizione degli inquinanti.

Una delle fonti più autorevoli che gestisce gli archivi dei dati meteorologici in grado di rispondere alle esigenze dei principali modelli simulazione è il Servizio IdroMeteoClima della Regione Emilia Romagna.

L'ARPA-SIM è in grado di fornire dati provenienti da due Dataset indipendenti:

- Calmet-SIM: prodotto utilizzando il post-processore meteorologico Calmet; copre il Nord Italia e ha dati a partire dal 1/1/2000;
- LAMA: prodotto utilizzando il modello meteorologico ad area limitata COSMO (ex Lokal Modell); copre tutta l'Italia e ha dati a partire dal 1/4/2003.

Di seguito si riporta il Flow chart da utilizzare per una corretta scelta del Dataset. La situazione relativa allo studio in oggetto è evidenziata in rosso da cui si evince la necessità di utilizzare il Data-set LAMA.

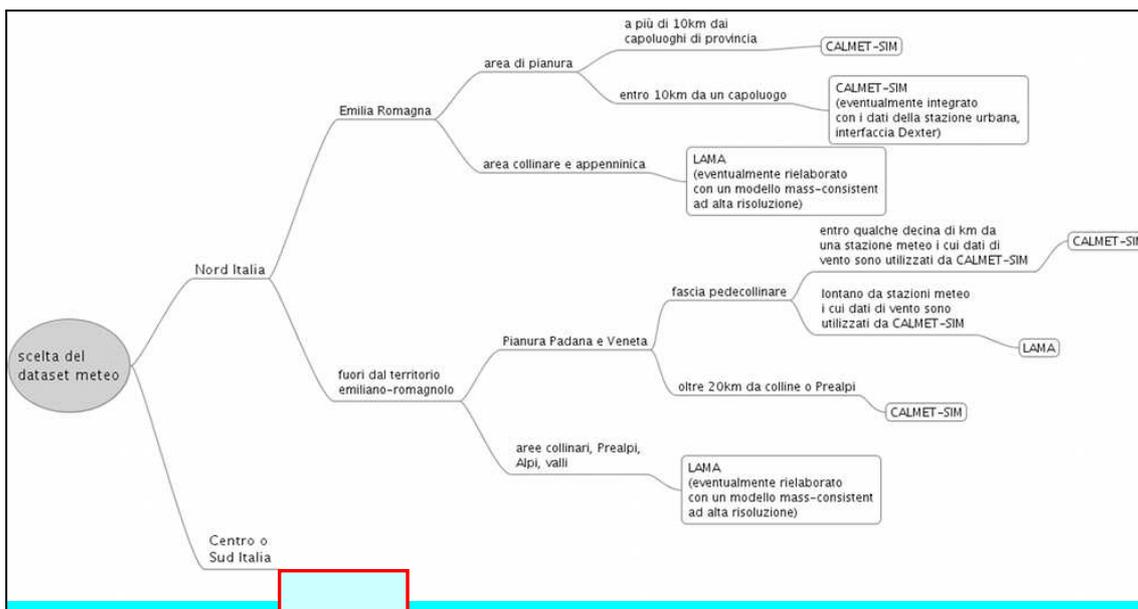


Figura 2-10: : Flow chart per la scelta dei set di dati meteoroclimatici

Nello specifico la serie di dati utilizzati riguarda l'intero anno 2010 valutato nel punto 19656 della griglia di calcolo del modello LAMA che in ragione della sua posizione risulta rappresentativo dell'area oggetto di valutazione (Figura 2-11).

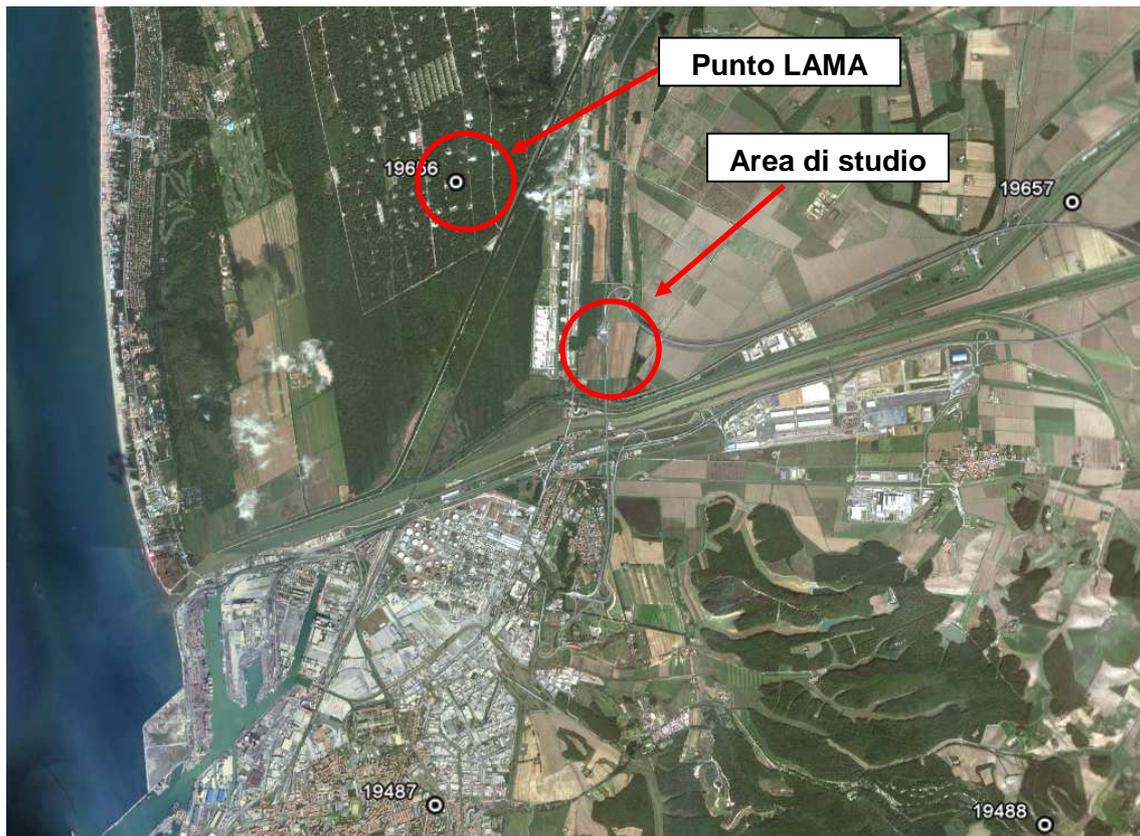
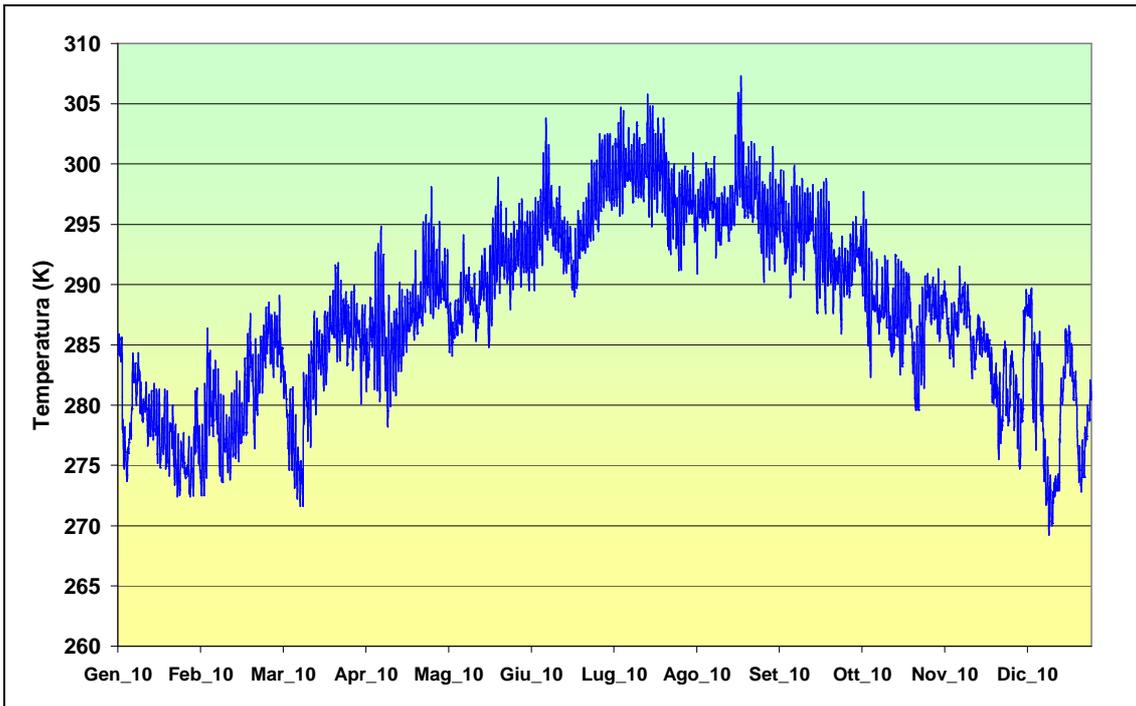


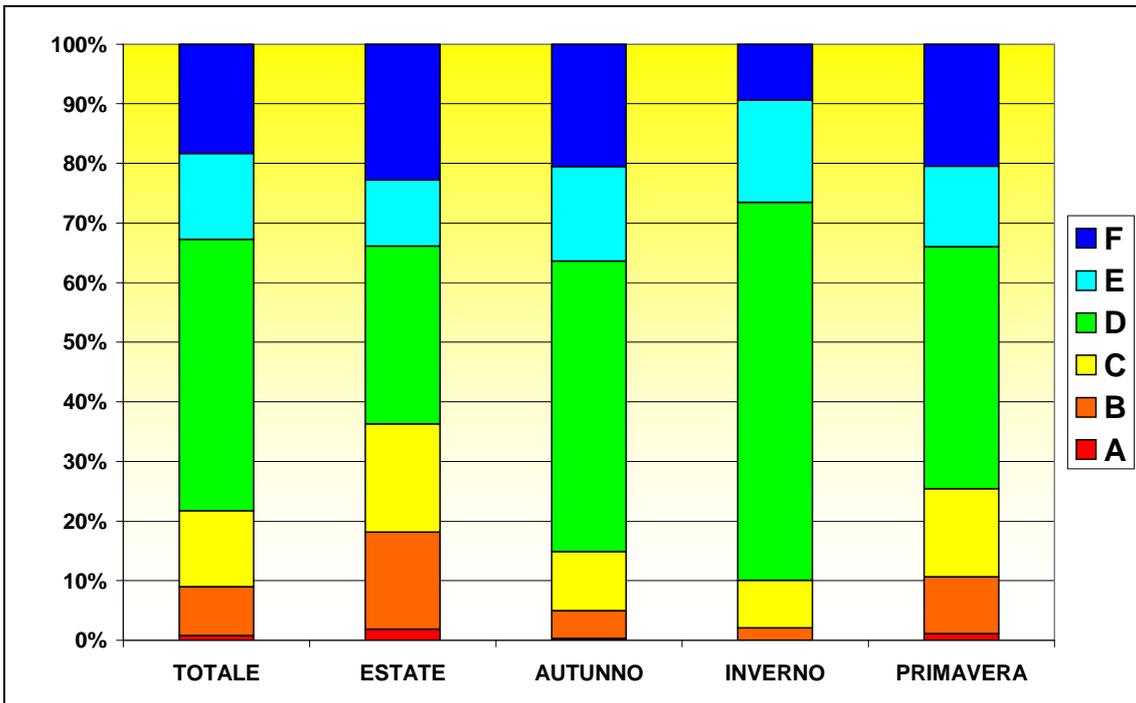
Figura 2-11: localizzazione del punto LAMA

I dati utilizzati sono stati rappresentati in forma sintetica e mediante elaborazioni grafiche dei principali parametri meteoroclimatici ed in particolare:

- andamento delle temperatura oraria in gradi Kelvin;
- distribuzione delle classi di stabilità atmosferica, annuale e stagionale;
- altezza di rimescolamento [m];
- classi di velocità del vento;
- rosa del vento stagionale e in funzione delle velocità.



*Figura 2-12: andamento della temperatura oraria in gradi kelvin*



*Figura 2-13: distribuzione delle classi di stabilità atmosferica, annuale e stagionale*

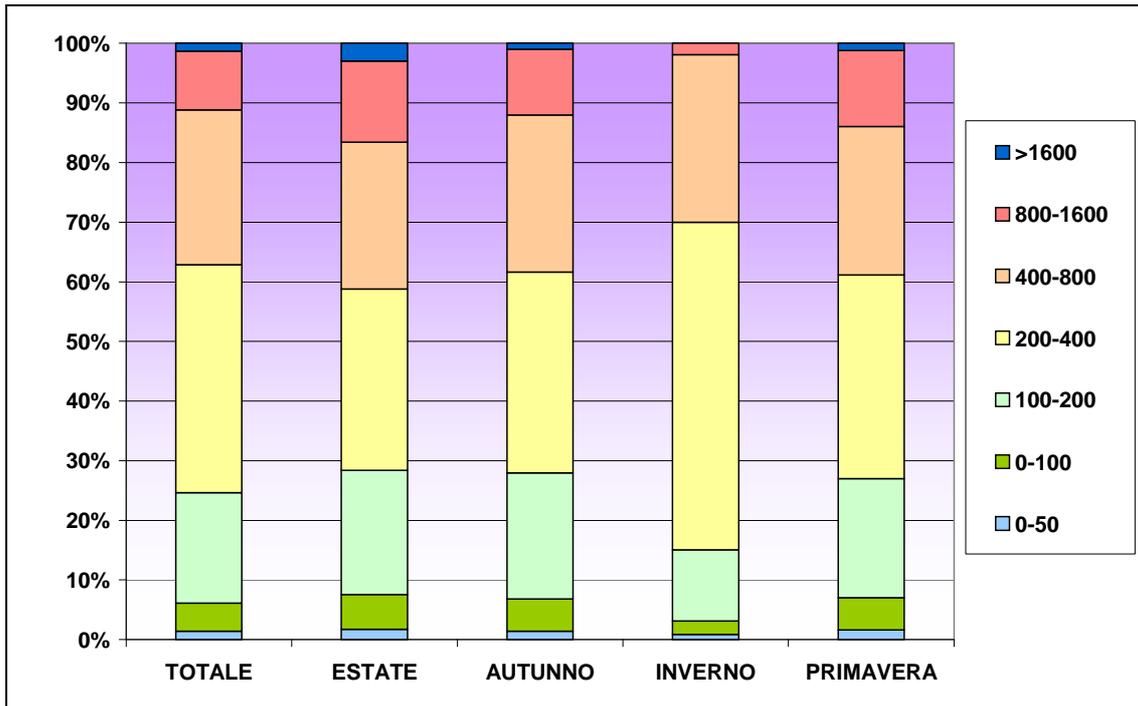


Figura 2-14: altezza di rimescolamento

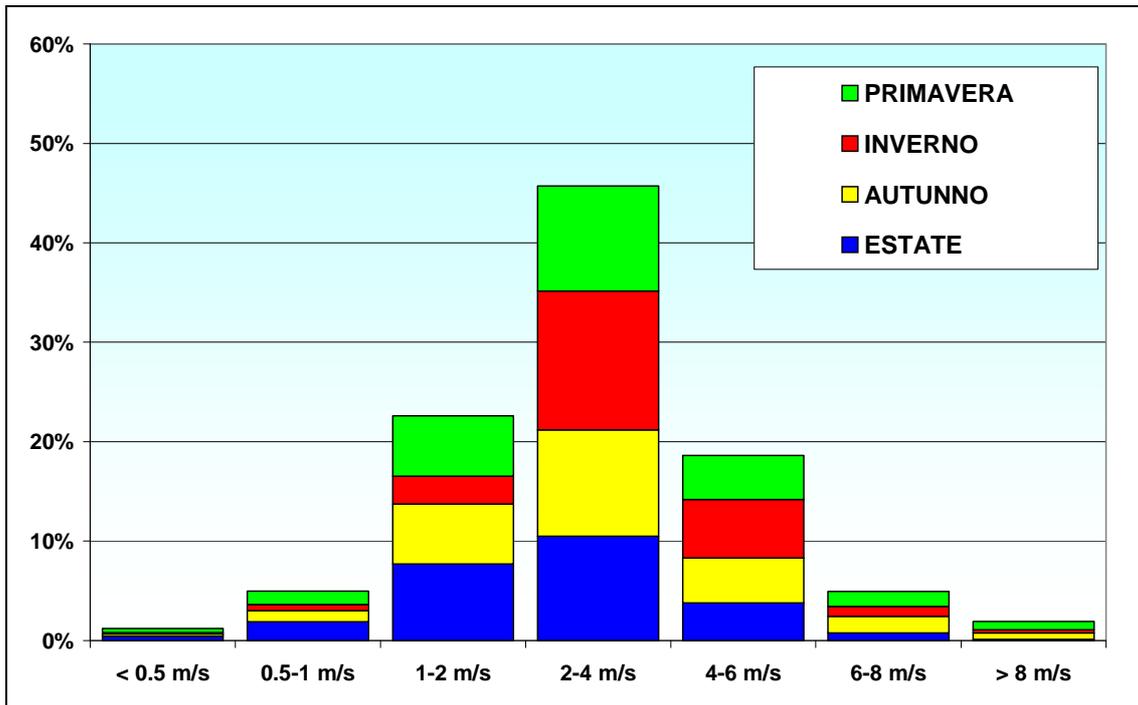
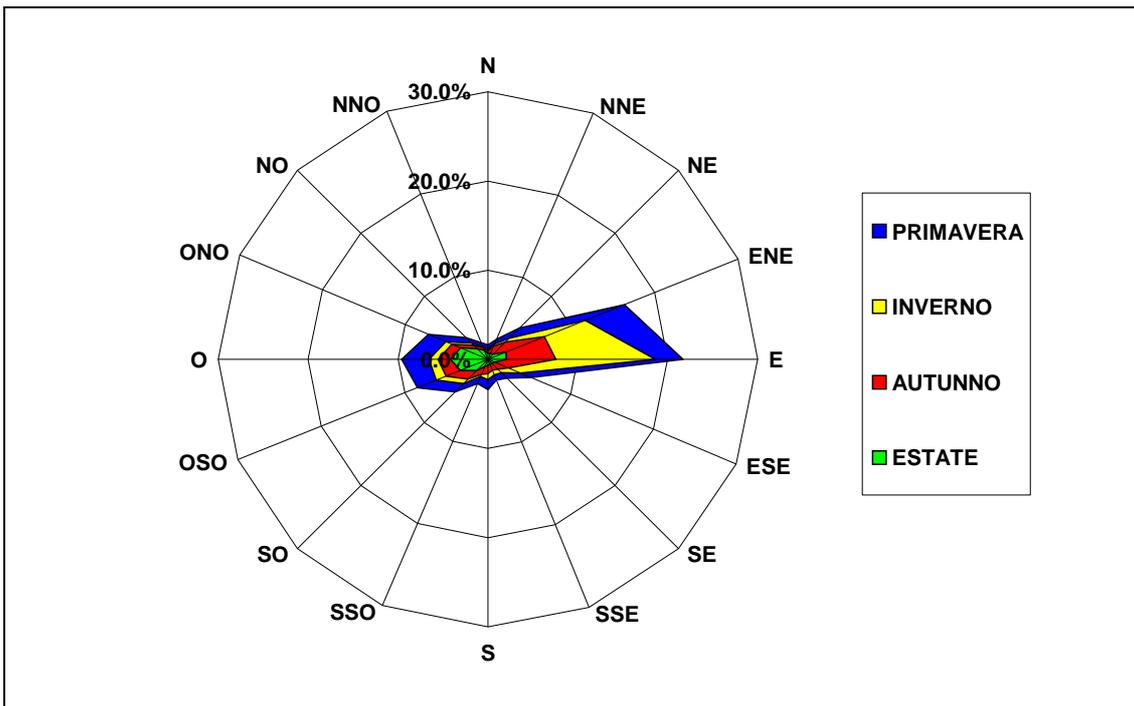


Figura 2-15: classi di velocità del vento



*Figura 2-16: rosa del vento stagionale*

Dall'analisi dei dati del modello si possono trarre le seguenti conclusioni:

- La temperatura presenta un andamento tipico del clima mediterraneo;
- La stabilità atmosferica è un aspetto basilare da considerare per valutare le capacità dispersive dell'atmosfera e ciò si rivela particolarmente importante in presenza di inquinamento perché le condizioni instabili sono quelle che favoriscono la diluizione e la dispersione degli inquinanti. Il modello indica che la classe di stabilità che si presenta con maggior frequenza è la D, soprattutto nella stagione invernale con una percentuale del 64.3 %. Le condizioni di stabilità (E+F) si mantengono pressoché costanti durante l'intero arco dell'anno. Le condizioni di instabilità sono minime in inverno e massime in estate con una percentuale del 18 %.
- L'altezza di rimescolamento rappresenta un utile indicatore del volume d'aria disponibile per la diluizione degli inquinanti nei bassi strati atmosferici. Dal modello è emerso che essa è molto variabile in relazione all'ora del giorno e alla stagione. Nel corso dell'anno si può notare come l'altezza compresa tra i 200 e i 400 m sia quella predominante in particolar modo nel periodo invernale.
- Dal punto di vista anemologico si evidenzia la presenza di venti mediamente energici con calme di vento (< 0.5 m/s) molto rare (<2 % dei casi). Velocità comprese tra i 2 e i 4 m/s, tipiche della brezza tesa, si presentano circa nel 48 % dei casi.
- Per quanto riguarda la direzione di provenienza si osserva una direzionalità lungo l'asse Ovest-Est. Si nota una predominanza del settore est in linea con le analisi dei dati reali relative al paragrafo 2.1.1. Ciò mette in evidenza un regime caratterizzato da fenomeni di brezza.

## **2.2. QUALITÀ DELL'ARIA**

Il quadro conoscitivo di riferimento si esplicita fundamentalmente sulla conoscenza dello stato della qualità dell'aria ambiente in regione, valutato sulla base delle misurazioni ottenute dalle reti di rilevamento, in riferimento ai valori limite fissati per le varie sostanze inquinanti, e sulle informazioni sulle sorgenti di emissione che determinano, insieme alla meteorologia, i livelli di inquinamento misurati.

Le centraline di misura sono classificate sotto i due aspetti principali:

- tipo di zona;
- tipo di stazione rispetto alle fonti di emissione dominanti.

Il tipo di zona è assegnato in funzione della densità edilizia e in particolare si individuano tre categorie:

- URBANA, per zone edificate in continuo;
- PERIFERICA, per zone largamente edificate ma caratterizzate dalla presenza di spazi non urbanizzati (laghetti, boschi, terreni agricoli, etc.);
- RURALE, per zone non rappresentate dai casi precedenti.

Il tipo di stazione è assegnato in funzione della distanza dalle sorgenti e della loro tipologia. In particolare si individuano tre categorie:

- TRAFFICO, se le stazioni rilevano prevalentemente le emissioni provenienti da strade limitrofe
- INDUSTRIA, se le stazioni rilevano prevalentemente le emissioni da singole sorgenti puntuali (industriali) o da zone industriali
- FONDO, se le stazioni rilevano livelli di inquinamento riferibili al contributo integrato di tutte le sorgenti presenti nell'area (in particolare di quelle sopravvento alla stazione).

### 2.2.1. Dati centraline presenti nell'area

Nelle figure Figura 2-17 e Figura 2-18 sono rappresentate le ubicazioni delle centraline di monitoraggio della Provincia di Pisa e Livorno, rispettivamente. Sebbene le centraline di Livorno siano relativamente più vicine al sito oggetto dello studio per caratterizzare la qualità dell'aria si è fatto riferimento alle postazioni di Pisa, in ragione del fatto che le prime sono ubicate in un contesto urbano che non rappresenta fedelmente il territorio in esame. Sul territorio della Provincia di Pisa si sviluppa una rete di monitoraggio della qualità dell'aria (di proprietà dell'Amministrazione Provinciale) costituita da tredici postazioni fisse ripartite su sette comuni ed idealmente suddivisibili in tre sottoinsiemi principali che raccolgono più stazioni, oltre alle singole stazioni di Lari e Montecerboli (Tabella 2-2). Insieme ai rilevamenti di inquinanti chimici in sette di queste stazioni sono effettuate anche analisi di parametri meteo (Tabella 2-3).

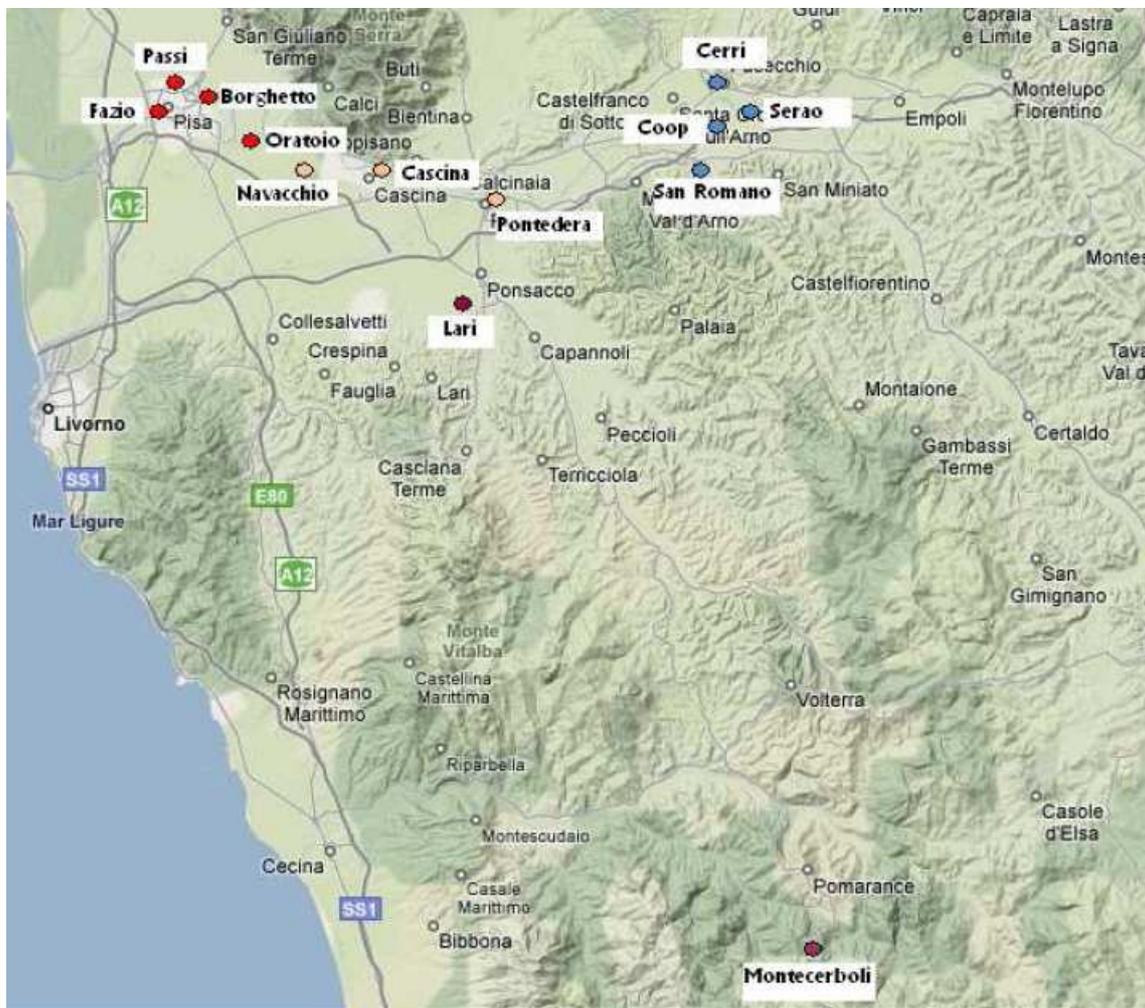
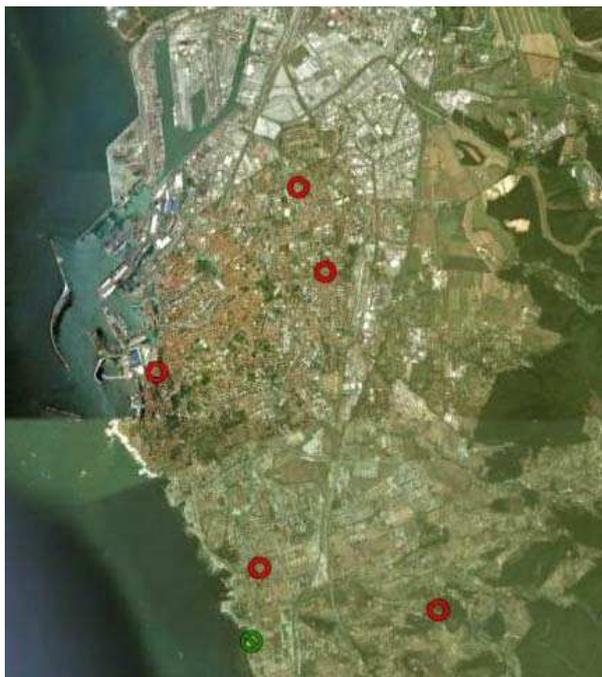


Figura 2-17: localizzazione centraline della provincia di Pisa



*Figura 2-18: localizzazione centraline della provincia di Livorno*

*Tabella 2-2: stazioni di misura della Provincia di Pisa*

Comune denominazione	Classificazione Stazione		Appartenenza alla rete regionale
	All III D.Lgs. 155/2010		
<b>Pisa – Borghetto</b>	Urbana	Traffico	PM10
Pisa – Fazio	Urbana	Traffico	-
<b>Pisa – Oratoio</b>	Periferica	Industriale	PM10
<b>Pisa – Passi</b>	Urbana	Fondo	OZONO – PM2.5
Cascina	Urbana	Traffico	-
<b>Cascina – Navacchio</b>	Urbana	Traffico	PM10
Pontedera	Urbana	Traffico	-
Lari - Perignano	Periferica	Industriale	-
S.Croce – Cerri	Rurale	Industriale	-
<b>S.Croce – Coop</b>	Periferica	Fondo	PM10
S.Croce – Serao	Periferica	Industriale	-
Montopoli – S.Romano	Urbana	Industriale	-
<b>Pomarance – Montecerboli</b>	Periferica	Fondo	PM10

*Tabella 2-3: inquinanti e parametri meteo monitorati in ciascuna stazione*

Stazione	SO <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> S	CO	NOx	PM10	PM 2.5	Benzene	O <sub>3</sub>	Parametri meteo
<b>Pisa – Borghetto</b> (Rete regionale PM10)	-	X	X	X	-	X	-	
Pisa – Fazio	-	X	X	-	-	-	-	
<b>Pisa – Oratoio</b> (Rete regionale PM10)	-	-	X	X	-	-	-	VV, DV, UR, T, RT, P, PG
<b>Pisa – Passi</b> (Rete regionale O3- PM2.5)	-	-	X	X	X	-	X	VV, DV, UR, T, RT, P
Cascina	-	X	X	X	-	-	-	VV, DV, UR, T, RT, P
<b>Cascina – Navacchio</b> (Rete regionale PM10)	-	X	X	X	-	-	-	VV, DV, UR, T, RT, P
Pontedera	-	X	X	X	-	-	X	
Lari - Perignano	-	-		X	-	-	-	
S.Croce – Cerri	H2S SO2	-		-	-	X	-	VV, DV
<b>S.Croce – Coop</b> (Rete regionale PM10)	H2S	-	X	X	-	-	-	
S.Croce – Serao	H2S	-		X	-	-	X	VV, DV, UR, T, RT, P
Montopoli – S.Romano	H2S	-		X	-	-	-	VV, DV
<b>Pomarance – Montecerboli</b> (Rete regionale PM10)	H2S SO2	-		X	-	-	X	

Di seguito si propone una valutazione della qualità dell'aria registrata nella provincia di Pisa nel 2010 sulla base dei dati ottenuti dalla rete di centraline dislocate sul territorio. Nel valutare il quadro complessivo della qualità dell'aria si è fatto particolare riferimento alla stazione di Navacchio essendo relativamente più vicina all'area in esame. I dati registrati a Navacchio sono stati integrati con quelli provenienti dalla stazione di Lari che, pur essendo più lontana rispetto alla prima, è inserita in un contesto territoriale più simile a quello della località in studio. Prima di presentare ogni inquinante nel dettaglio, nella tabella seguente si offre un quadro d'insieme sui valori medi annuali registrati per ciascun parametro monitorato in ogni centralina. Le frecce in basso indicano un decremento del valore rispetto all'anno precedente. Nel complesso si può notare un trend in diminuzione tranne che per il PM10 nella stazione di Lari e S. Croce-Coop e per l'ozono nella stazione di Montecerboli.

*Tabella 2-4: valori medi annuali rete di Pisa - 2010*

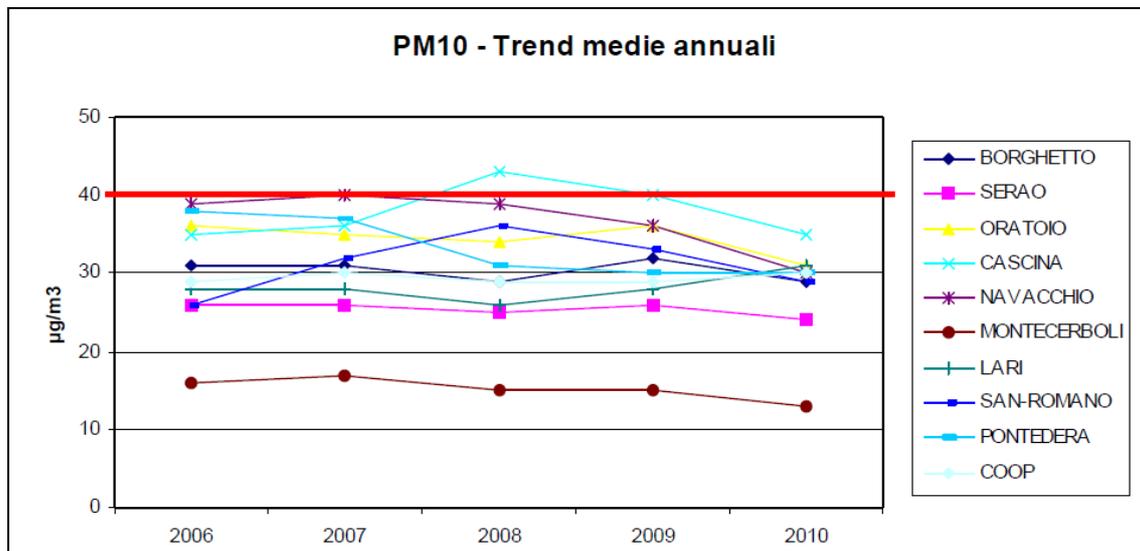
Stazioni	CO mg/m <sup>3</sup>	NO <sub>2</sub> µg/m <sup>3</sup>	SO <sub>2</sub> µg/m <sup>3</sup>	PM 10 µg/m <sup>3</sup>	PM 2.5 µg/m <sup>3</sup>	Benzene µg/m <sup>3</sup>	O <sub>3</sub> µg/m <sup>3</sup>
<b>Pisa – Borghetto</b> (Rete regionale PM10)	0.5 ↓	39		29 ↓		2.2 ↓	
Pisa – Fazio	0.4 ↓	36 ↓					
<b>Pisa – Oratoio</b> (Rete regionale PM10)		19 ↓		31 ↓			
<b>Pisa – Passi</b> (Rete regionale O3 - PM2.5)		19 ↓		25	16		47 ↓
Cascina	0.5 ↓	40 ↓		35 ↓			
<b>Cascina – Navacchio</b> (Rete regionale PM10)	0.4	27		30 ↓			
Pontedera	0.5 ↓	35		30			36 ↓
Lari - Perignano				31 ↑			
S.Croce – Cerri			1			1.1	
<b>S.Croce – Coop</b> (Rete regionale PM10)		29 ↓		30 ↑			
S.Croce – Serao				24 ↓			40 ↓
Montopoli – S.Romano				29 ↓			
<b>Pomarance – Montecerboli</b> (Rete regionale PM10)			1	13 ↓			73 ↑

### **PARTICOLATO (PM<sub>10</sub> E PM<sub>2.5</sub>)**

Nel 2010 tutte le centraline hanno registrato valori medi annuali inferiori al limite previsto dalla legge. Il trend degli ultimi cinque anni indica una situazione abbastanza positiva con valori quasi sempre inferiori ai 40 µg/m<sup>3</sup> tranne che per Cascina che nel solo 2008 ha riportato un valore di 43 µg/m<sup>3</sup> (Figura 2-19). Molto positiva è la situazione di Navacchio e Lari che hanno registrato rispettivamente valori di 30 e 31 µg/m<sup>3</sup>. Per quanto riguarda invece il numero di superamenti giornalieri analizzando il quinquennio 2006-2010 si denota nel complesso un trend in diminuzione ma con diversi superamenti soprattutto nei primi quattro anni. Soltanto le stazioni di Serao, Montecerboli e Lari presentano valori sempre inferiori al limite. Nel 2010 invece la situazione è abbastanza positiva e soltanto Lari e Cascina hanno evidenziato delle leggere eccedenze (Figura 2-20). I livelli di PM2.5 vengono misurati soltanto nella centralina di Pisa-Passi. I dati al 2010 riportano un valore di 16 µg/m<sup>3</sup>, di gran lunga inferiore a quello stabilito dalla norma ( 25 µg/m<sup>3</sup> ), peraltro in vigore dal 1° Gennaio 2015.

*Tabella 2-5: medie giornaliere e annuali sul PM10*

Stazione	Tipo zona	Tipo stazione	N° medie giornaliere >50 µg/m <sup>3</sup>	Valore limite	Media annuale (µg/m <sup>3</sup> )	Valore limite (µg/m <sup>3</sup> )
<b>Pisa – Borghetto</b> (Rete regionale PM10)	U	T	31	<b>35</b> (in vigore dal 1.01.2005)	29	<b>40 µg/m<sup>3</sup></b> (in vigore dal 1.01.2005)
<b>Pisa – Oratoio</b> (Rete regionale PM10)	P	I	29		32	
<b>Pisa – Passi</b> (Rete regionale O3-PM2.5)	U	F	13		25	
Cascina	U	T	<b>50</b>		35	
<b>Cascina – Navacchio</b> (Rete regionale PM10)	U	T	31		30	
Pontedera	U	T	25		30	
Lari - Perignano	P	I	<b>43</b>		31	
<b>S.Croce – Coop</b> (Rete regionale PM10)	P	I	33		30	
S.Croce – Serao	P	I	10		24	
Montopoli – S.Romano	U	I	28		29	
<b>Pomaranze – Montecerboli</b> (Rete regionale PM10)	P	I	0		13	



*Figura 2-19*

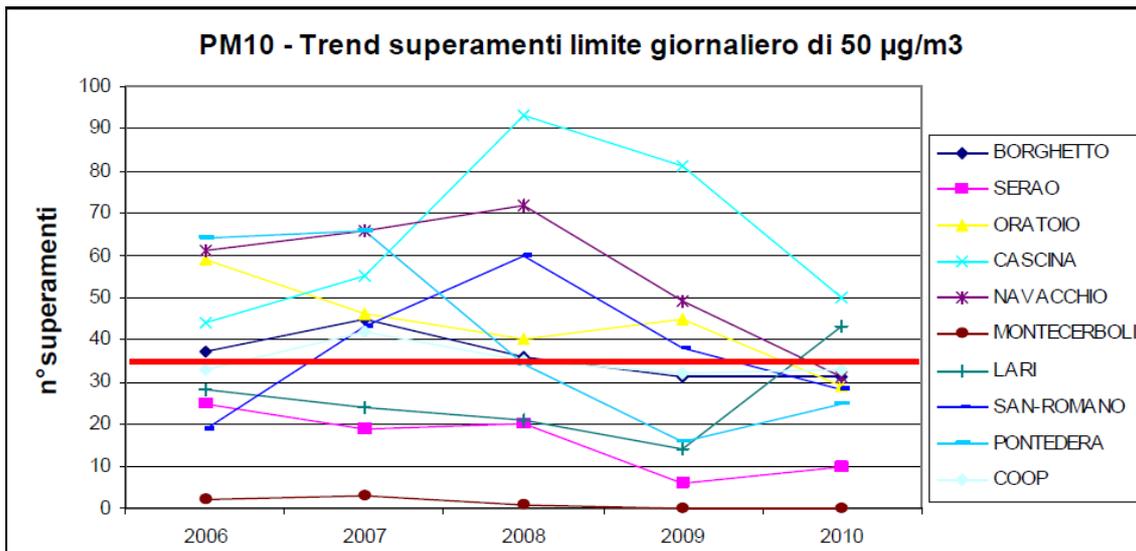


Figura 2-20

Tabella 2-6

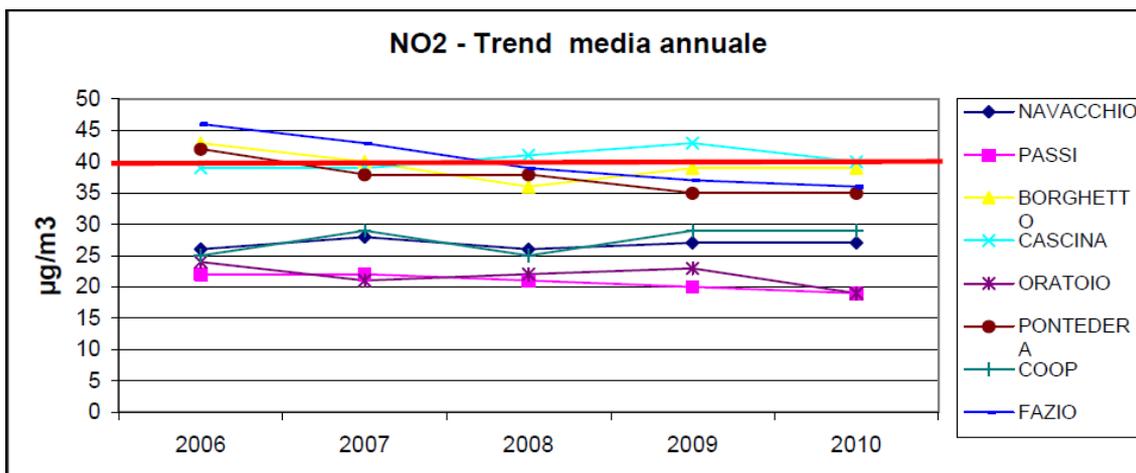
Stazione	Tipo zona	Tipo stazione	Media annuale (µg/m <sup>3</sup> )	Valore limite (µg/m <sup>3</sup> )
Pisa – Passi (Rete regionale O3)	U	F	16	25 µg/m <sup>3</sup> (in vigore dal 1.01.2015)

### BIOSSIDO DI AZOTO

Il biossido di azoto (NO<sub>2</sub>) nel 2010 non ha fatto registrare eccedenze rispetto al valore limite sia per quanto riguarda le medie annuali che per le medie orarie. Lo storico degli ultimi 5 anni dei valori medi annuali mette in luce una situazione abbastanza positiva con pochi superamenti del limite. In particolare la stazione di Cascina ha mostrato un lieve miglioramento del valore medio rispetto al 2009 che arriva a eguagliare (ma non a superare) il valore previsto dalla legge divenuto peraltro vigente a partire dall'inizio del 2010. Per quanto riguarda la stazione di Navacchio anche per questo inquinante il trend è positivo. Dal 2006 al 2010 non si sono mai avuti superamenti della soglia e in particolare il massimo livello registrato è stato nel 2007 con un valore di circa 27 µg/m<sup>3</sup> (Figura 2-21).

*Tabella 2-7*

Stazione	Tipo zona	Tipo stazione	N° medie orarie >200 µg/m <sup>3</sup>	Valore limite	Media annuale (µg/m <sup>3</sup> )	Valore limite (µg/m <sup>3</sup> )
Pisa – Borghetto (Rete regionale PM10)	U	T	0 (136)	<b>18</b> in vigore dal 1.01.2010	39	<b>40 µg/m<sup>3</sup></b> in vigore dal 1.01.2010
Pisa – Fazio	U	T	0 (164)		36	
Pisa – Oratoio (Rete regionale PM10)	P	I	0 (90)		19	
Pisa – Passi (Rete regionale O3-PM2-5)	U	F	0 (91)		19	
Cascina	U	T	0 (168)		40	
Cascina – Navacchio (Rete regionale PM10)	U	T	0 (135)		27	
Pontedera	U	T	0 (133)		35	
S.Croce – Coop (Rete regionale PM10)	P	I	0 (145)		29	



*Figura 2-21*

### BIOSSIDO DI ZOLFO

Attualmente il biossido di zolfo viene monitorato solamente in due centraline della rete ovvero S. Croce-Cerri e Montecerboli. Esso contamina blandamente solo alcune zone di ricaduta nelle vicinanze di siti industriali. In Tabella 2-8 sono riportati i valori registrati nel 2010 nelle due stazioni di cui sopra. Su tutta la rete provinciale non sono stati osservati eventi di superamento dei limiti di legge sebbene le due stazioni siano opportunamente collocate nelle vicinanze di siti industriali e comunque molto lontane dal sito in studio.

*Tabella 2-8*

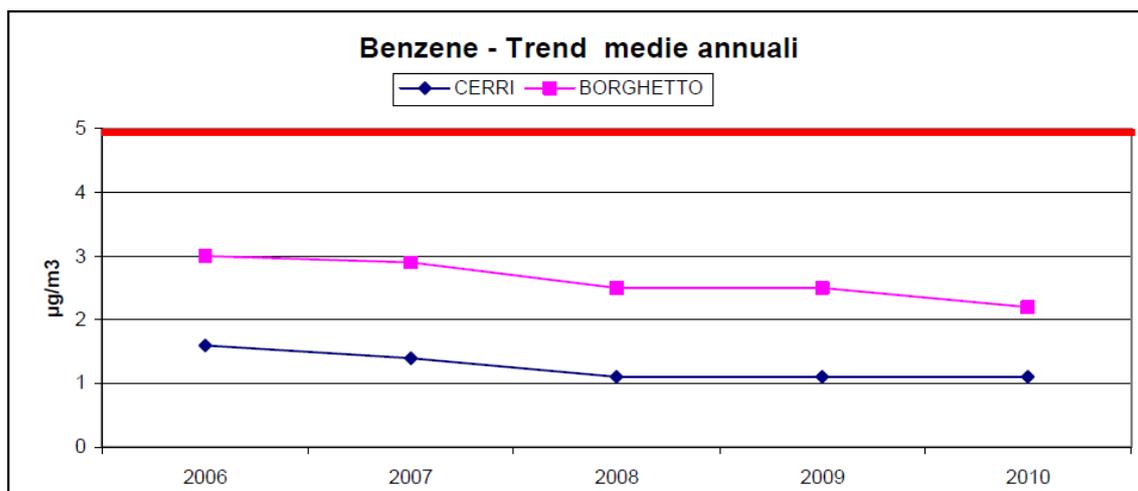
Stazione	Tipo zona	Tipo stazione	N° medie orarie >350 µg/m <sup>3</sup>	Valore limite	N° medie giornaliere >125 µg/m <sup>3</sup>	Valore limite
S.Croce – Cerri	R	I	0 (27)	<b>24</b> (in vigore dal 1.01.2005)	0 (4)	<b>3</b> (in vigore dal 1.01.2005)
Pomaranze – Montecerboli (Rete regionale PM10)	P	I	0 (20)		0 (7)	

### BENZENE

Anche il benzene viene monitorato soltanto in due stazioni ovvero Pisa-Borghetto e S.Croce-Cerri e in entrambe si è verificato un ampio rispetto del valore limite (Tabella 2-9). Il valore doppio di Pisa-Borghetto è dovuto all'apporto dovuto al traffico veicolare proprio di una stazione di tipo Urbana-Traffico mentre il valore di S.Croce presumibilmente è da considerarsi un valore di fondo tipico di quell'area.

*Tabella 2-9*

Stazione	Tipo zona	Tipo stazione	Media annuale (µg/m <sup>3</sup> )	Valore limite (µg/m <sup>3</sup> )
Pisa – Borghetto (Rete regionale PM10)	U	T	2.2	<b>5 µg/m<sup>3</sup></b> (in vigore dal 1.01.2010)
S.Croce – Cerri	R	I	1.1	



*Figura 2-22*

## OZONO

L'ozono viene monitorato in quattro centraline di cui quella di Pisa-Passi è afferente alla rete regionale O<sub>3</sub>. La Tabella 2-11 riporta i valori registrati nel 2010 in relazione alla protezione della salute umana. Si può evincere che in tutte le stazioni tranne che in quella di Montecerboli vi è un ampio rispetto del valore limite. Nella Tabella 2-11 è riportato l'indice AOT40 ovvero il valore obiettivo per la protezione della vegetazione. Anche qui vi è un ampio rispetto della soglia che è di 18000 µg/m<sup>3</sup> tranne che per la stazione di Montecerboli dove si è registrato un valore di 25744 µg/m<sup>3</sup>.

*Tabella 2-10*

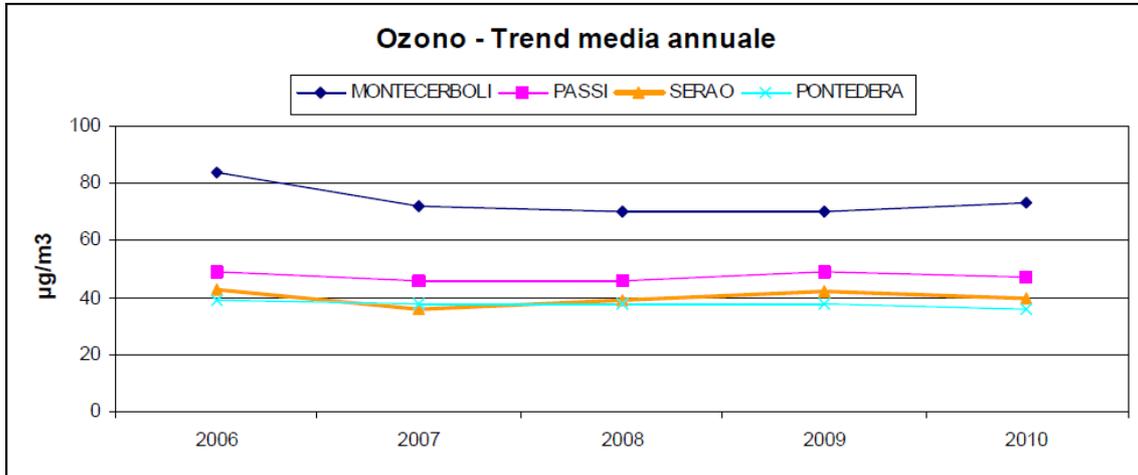
Stazione	Tipo stazione	N° medie massime giornaliere su 8 ore >120	Valore Obiettivo
<b>Pisa – Passi</b> (Rete regionale O3)	U	12	<b>25</b> (come media su 3 anni in vigore dal 1.01.10) ma valutabile a partire dall'anno 2013
Pontedera	U	6	
S.Croce – Serao	U	16	
<b>Pomarance – Montecerboli</b> (Rete regionale PM10)	S	29	

*Tabella 2-11*

Stazione	Tipo stazione	AOT40	Valore max. orario	Valore medio annuale
<b>Pisa – Passi</b> (Rete regionale O3)	U	13742	149	47
Pontedera	U	6675	166	36
S.Croce – Serao	U	17768	169	40
<b>Pomarance – Montecerboli</b> (Rete regionale PM10)	S	25744	174	73

Alla luce di questi dati l'unico commento da fare sull'ozono è relativo alla situazione di Montecerboli in cui si è registrato un accumulo anomalo. Ciò potrebbe essere dovuto sia alla presenza di precursori dello stesso come il biossido di azoto, ma purtroppo mancano dati relativi a quest'ultimo, che alla concomitante azione di apporti transfrontalieri e alto irraggiamento solare. Si sottolinea tuttavia che Montecerboli è abbastanza lontano dal sito in studio. Infine in Figura 2-23 viene riportato il trend della media annuale negli ultimi cinque anni. Anche qui si può notare come la situazione di Montecerboli sia abbastanza critica rispetto alle altre stazioni, in cui invece si registra una situazione abbastanza stabile e quantomeno non tendente all'aumento. Purtroppo non sono presenti centraline vicine all'area di studio che possano dare un'idea sulla situazione relativa all'ozono. In linea generale si può dire che non ci si aspettano alte concentrazioni a causa delle caratteristiche diffusive di questa zona che non

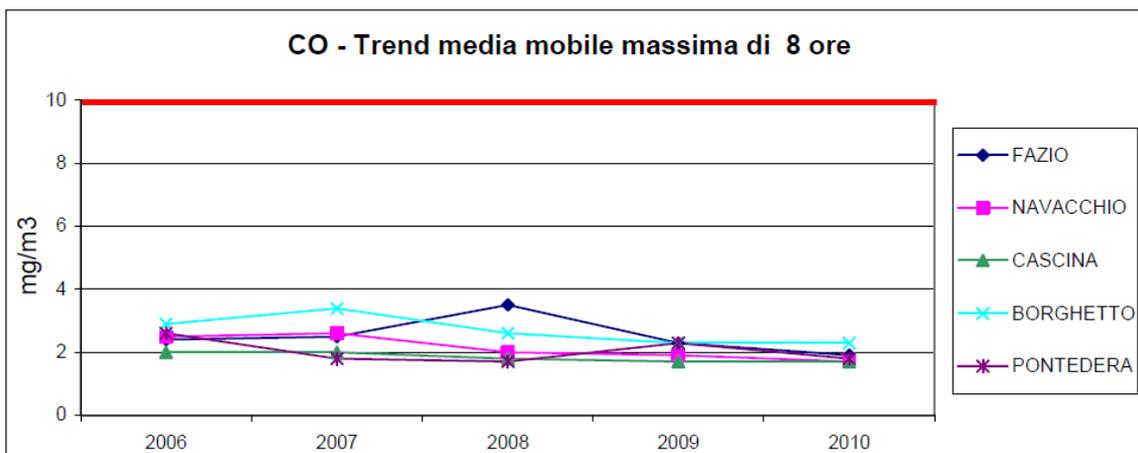
favoriscono l'accumulo eccessivo di precursori come gli ossidi di azoto, fondamentali per la formazione di ozono a bassa quota. Ulteriori conclusioni si potranno trarre analizzando i rilievi sito-specifici e in particolare quelli riguardanti gli ossidi di azoto, appunto.



*Figura 2-23*

### MONOSSIDO DI CARBONIO

Questo inquinante viene monitorato soltanto in cinque stazioni tra cui anche Navacchio. Tutte le centraline hanno evidenziato valori massimi (della massima media mobile su otto ore) confrontabili tra loro e sempre al di sotto del valore limite ovvero 10 mg/m<sup>3</sup>. I valori sono compresi in un range di 1.7-2.3 mg/m<sup>3</sup> indicando una certa uniformità nella concentrazione indipendentemente dalla zona. In ultima analisi si fa notare come il trend registrato a Navacchio dal 2006 al 2010 sia caratterizzato da una certa diminuzione nei primi tre anni e poi si sia mantenuto costante raggiungendo nel 2010 il valore di 2 mg/m<sup>3</sup> circa.



*Figura 2-24*

## 2.2.2. Rilievi strumentali sito specifici

Al fine di avere delle ulteriori indicazioni relativamente alla qualità dell'aria sito specifiche rispetto all'ambito di studio si è ritenuto opportuno svolgere una campagna di rilievi mediante campionatori passivi relativamente agli inquinanti NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> e Benzene. Gli inquinanti scelti risultano particolarmente indicati per caratterizzare la pressione ambientale delle sorgenti stradali risultando determinati prevalentemente dalle emissioni dei veicoli a motori.

### 2.2.2.1. Metodologia di campionamento

Il monitoraggio è stato sviluppato attraverso l'impiego di campionatori passivi o diffusivi che consentono di effettuare campionamenti di un cospicuo numero di inquinanti in atmosfera senza l'ausilio di sistemi di captazione particolarmente complessi.

Il principio funzionamento dei campionatori passivi si basa sulla velocità di spostamento delle molecole in aria (Legge di Fick); per molte sostanze è possibile correlare tali velocità con la superficie di captazione del mezzo adsorbente consentendo di campionare volumi noti sulla base del tempo di esposizione del campionatore in atmosfera.

I campionatori passivi utilizzati per la determinazione del benzene sono costituiti da una rete di acciaio inossidabile riempita con carbone attivo. I composti organici volatili sono captati per assorbimento. L'esposizione in atmosfera avviene inserendo la cartuccia assorbente all'interno del corpo diffusivo che a sua volta viene avvitato alla piastra di supporto. Il sistema così configurato viene posizionato in ambiente protetto da un apposito box di protezione dalle intemperie. Procedimento analogo viene utilizzato per il biossido di azoto. In questo caso, però, il campionatore passivo è in polietilene microporoso rivestito di trietonolammina (TEA) umida. Per gli ossidi di azoto si utilizza una superficie reattiva in grado di fissare il monossido di azoto e il biossido di azoto attraverso la loro trasformazione in nitrito.

L'analisi in laboratorio avviene tramite estrazione con solvente, solfuro di carbonio, ed analisi con gascromatografia su colonna capillare e rivelazione tramite spettrometria di massa con la tecnica SIM per la determinazione del benzene mentre per l'analisi del biossido di azoto la tecnica si basa su chemiadsorbimento su trietonolammina e dosaggio mediante spettrofotometria nel visibile. Infine per ciò che riguarda gli ossidi di azoto la determinazione dei quantitativi è effettuata mediante la misura del quantitativo di nitriti nella soluzione estraente attraverso cromatografia ionica.

### 2.2.2.2. Ubicazione delle postazioni di monitoraggio

I rilievi sono stati effettuati in corrispondenza di 4 postazioni la cui ubicazione planimetrica è riportata nell'Elaborato 03\_QA\_XL\_02.

In corrispondenza della postazione ATM01, finalizzata a caratterizzare i livelli di esposizione della popolazione e rappresentativa del ricettore residenziale maggiormente prossimo all'opera, sono stati effettuati i rilievi relativi agli inquinanti NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> e C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>.

In corrispondenza delle postazioni ATM02, ATM03 e ATM04 sono, invece, stati effettuati esclusivamente i rilievi relativi agli Ossidi di Azoto in coerenza alla finalità di caratterizzare gli attuali livelli esposizioni del sistema biotico.

### 2.2.2.3. Risultati del campionamento

I risultati delle attività di campionamento sono riportati nell'Elaborato 03\_QA\_Q1\_03 e sintetizzati nella Tabella 2-12.

Postazione	Inquinante	Concentrazione [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Limite di legge(*) [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
ATM_01	NO <sub>2</sub>	7.3	40
ATM_01	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	1.1	5
ATM_01	NO <sub>x</sub>	10.1	30
ATM_02	NO <sub>x</sub>	12.1	30
ATM_03	NO <sub>x</sub>	17.8	30
ATM_04	NO <sub>x</sub>	12.7	30

(\*) Media annuale

Tabella 2-12: sintesi dei risultati dei rilievi

I risultati delle attività di monitoraggio documentano un livello di alterazione ambientale abbastanza contenuto indice della presenza concomitante di un sistema infrastrutturale di discreta rilevanza e di condizioni meteo climatiche mediamente favorevoli alla dispersione degli inquinanti (venti energici, condizioni di stabilità non particolarmente frequenti).

### 2.2.3. Valutazione modellistica livelli di inquinamento determinati dal sistema infrastrutturale

Al fine di caratterizzare al continuo gli attuali livelli di inquinamento ambientale associati al sistema infrastrutturale presente si è ritenuto opportuno sviluppare delle valutazioni modellistiche in grado di ricostruire la distribuzione spaziale dei livelli di concentrazione delle principali sostanze direttamente correlabili alle emissioni veicolari.

#### 2.2.3.1. Modello di simulazione (CALINE)

Il modello utilizzato nelle simulazioni è rappresentato dal software previsionale CALINE (*A dispersion model for predicting air pollutant concentrations near roadways*) della FHWA, modello ufficiale EPA riconosciuto in sede internazionale.

CALINE è costituito da una catena di modelli diffusivi per la valutazione della qualità dell'aria per sorgenti lineari sviluppati da CALTRANS (*California Department of Transportation*).

Il modello si basa sull'equazione di diffusione Gaussiana e utilizza il concetto di zona di mescolamento (*mixing layer*) per caratterizzare la dispersione di inquinante sopra la carreggiata stradale. L'obiettivo è valutare gli effetti sulla qualità dell'aria in prossimità delle infrastrutture stradali.

Date le emissioni di traffico, la geometria del sito ed i parametri meteorologici, il modello è in grado di stimare in modo realistico le concentrazioni di inquinanti atmosferici in prossimità dei ricettori situati vicino alla carreggiata stradale (entro una fascia di 150-200 metri di distanza dall'asse stradale).

Le previsioni possono essere fatte per diversi agenti inquinanti, tra i quali anche il PM<sub>10</sub>.

Il modello è applicabile per ogni direzione di vento, orientazione della strada e locazione dei ricettori.



I singoli tratti stradali, denominati links, sono suddivisi in una serie di elementi dai quali vengono calcolati i singoli contributi di concentrazione; la stima della concentrazione totale (C) in corrispondenza del singolo ricettore considerato è data dalla somma di tutti i singoli contributi infinitesimali “dC” attribuiti al segmento infinitesimale di emissione “dy” e ripetendo l’operazione per tutti i tratti elementari in cui è scomposta la linea di emissione. Il codice di calcolo considera il contributo congiunto dei segmenti di emissione contenuti entro la distanza di  $\pm 3\sigma_y$  dal punto ricettore, in quanto i contributi al di fuori di tale range non sono in grado di apportare un contributo significativo. La concentrazione totale in corrispondenza di un singolo ricettore è data da:

$$C = 1/(2\pi u) \cdot \sum_i [(1/\sigma_{zi}) \cdot \sum_k (F1+F2) \cdot \sum_j (WT_j \cdot QE_i \cdot P_{di,j})]$$

dove:

i = 1, n

k = -CNT, CNT

j = 1, n

n = numero degli elementi

L = altezza della “mixing zone”

$\sigma_{zi}$  = parametro di dispersione verticale per l’elemento i-esimo

QE<sub>i</sub> = fattore di emissione per la parte centrale dell’elemento i-esimo

WT<sub>j</sub> = parametro di correzione del fattore di emissione

F1 =  $\exp[-(Z-H+2kL)^2/(2 \cdot \sigma_{gzi}^2)]$

F2 =  $\exp[-(Z+H+2kL)^2/(2 \cdot \sigma_{gzi}^2)]$

$\sigma_{gzi}$  = parametro di dispersione verticale iniziale internamente alla “mixing zone”

H = altezza della sorgente di emissione (variabile da -10 a +10 metri)

Z = altezza del punto ricettore

Inoltre, il codice di calcolo considera i seguenti tre fattori per il computo della concentrazione totale:

- FACT 1: considera la diluizione e la dispersione verticale determinate dal vento e da  $\sigma_z$
- FACT 2: considera la dispersione orizzontale  $\sigma_y$
- FACT 3: considera i fenomeni di riflessione multipla del pennacchio che si originano in presenza di un’altezza ridotta dello strato di rimescolamento.

La zona denominata “*mixing layer*” è interessata da fenomeni dispersivi indotti sia da turbolenza meccanica (moto veicolare), sia termica (scarichi gassosi a temperatura elevata), ed è definita come la regione al di sopra del manto stradale, aumentata di tre metri per ciascun lato della carreggiata, al fine di tenere conto della iniziale dispersione orizzontale creata dalla scia dei veicoli e la conseguente diluizione degli inquinanti.

I parametri di dispersione utilizzati dal codice di calcolo CALINE sono rappresentati dalla dispersione verticale  $\sigma_z$  e da quella orizzontale  $\sigma_x$ , raccordati da due curve espresse da funzioni di potenze che tengono conto della rugosità e del flusso di calore sensibile generato dagli scarichi degli automezzi.

La rugosità, nel caso oggetto di studio, in considerazione alla tipologia di copertura superficiale delle aree attraversate dalle infrastrutture e in un’ottica cautelativa, si ricorda che all’aumentare della rugosità aumentano anche i fenomeni turbolenti e la conseguente diluizione, è stata posta pari a 0.1 m.

La dispersione verticale è direttamente proporzionale al tempo di permanenza dell’inquinante all’interno della mixing zone, ed inversamente proporzionale alla velocità del vento.

Le curve di dispersione verticale utilizzate sono costruite usando un valore di  $\sigma_z$  finale (a 10 Km di distanza) uguale a quello che si verifica in condizioni di stabilità atmosferica per un rilascio passivo; inoltre, i valori di  $\sigma_z$  considerano la rugosità e il flusso di calore sensibile prodotto dagli scarichi degli automezzi.

Il parametro di dispersione orizzontale  $\sigma_y$  sottovento alla sorgente deriva dal metodo di Draxler.

Sono inoltre fornite speciali opzioni per modellizzare la qualità dell'aria vicino a intersezioni stradali, aree di parcheggio, strade di livello, in rilevato e in trincea, ponti e canyons stradali.

A seconda della tipologia di tratto stradale considerata variano le concentrazioni degli inquinanti, in particolare quelle stimate in corrispondenza dei ricettori ubicati in prossimità del bordo carreggiata:

per le strade di livello “AT Grade”, il modello di dispersione non permette agli inquinanti di disperdersi al di sotto del piano stradale, assunto a quota zero rispetto al piano di campagna;

per le strade in trincea “Depressed”, il modello di dispersione aumenta il tempo di residenza dell'inquinante all'interno della mixing zone proporzionalmente alla profondità della sede stradale rispetto al piano di campagna; in tale situazione si ottengono, per i ricettori prossimi al bordo carreggiata, valori di concentrazione superiori al caso standard “AT Grade”, in quanto la dispersione verticale aumenta con il tempo di residenza dell'inquinante all'interno della mixing zone;

per le strade in viadotto “Bridge”, il modello di dispersione permette all'inquinante di fluire al di sopra ed al di sotto del piano stradale; avendo a disposizione un maggiore volume per la dispersione, le concentrazioni degli inquinanti in prossimità dei ricettori più prossimi al bordo carreggiata risultano inferiori rispetto al caso standard “At Grade”;

per le strade in rilevato “Fill”, il modello di dispersione pone automaticamente l'altezza a zero in modo tale che le correnti di vento seguono il terreno in modo indisturbato.

per i parcheggi “Parking Lot”, il modello di dispersione considera i fenomeni di slow moving e di cold-start dei veicoli, caratteristici di tali situazioni di traffico.

Il modello, nella sua versione CALINE 4, consente all'utente di scegliere se fornire l'angolo che individua la direzione del vento, oppure selezionare l'opzione (*Worst case wind*) che ricerca l'angolo di vento che corrisponde al caso peggiore. La versione CALINE 3QHCR consente di effettuare simulazioni con un approccio rigorosamente short time fornendo al modello il decorso temporale, ora per ora, dei parametri di meteorologici per un intero anno.

CALINE è appropriato per le seguenti applicazioni:

- sorgenti autostradali;
- aree urbane o rurali;
- distanze di trasporto minori di 50 km;
- tempi medi di osservazione da 1 ora a 24 ore.

La stima consente di valutare le concentrazioni orarie e giornaliere e di verificare pertanto eventuali fenomeni di criticità sul breve periodo.

Per effettuare i calcoli il modello richiede i seguenti dati di input:

- numero di veicoli orari;
- fattori di emissione de veicoli;
- velocità dei veicoli;
- composizione della linea di traffico;
- configurazione della sorgente (strada lineare, intersezione, ponti, ecc.);
- condizioni meteorologiche.

### 2.2.3.2. Scenario meteorologico

L'implementazione del modello Caline ha utilizzato quali dati di input meteorologici quelli ottenuti dal modello LAMA descritti nel paragrafo 2.1.2. I dati a disposizione consentono di effettuare valutazioni in grado di ricostruire il decorso annuale, ora per ora, delle concentrazioni degli inquinanti oggetto di valutazione.

### 2.2.3.3. Scenario emissivo

Le emissioni inquinanti del parco circolante dipendono da una serie di caratteristiche, non sempre facilmente definibili, quali tipologia del veicolo, stato di manutenzione, velocità, caratteristiche geometriche del percorso, stile di guida, ecc.. Per tale motivo a livello internazionale sono stati sviluppati programmi di ricerca finalizzati a individuare metodologie di stima delle emissioni affidabili e semplici da applicare.

In particolare l'Unione Europea, tramite numerose misure di emissione effettuate nei vari paesi europei, per diverse tipologie e marche di veicoli, ha definito dei fattori di emissione ovvero dei coefficienti che consentono di ottenere le emissioni inquinanti a partire dai soli dati di traffico e composizione del parco circolante.

I coefficienti utilizzati, espressi in g/veic\*Km (ovvero grammi emessi per ciascun veicolo lungo un tratto stradale di un chilometro), si riferiscono agli inquinanti maggiormente significativi per il traffico veicolare e sono valutati in funzione della velocità media di percorrenza dei veicoli.

In generale le emissioni dei veicoli possono essere espresse come somma di 3 contributi:

$$E_{Tot} = E_{hot} + E_{cold} + E_{evap}$$

in cui:

$E_{hot}$  = emissioni a caldo, ossia dei motori che hanno raggiunto la temperatura di esercizio;

$E_{cold}$  = emissioni a freddo, ossia durante il riscaldamento del veicolo, convenzionalmente tali emissioni si verificano quando la temperatura dell'acqua di raffreddamento è inferiore a 70 °C.

$E_{evap}$  = emissioni per evaporazione relative ai soli COVNM (composti organici volatili non metanici), significativa solo per i veicoli a benzina.

In ragione delle caratteristiche tipologiche delle infrastrutture analizzate si è fatto riferimento ai fattori di emissione a caldo, risultando sostanzialmente trascurabili, almeno in prima approssimazione, le emissioni a freddo e evaporative.

I fattori di emissione sono stati valutati attraverso l'impiego del modello COPERT IV, COmputer Programme to calculate Emissions from Road Transport (<http://lat.eng.auth.gr/copert/>), versione 8.0. Le analisi si sono concentrate sui seguenti inquinanti: Monossido di Carbonio – CO, Ossidi di Azoto – NOx, NMVOC, Composti Organici Volatili e Polveri (Pm10 e Pm2.5) e hanno considerato le diverse tipologie di mezzi (autovetture, commerciali leggeri, commerciali pesanti), di alimentazione (benzina, gasolio, GPL, metano) e di omologazione alle diverse direttive in materia di emissioni veicolari (Euro 0, I, II, III, IV, V).



Per ciò che concerne lo Polveri sono state considerate anche le emissioni associate ai fenomeni di usare dei freni, pneumatici e manto stradale in base ai coefficienti di emissione proposti dal “EMEP/EEA Air pollutant emission inventory guidebook - 2009”.

Per valutare le emissioni medie di ogni tipologia veicolare è stato necessario definire la composizione del Parco Veicolare Circolante. Tale composizione è stata desunta a partire dai dati forniti dell’ACI annualmente nella pubblicazione Autoritratto. I dati analizzati riguardano l’anno 2009 e considerano il parco veicolare italiano e quello toscano. Il primo ritenuto rappresentativo dei flussi circolanti lungo l’autostrada, il secondo di quelli relativi alle altre viabilità. Nella definizione dell’incidenza percentuale di ogni singola tipologia veicolare sono state anche considerate le percorrenze chilometriche di ciascuna classe stimate dall’ISPRA. Inoltre nella definizione del parco circolante autostradale è stata ipotizzata l’assenza di motoveicoli e una percentuale di veicoli commerciali leggeri pari al 50% dei veicoli pesanti complessivi.

La composizione dei parchi veicolari è sintetizzata nelle Tabella 2-13÷ Tabella 2-17.

Nota la composizione del parco veicolare è stato possibile calcolare i coefficienti di emissione medi per macrocategoria come media pesata dei coefficienti relativi ad ogni singola tipologia.

I risultati delle valutazioni sono sintetizzati nelle Tabella 2-18 ÷ Tabella 2-19.



**A 12 – AUTOSTRADE SESTRI LEVANTE – LIVORNO**  
**Nuovo Svincolo A12 - S.S.1 Via Aurelia Sud – Località**  
**Cimitero Di Stagno - Comune Di Pisa**  
**Progetto Definitivo – Quadro di riferimento ambientale**

*Tabella 2-13 Composizione parco veicolare 2009 - Autoveicoli*

<b>Tipologia veicolare</b>	<b>Direttiva di riferimento</b>	<b>Parco nazionale</b>	<b>Parco toscano</b>
Gasoline <1,4 l	Euro 0	8.50%	5.44%
Gasoline <1,4 l	Euro 1	3.91%	2.60%
Gasoline <1,4 l	Euro 2	12.62%	11.22%
Gasoline <1,4 l	Euro 3	8.16%	9.93%
Gasoline <1,4 l	Euro 4	12.17%	15.31%
Gasoline <1,4 l	Euro 5	0.28%	0.36%
Gasoline <1,4 l	Euro 6	0.00%	0.00%
Gasoline 1,4 - 2,0 l	Euro 0	1.86%	1.33%
Gasoline 1,4 - 2,0 l	Euro 1	1.42%	0.95%
Gasoline 1,4 - 2,0 l	Euro 2	3.42%	2.98%
Gasoline 1,4 - 2,0 l	Euro 3	1.54%	1.72%
Gasoline 1,4 - 2,0 l	Euro 4	2.35%	2.65%
Gasoline 1,4 - 2,0 l	Euro 5	0.07%	0.09%
Gasoline 1,4 - 2,0 l	Euro 6	0.00%	0.00%
Gasoline >2,0 l	Euro 0	0.26%	0.24%
Gasoline >2,0 l	Euro 1	0.09%	0.07%
Gasoline >2,0 l	Euro 2	0.19%	0.15%
Gasoline >2,0 l	Euro 3	0.19%	0.17%
Gasoline >2,0 l	Euro 4	0.43%	0.38%
Gasoline >2,0 l	Euro 5	0.02%	0.02%
Gasoline >2,0 l	Euro 6	0.00%	0.00%
Diesel <2,0 l	Euro 0	1.15%	0.95%
Diesel <2,0 l	Euro 1	0.72%	0.42%
Diesel <2,0 l	Euro 2	4.23%	3.11%
Diesel <2,0 l	Euro 3	10.27%	10.54%
Diesel <2,0 l	Euro 4	13.84%	18.25%
Diesel <2,0 l	Euro 5	0.53%	0.93%
Diesel <2,0 l	Euro 6	0.00%	0.00%
Diesel >2,0 l	Euro 0	0.62%	0.00%
Diesel >2,0 l	Euro 1	0.29%	0.00%
Diesel >2,0 l	Euro 2	1.13%	0.00%
Diesel >2,0 l	Euro 3	2.04%	0.00%
Diesel >2,0 l	Euro 4	1.85%	0.00%
Diesel >2,0 l	Euro 5	0.09%	0.00%
Diesel >2,0 l	Euro 6	0.00%	0.00%
LPG	Euro 0	0.79%	0.07%
LPG	Euro 1	0.38%	0.05%
LPG	Euro 2	0.83%	0.18%
LPG	Euro 3	0.32%	0.16%
LPG	Euro 4	1.73%	0.34%
LPG	Euro 5	0.01%	0.00%
LPG	Euro 6	0.00%	0.00%
Hybrid Gasoline <1,4 l		1.05%	0.02%
Hybrid Gasoline 1,4 - 2,0 l		0.63%	2.34%
Hybrid Gasoline >2,0 l		0.01%	7.05%



**A 12 – AUTOSTRADE SESTRI LEVANTE – LIVORNO**  
**Nuovo Svincolo A12 - S.S.1 Via Aurelia Sud – Località**  
**Cimitero Di Stagno - Comune Di Pisa**  
**Progetto Definitivo – Quadro di riferimento ambientale**

*Tabella 2-14 Composizione parco veicolare 2009 - Motoveicoli*

<b>Tipologia veicolare</b>	<b>Direttiva di riferimento</b>	<b>Parco nazionale</b>	<b>Parco toscano</b>
2-stroke >50 cm <sup>3</sup>	Euro 0	13.92%	13.22%
2-stroke >50 cm <sup>3</sup>	Euro 1	4.38%	4.59%
2-stroke >50 cm <sup>3</sup>	Euro 2	3.79%	3.75%
2-stroke >50 cm <sup>3</sup>	Euro 3	4.76%	5.88%
4-stroke <250 cm <sup>3</sup>	Euro 0	10.36%	8.84%
4-stroke <250 cm <sup>3</sup>	Euro 1	6.93%	7.98%
4-stroke <250 cm <sup>3</sup>	Euro 2	7.19%	9.15%
4-stroke <250 cm <sup>3</sup>	Euro 3	6.14%	8.34%
4-stroke 250 - 750 cm <sup>3</sup>	Euro 0	12.02%	10.36%
4-stroke 250 - 750 cm <sup>3</sup>	Euro 1	4.74%	4.15%
4-stroke 250 - 750 cm <sup>3</sup>	Euro 2	7.78%	7.40%
4-stroke 250 - 750 cm <sup>3</sup>	Euro 3	7.11%	6.75%
4-stroke >750 cm <sup>3</sup>	Euro 0	3.21%	2.62%
4-stroke >750 cm <sup>3</sup>	Euro 1	2.69%	2.33%
4-stroke >750 cm <sup>3</sup>	Euro 2	2.24%	2.12%
4-stroke >750 cm <sup>3</sup>	Euro 3	2.77%	2.52%

*Tabella 2-15 Composizione parco veicolare 2009 – Veicoli Commerciali Pesanti*

<b>Tipologia veicolare</b>	<b>Direttiva di riferimento</b>	<b>Parco nazionale</b>	<b>Parco toscano</b>
Gasoline <3,5t	Euro 0	1.85%	1.77%
Gasoline <3,5t	Euro 1	1.25%	1.04%
Gasoline <3,5t	Euro 2	1.92%	2.26%
Gasoline <3,5t	Euro 3	1.69%	2.11%
Gasoline <3,5t	Euro 4	1.95%	3.16%
Gasoline <3,5t	Euro 5	0.04%	0.06%
Gasoline <3,5t	Euro 6	0.00%	0.00%
Diesel <3,5 t	Euro 0	15.35%	11.48%
Diesel <3,5 t	Euro 1	9.71%	7.39%
Diesel <3,5 t	Euro 2	19.10%	17.02%
Diesel <3,5 t	Euro 3	27.74%	27.41%
Diesel <3,5 t	Euro 4	18.85%	25.78%
Diesel <3,5 t	Euro 5	0.55%	0.50%
Diesel <3,5 t	Euro 6	0.00%	0.00%



**A 12 – AUTOSTRADE SESTRI LEVANTE – LIVORNO**  
**Nuovo Svincolo A12 - S.S.1 Via Aurelia Sud – Località**  
**Cimitero Di Stagno - Comune Di Pisa**  
**Progetto Definitivo – Quadro di riferimento ambientale**

*Tabella 2-16 Composizione parco veicolare 2009 – Veicoli Commerciali Pesanti*

<b>Tipologia veicolare</b>	<b>Direttiva di riferimento</b>	<b>Parco nazionale</b>	<b>Parco toscano</b>
Gasoline >3,5 t	Euro 0	0.46%	0.41%
Rigid <=7,5 t	Euro 0	15.49%	10.32%
Rigid <=7,5 t	Euro 1	1.89%	1.99%
Rigid <=7,5 t	Euro 2	3.22%	4.25%
Rigid <=7,5 t	Euro 3	3.18%	6.16%
Rigid <=7,5 t	Euro 4	1.26%	1.78%
Rigid <=7,5 t	Euro 5	0.52%	1.03%
Rigid <=7,5 t	Euro 6	0.00%	0.00%
Rigid 7,5 – 12 t	Euro 0	10.66%	9.24%
Rigid 7,5 – 12 t	Euro 1	1.61%	2.21%
Rigid 7,5 – 12 t	Euro 2	2.56%	3.48%
Rigid 7,5 – 12 t	Euro 3	2.23%	3.64%
Rigid 7,5 – 12 t	Euro 4	0.82%	1.24%
Rigid 7,5 – 12 t	Euro 5	0.21%	0.33%
Rigid 7,5 – 12 t	Euro 6	0.00%	0.00%
Rigid 12 – 14 t	Euro 0	2.44%	1.91%
Rigid 12 – 14 t	Euro 1	0.14%	0.15%
Rigid 12 – 14 t	Euro 2	0.15%	0.19%
Rigid 12 – 14 t	Euro 3	0.19%	0.46%
Rigid 12 – 14 t	Euro 4	0.15%	0.26%
Rigid 12 – 14 t	Euro 5	0.01%	0.03%
Rigid 12 – 14 t	Euro 6	0.00%	0.00%
Rigid 14 – 20 t	Euro 0	5.08%	4.39%
Rigid 14 – 20 t	Euro 1	1.01%	1.27%
Rigid 14 – 20 t	Euro 2	1.98%	2.52%
Rigid 14 – 20 t	Euro 3	2.08%	3.14%
Rigid 14 – 20 t	Euro 4	0.93%	1.07%
Rigid 14 – 20 t	Euro 5	0.21%	0.29%
Rigid 14 – 20 t	Euro 6	0.00%	0.00%
Rigid 20 – 26 t	Euro 0	9.65%	6.43%
Rigid 20 – 26 t	Euro 1	1.64%	1.72%
Rigid 20 – 26 t	Euro 2	3.69%	3.95%
Rigid 20 – 26 t	Euro 3	3.57%	4.14%
Rigid 20 – 26 t	Euro 4	1.33%	1.56%
Rigid 20 – 26 t	Euro 5	0.36%	0.48%
Rigid 20 – 26 t	Euro 6	0.00%	0.00%
Rigid 26 – 28 t	Euro 0	0.06%	0.05%
Rigid 26 – 28 t	Euro 1	0.00%	0.00%
Rigid 26 – 28 t	Euro 2	0.00%	0.00%
Rigid 26 – 28 t	Euro 3	0.00%	0.01%
Rigid 26 – 28 t	Euro 4	0.00%	0.00%
Rigid 26 – 28 t	Euro 5	0.00%	0.00%
Rigid 26 – 28 t	Euro 6	0.00%	0.00%
Rigid 28 – 32 t	Euro 0	0.09%	0.10%
Rigid 28 – 32 t	Euro 1	0.24%	0.19%
Rigid 28 – 32 t	Euro 2	1.11%	1.09%
Rigid 28 – 32 t	Euro 3	2.17%	2.24%
Rigid 28 – 32 t	Euro 4	0.92%	0.89%
Rigid 28 – 32 t	Euro 5	0.11%	0.19%
Rigid 28 – 32 t	Euro 6	0.00%	0.00%



**A 12 – AUTOSTRADE SESTRI LEVANTE – LIVORNO**  
**Nuovo Svincolo A12 - S.S.1 Via Aurelia Sud – Località**  
**Cimitero Di Stagno - Comune Di Pisa**  
**Progetto Definitivo – Quadro di riferimento ambientale**

*Tabella 2-17 Composizione parco veicolare 2009 – Veicoli Commerciali Pesanti*

<b>Tipologia veicolare</b>	<b>Direttiva di riferimento</b>	<b>Parco nazionale</b>	<b>Parco toscano</b>
Rigid >32 t	Euro 0	0.31%	0.26%
Rigid >32 t	Euro 1	0.04%	0.07%
Rigid >32 t	Euro 2	0.05%	0.14%
Rigid >32 t	Euro 3	0.04%	0.12%
Rigid >32 t	Euro 4	0.04%	0.08%
Rigid >32 t	Euro 5	0.00%	0.00%
Rigid >32 t	Euro 6	0.00%	0.00%
Articulated 14 - 20 t	Euro 0	1.86%	1.56%
Articulated 14 - 20 t	Euro 1	0.85%	0.60%
Articulated 14 - 20 t	Euro 2	3.50%	3.12%
Articulated 14 - 20 t	Euro 3	5.53%	5.01%
Articulated 14 - 20 t	Euro 4	3.44%	3.32%
Articulated 14 - 20 t	Euro 5	0.15%	0.10%
Articulated 14 - 20 t	Euro 6	0.00%	0.00%
Articulated 20 - 28 t	Euro 0	0.13%	0.10%
Articulated 20 - 28 t	Euro 1	0.03%	0.02%
Articulated 20 - 28 t	Euro 2	0.09%	0.09%
Articulated 20 - 28 t	Euro 3	0.17%	0.24%
Articulated 20 - 28 t	Euro 4	0.10%	0.16%
Articulated 20 - 28 t	Euro 5	0.01%	0.02%
Articulated 20 - 28 t	Euro 6	0.00%	0.00%
Articulated 28 - 34 t	Euro 0	0.01%	0.01%
Articulated 28 - 34 t	Euro 1	0.00%	0.00%
Articulated 28 - 34 t	Euro 2	0.01%	0.01%
Articulated 28 - 34 t	Euro 3	0.01%	0.00%
Articulated 28 - 34 t	Euro 4	0.01%	0.00%
Articulated 28 - 34 t	Euro 5	0.00%	0.00%
Articulated 28 - 34 t	Euro 6	0.00%	0.00%
Articulated 34 - 40 t	Euro 0	0.02%	0.01%
Articulated 34 - 40 t	Euro 1	0.01%	0.01%
Articulated 34 - 40 t	Euro 2	0.02%	0.02%
Articulated 34 - 40 t	Euro 3	0.03%	0.02%
Articulated 34 - 40 t	Euro 4	0.01%	0.01%
Articulated 34 - 40 t	Euro 5	0.00%	0.00%
Articulated 34 - 40 t	Euro 6	0.00%	0.00%
Articulated 40 - 50 t	Euro 0	0.01%	0.00%
Articulated 40 - 50 t	Euro 1	0.01%	0.00%
Articulated 40 - 50 t	Euro 2	0.02%	0.01%
Articulated 40 - 50 t	Euro 3	0.04%	0.03%
Articulated 40 - 50 t	Euro 4	0.02%	0.06%
Articulated 40 - 50 t	Euro 5	0.00%	0.00%
Articulated 40 - 50 t	Euro 6	0.00%	0.00%
Articulated 50 - 60 t	Euro 0	0.00%	0.00%
Articulated 50 - 60 t	Euro 1	0.00%	0.00%
Articulated 50 - 60 t	Euro 2	0.00%	0.00%
Articulated 50 - 60 t	Euro 3	0.00%	0.00%
Articulated 50 - 60 t	Euro 4	0.00%	0.00%
Articulated 50 - 60 t	Euro 5	0.00%	0.00%
Articulated 50 - 60 t	Euro 6	0.00%	0.00%



**A 12 – AUTOSTRADE SESTRI LEVANTE – LIVORNO**  
**Nuovo Svincolo A12 - S.S.1 Via Aurelia Sud – Località**  
**Cimitero Di Stagno - Comune Di Pisa**  
**Progetto Definitivo – Quadro di riferimento ambientale**

*Tabella 2-18: Coefficienti di emissione medi - STRADE*

<b>Coeff. Emissione VEICOLI LEGGERI g/Km*veic</b>	<b>Velocità</b>	<b>CO</b>	<b>NOx</b>	<b>NMVOC</b>	<b>Pm10</b>	<b>Pm2e5</b>
	30	2.174	0.370	0.374	0.039	0.030
	40	1.917	0.337	0.302	0.037	0.028
	50	1.839	0.319	0.262	0.036	0.027
	60	1.854	0.317	0.239	0.035	0.026
	70	1.969	0.324	0.229	0.035	0.026
	80	2.162	0.344	0.231	0.036	0.027
	90	2.439	0.374	0.244	0.037	0.028
	100	2.792	0.416	0.264	0.038	0.029
	110	3.053	0.469	0.269	0.040	0.031
	120	3.460	0.544	0.280	0.043	0.034
130	4.173	0.607	0.297	0.046	0.037	
<b>Coeff. Emissione VEICOLI PESANTI g/Km*veic</b>	30	1.017	1.948	0.179	0.133	0.115
	40	0.765	1.692	0.148	0.119	0.102
	50	0.603	1.529	0.125	0.113	0.095
	60	0.522	1.436	0.109	0.112	0.094
	70	0.515	1.403	0.098	0.116	0.099
	80	0.579	1.423	0.091	0.126	0.108
	90	0.714	1.493	0.089	0.140	0.122
	100	0.920	1.609	0.093	0.158	0.141
	110	1.193	1.766	0.099	0.181	0.164
	120	1.289	1.768	0.100	0.181	0.164
	130	1.289	1.768	0.100	0.181	0.164

*Tabella 2-19: Coefficienti di emissione medi – AUTOSTRADE*

<b>Coeff. Emissione VEICOLI LEGGERI g/Km*veic</b>	<b>Velocità</b>	<b>CO</b>	<b>NOx</b>	<b>NMVOC</b>	<b>Pm10</b>	<b>Pm2e5</b>
	30	0.934	0.510	0.138	0.044	0.034
	40	0.741	0.467	0.111	0.042	0.032
	50	0.628	0.443	0.094	0.040	0.030
	60	0.536	0.435	0.078	0.039	0.029
	70	0.518	0.441	0.069	0.039	0.029
	80	0.533	0.460	0.062	0.040	0.030
	90	0.586	0.493	0.058	0.041	0.032
	100	0.684	0.540	0.057	0.044	0.034
	110	0.845	0.606	0.058	0.047	0.038
	120	1.122	0.701	0.062	0.051	0.042
130	1.729	0.766	0.069	0.057	0.047	
<b>Coeff. Emissione VEICOLI PESANTI g/Km*veic</b>	1.449	4.394	0.406	0.233	0.204	0.115
	1.147	3.849	0.323	0.206	0.176	0.102
	0.972	3.530	0.269	0.190	0.161	0.095
	0.881	3.346	0.232	0.183	0.154	0.094
	0.852	3.255	0.204	0.183	0.153	0.099
	0.875	3.234	0.184	0.186	0.157	0.108
	0.947	3.270	0.175	0.194	0.165	0.122
	1.065	3.343	0.177	0.206	0.177	0.141
	1.223	3.443	0.181	0.220	0.191	0.164
	1.271	3.444	0.181	0.220	0.191	0.164
	1.271	3.444	0.181	0.220	0.191	0.164

Per ciò che concerne i flussi veicolari sono stati considerati per la sorgente autostradale i valori sintetizzati in Tabella 2-20, desunti dai rilievi effettuati da ARPAT e dai documenti SALT, sviluppati per la redazione del piano conoscitivo per il progetto dell'ampliamento con costruzione della III corsia nel tratto fra Carrara e Viareggio,

*Tabella 2-20: Dati di traffico tratte A12*

Tratta	TGM tot	% traffico notturno	Velocità media veicoli leggeri [km/h]	Velocità media veicoli pesanti [km/h]	% veicoli pesanti periodo diurno	% veicoli pesanti periodo notturno
PiC-Liv	30000	13	120	80	25	35
Rac. Liv-SS1	20000	12,5	110	70	15	15

Per le altre infrastrutturali sono stati utilizzati i risultati dei rilievi di traffico effettuati nel mese di Giugno 2011 in concomitanza ai monitoraggi acustici svolti sintetizzati nelle Tabella 2-21 ÷ Tabella 2-22.

*Tabella 2-21: Dati di traffico misurati SS1 via Aurelia (veicoli/h)*

Periodo	Totale		Nord		Sud	
	Leg	Pes	Leg	Pes	Leg	Pes
6-22	858	66	477	24	381	42
22-6	251	13	121	6	130	7

*Tabella 2-22: Dati di traffico misurati SS67 via Arnaccio (veicoli/h)*

Periodo	Totale		Nord		Sud	
	Leg	Pes	Leg	Pes	Leg	Pes
6-22	394	20	195	11	199	9
22-6	82	2	40	1	42	1

#### **2.2.3.4. Risultati delle valutazioni**

I risultati delle valutazioni modellistiche sono stati rappresentati attraverso mappe al continuo delle curve isoplete relativamente al parametro media annuale degli NOx e delle Polveri (Pm10 e Pm2.5) e andamenti delle concentrazioni orarie in corrispondenza del punto di massima esposizione sanitaria rappresentato dagli edifici siti in località "Casa Poggio al lupo" di NOx, CO, NMVOC, Pm10 e Pm2.5.

Le mappe al continuo delle curve isoplete sono riportate nei seguenti elaborati:

- 03\_QA\_XL\_04: Mappatura isoplete NO<sub>x</sub> ante operam media annuale;
- 03\_QA\_XL\_05: Mappatura isoplete Pm<sub>10</sub> ante operam media annuale;
- 03\_QA\_XL\_06: Mappatura isoplete Pm<sub>2.5</sub> ante operam media annuale;

Nelle Figura 2-26 ÷ Figura 2-30 si riportano i grafici relativi agli andamenti orari in corrispondenza del punto di controllo prescelto.

I risultati delle valutazioni indicano un livello di alterazione della qualità dell'aria, direttamente associabile alle emissioni determinate dal sistema infrastrutturale, complessivamente contenuto e ampiamente conforme alle prescrizioni normative.

Analizzando nello specifico ogni singolo inquinante sono possibili le seguenti considerazioni.

### **Ossidi di Azoto (NO<sub>x</sub>)**

Le concentrazioni relative agli Ossidi di Azoto non risultano immediatamente confrontabili con le prescrizioni normative, relative all'esposizione umana, che prevedono limiti di legge esclusivamente per il Biossido di Azoto. Il considerare la totalità degli Ossidi di Azoto risulta particolarmente cautelativo, in quanto il rapporto in atmosfera tra NO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub> risulta compreso tra l'80 e il 30%, diminuendo all'aumentare delle concentrazioni di NO<sub>x</sub>.

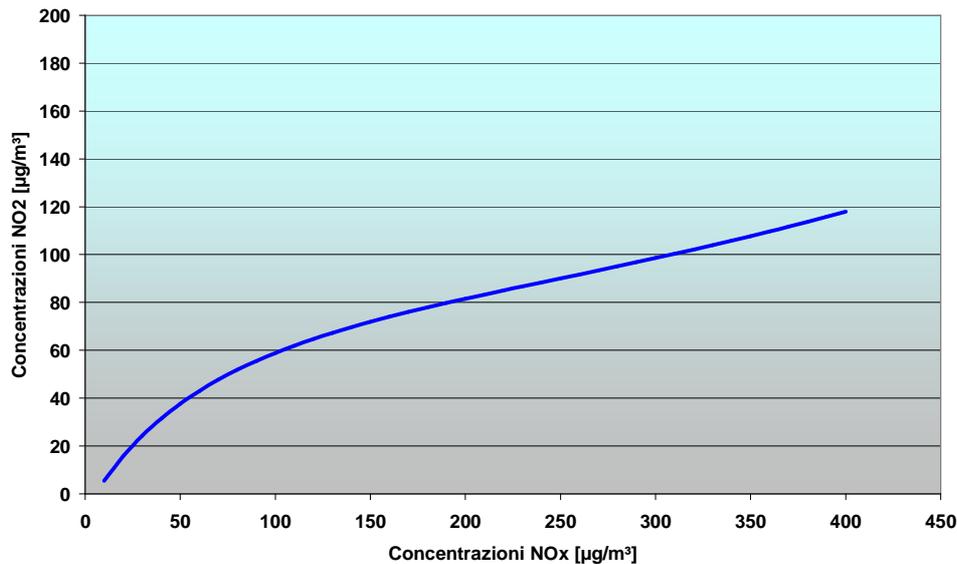
Alcune indicazioni in merito all'entità di tale rapporto sono fornite dalla relazione semiempirica riportata nella pubblicazione "Uno sguardo all'aria 2004", redatta dalla Provincia di Torino e dall'ARPA Piemonte. La relazione semiempirica che lega le concentrazioni dei livelli di NO<sub>2</sub> alle concentrazioni di NO<sub>x</sub> è stata stabilita (Derwent e Middleton 1996; Dixon *et al.*, 2000) sulla base di una curva polinomiale di quarto ordine del logaritmo in base 10 delle concentrazioni di NO<sub>x</sub>. Dette [NO<sub>x</sub>] ed [NO<sub>2</sub>] le concentrazioni in aria rispettivamente di NO<sub>x</sub> e NO<sub>2</sub> (espresse in ppb o µg/m<sup>3</sup> NO<sub>2</sub> equivalenti) è possibile stimare le prime dalle seconde sulla base della seguente relazione:

$$[\text{NO}_2] = [\text{NO}_x](a+bA+cA^2+dA^3+eA^4) \quad A = 10\log_{10}([\text{NO}_x]).$$

I coefficienti a,b,c,d,e sono determinati empiricamente tramite regressione statistica delle funzioni sui dati misurati da una rete di monitoraggio. Nel caso specifico sono state calcolate sulla base delle concentrazioni registrate dalle centraline di monitoraggio della qualità dell'aria presente in Provincia di Torino. La serie di dati è stata filtrata secondo i seguenti criteri, per tenere in debita considerazione l'incertezza strumentale vicino allo zero e la presenza di pochi dati in presenza di concentrazioni elevate:

- non sono state considerate le concentrazioni di [NO<sub>x</sub>] inferiori a 5 µg/m<sup>3</sup> e superiori a 800 µg/m<sup>3</sup>;
- sono state considerate percentuali di NO<sub>2</sub> su NO<sub>x</sub> superiori al 25% in modo tale da trascurare gli eventi inquinanti locali.

L'individuazione dei coefficienti ha consentito di definire la suddetta relazione la cui rappresentazione grafica è riportata nella Figura 2-25.



*Figura 2-25: Relazione semiepirica NO2/NOx*  
 (fonte "Uno sguardo all'aria 2004" – Arpa Piemonte)

Le concentrazioni medie annuali di NOx risultano contenute con valori, che si mantengono in tutto il dominio di calcolo inferiori a 15 µg/m<sup>3</sup> a eccezione delle porzioni di territorio immediatamente prossime al tracciato della A12 in cui i livelli di concentrazione risultano compresi tra 20 e 40 µg/m<sup>3</sup>. In corrispondenza del sistema ricettore presente i livelli di concentrazione calcolati risultano inferiori a 10 µg/m<sup>3</sup>. E' pertanto ragionevole ipotizzare una piena conformità con le prescrizioni normative che per il solo Biossido di Azoto NO<sub>2</sub> prevedono un limite per il parametro di media annuale pari a 40 µg/m<sup>3</sup> (Dlgs 155/10).

Anche il confronto diretto delle concentrazioni di NOx con il livello critico previsto dalla normativa per gli impatti sugli ecosistemi naturali, indica un contributo mediamente contenuto del sistema infrastrutturale ad eccezione delle aree prossime al tracciato autostradale. In corrispondenza dei SIC e ZPS presenti nell'area in contributo è decisamente basso risultando inferiore a 5 µg/m<sup>3</sup>.

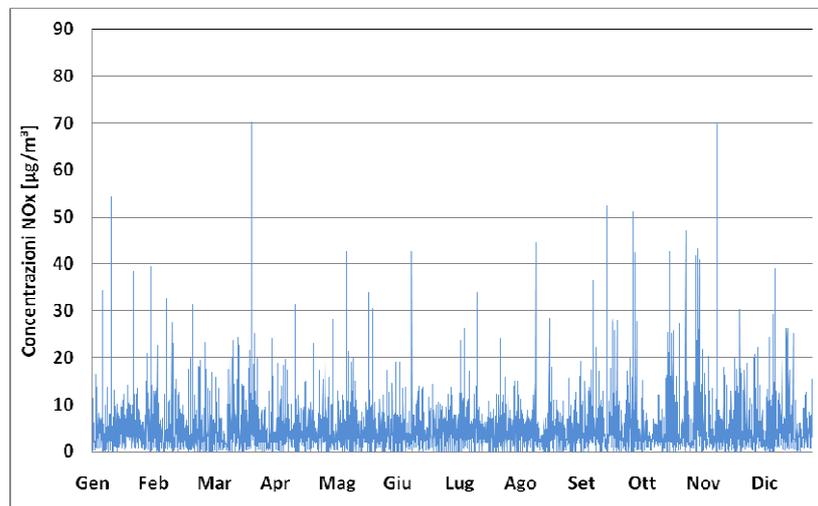
### **Polveri (Pm10 e Pm2.5)**

Per ciò che concerne le polveri il contributo determinato dal sistema infrastrutturale risulta decisamente contenuto.

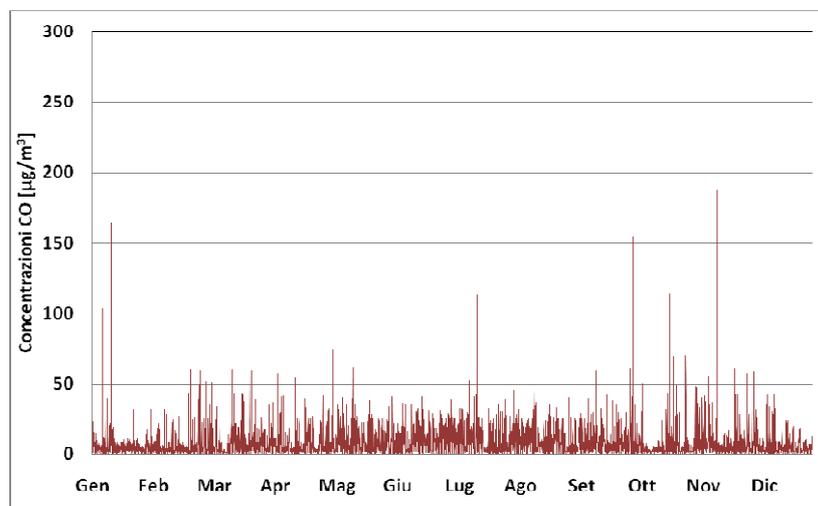
La concentrazione media annuale calcolata risulta in tutto il dominio di calcolo e per entrambi gli indicatori considerati inferiore a 2 µg/m<sup>3</sup>. Anche in questo caso le concentrazioni più significative si registrano nelle immediate vicinanze dell'Autostrada A12, mentre in corrispondenza del sistema ricettore i livelli di impatto si mantengono al di sotto di 1 µg/m<sup>3</sup>. Il contributo alla alterazione della qualità dell'aria determinato dal sistema infrastrutturale risulta pertanto inferiore di un ordine di grandezza rispetto ai limiti normativi prescritti dal Dlgs 155/10 che risultano pari a 40 µg/m<sup>3</sup> per il Pm10 e a 25 µg/m<sup>3</sup> per il Pm2.5.

Gli andamenti delle concentrazioni orarie calcolati in corrispondenza degli edifici di "Casa Poggio al lupo" confermano la presenza di livelli di impatto complessivamente

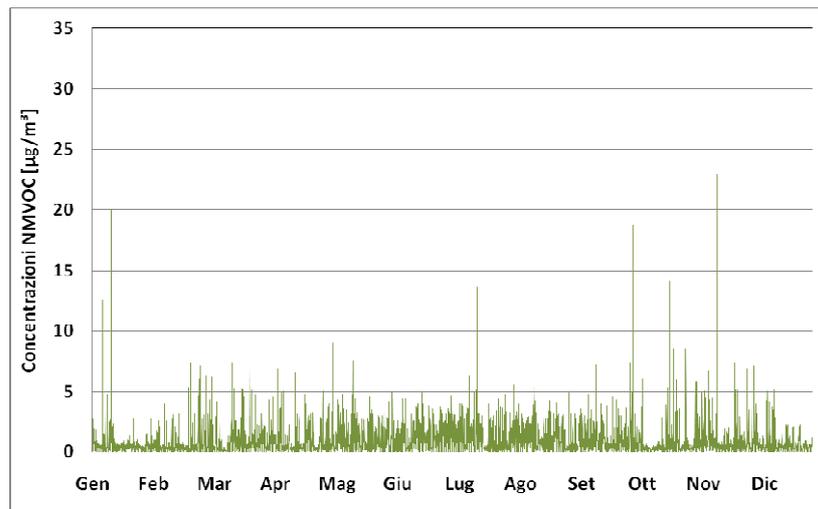
contenuti. Le concentrazioni orarie di NOx si mantengono durante l'intero intervallo temporale inferiori a 90 µg/m<sup>3</sup>, pienamente compatibili con il limite di legge di 200 µg/m<sup>3</sup> relativo alla concentrazione oraria massima del Biossido di Azoto. I valori di CO confermano quanto documentato dalle centraline fisse di tutto il territorio nazionale, ossia che tale inquinante non desta più particolari preoccupazioni, risultando inferiori di due ordini di grandezza rispetto al limite normativo (livelli di impatto <200 µg/m<sup>3</sup> di concentrazione oraria, limite 10 mg/m<sup>3</sup> da valutarsi come media sulle 8h). I composti organici volatili non metanici (NMVOC) presentano concentrazioni orarie inferiori a 20 µg/m<sup>3</sup>, ricordando che il Benzene (componente dei NMVOC per il quale esiste un limite normativo pari a 5 µg/m<sup>3</sup> relativamente alla media annua) è mediamente inferiore al 5% dei NMVOC anche per tale inquinante si può ritenere ampiamente rispettato il limite normativo, come d'altronde confermato dai rilievi strumentali effettuati. Analogamente anche le polveri (Pm10 e Pm2.5) risultano caratterizzate da un contributo ai livelli complessivi da parte del sistema infrastrutturale contenuto, risultando, relativamente alla concentrazione oraria, inferiore a 9 µg/m<sup>3</sup> per il Pm10 e al 7 µg/m<sup>3</sup> per il Pm2.5, a fronte di un limite relativo al solo Pm10 pari a 50 µg/m<sup>3</sup> da valutarsi come concentrazione media giornaliera.



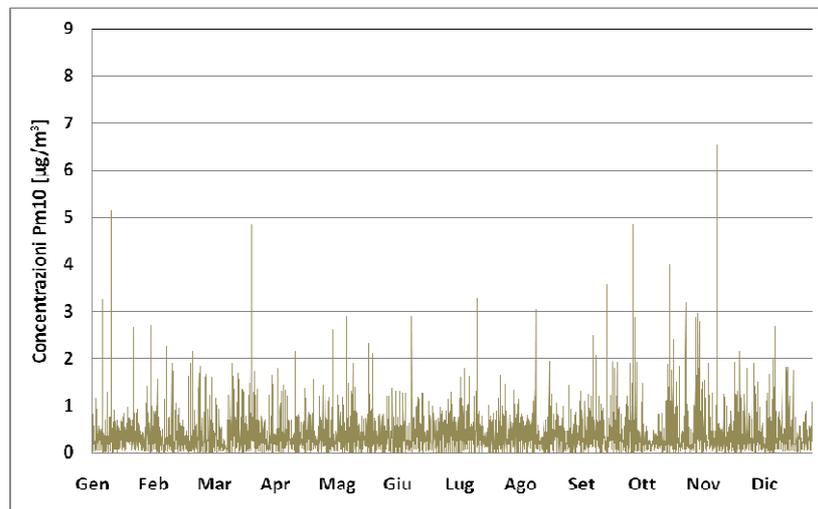
*Figura 2-26: Conc. orarie NOx – Casa Poggio al Lupo – ANTE OPERAM*



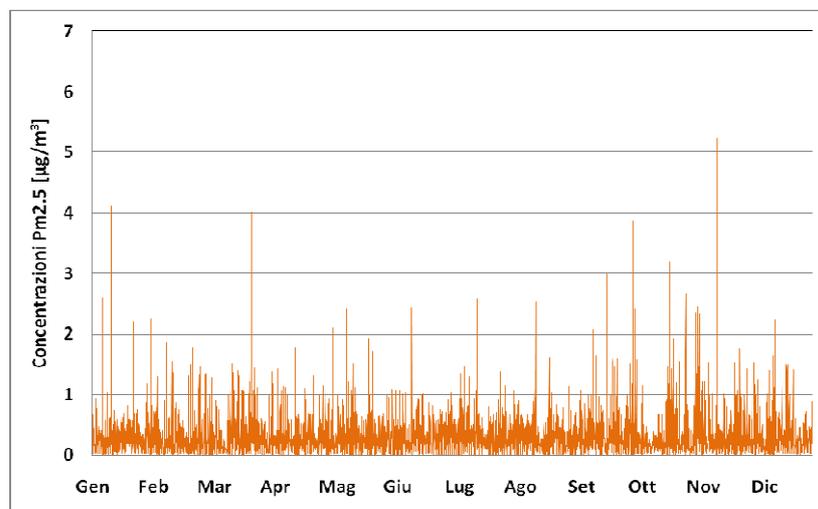
*Figura 2-27: Conc. orarie CO – Casa Poggio al Lupo – ANTE OPERAM*



*Figura 2-28: Conc. orarie NMVOC – Casa Poggio al Lupo – ANTE OPERAM*



*Figura 2-29: Conc. orarie Pm10 – Casa Poggio al Lupo – ANTE OPERAM*



*Figura 2-30: Conc. orarie Pm2.5 – Casa Poggio al Lupo – ANTE OPERAM*

### 2.3. SENSIBILITÀ AMBIENTALE ANTROPICA E NATURALE DELL'AREA

Il sito in oggetto ricade nella Piana Pisana, identificata convenzionalmente come la parte terminale del Valdarno Inferiore. In base alla zonizzazione questo territorio è inserito nella Zona Valdarno Pisano e Piana Lucchese. A livello generale questa zona è caratterizzata da pressioni antropiche dovute principalmente alla densità di popolazione e alla presenza di diversi distretti industriali come concerie e industria cartaria. Tuttavia il sito di studio è ubicato in un contesto territoriale a vocazione essenzialmente rurale con una bassa densità di popolazione e assenza di distretti industriali di una certa rilevanza nelle immediate vicinanze. L'input antropico più importante è il traffico veicolare derivante dall'A12 e dalla SS1. L'opera in progetto si colloca in una porzione di territorio delimitata a est dall'agroecosistema e ad ovest dall'ecosistema forestale corrispondente al Parco Naturale Migliarino-San Rossore-Massaciuccoli. Esso si estende per 24000 ettari localizzati lungo la costa compresa tra Viareggio e Livorno. La straordinarietà degli ambienti naturali che lo caratterizzano ha fatto sì che lo stesso abbia ricevuto diversi riconoscimenti sia a livello internazionale che nazionale. Nel 2004 l'UNESCO ha istituito la nuova Riserva della Biosfera Selva Pisana che comprende il Parco suddetto e i centri abitati di Marina di Pisa e Tirrenia. La Riserva Selva Pisana è strutturata, come tutte le riserve della biosfera, tramite una zonizzazione che definisce:

- **zone centrali:** qui è prevista solo la ricerca scientifica e l'obiettivo principale è la conservazione degli ecosistemi;
- **zone cuscinetto:** rafforzano l'azione protettiva delle zone centrali. Le zone di questo tipo presenti nel Parco sono tutte le zone naturali seminaturali ovvero le aree boscate, il lago e i corpi idrici, le zone umide e le paludi, gli arenili e le dune;
- **zone di transizione:** qui si svolgono attività economiche per il miglioramento del benessere delle comunità locali. In questo caso sono aree di transizione i centri abitati di Marina di Pisa e Tirrenia, le zone agricole ed industriali e gli insediamenti turistici.

In questo caso le zone centrali corrispondono con tutte le riserve naturali istituite dell'Ente Parco rappresentate nella cartografia di Figura 2-31. Si può quindi notare che sono state istituite 16 aree naturali e di particolare interesse per la vicinanza all'area di cantiere è la riserva Cornacchiaia Ulivo definita anche Zona Umida di importanza internazionale ai sensi della Convenzione Ramsar. Tale riserva è caratterizzata dalla foresta tipicamente mediterranea dominata dalla lecceta intervallata a tratti da pini domestici. Presente anche la quercia da sughero. Le zone umide sono caratterizzate da una vegetazione costituita da specie mesofile e caducifoglie come pioppi bianchi, frassini e farnie. Inoltre la riserva si trova nell'estremo sud della più ampia Tenuta di Tombolo avente un'estensione pari a 5000 ettari e occupante la fascia costiera meridionale del Parco tra l'Arno e il Calambrone. Oltre alle specie succitate qui sono presenti anche specie come la periploca maggiore e la flora tipica di ambienti salmastri come salicornia fruticosa, salicornia europea e obione. Importante è anche la presenza di boschi mesofili caratterizzati dalla presenza di farnia e carpino. Infine Selva Pisana è anche inserito nella Rete Natura 2000 insieme a Lago e Palude di Massaciuccoli, Macchia Lucchese e Dune Litoranee di Torre del Lago.

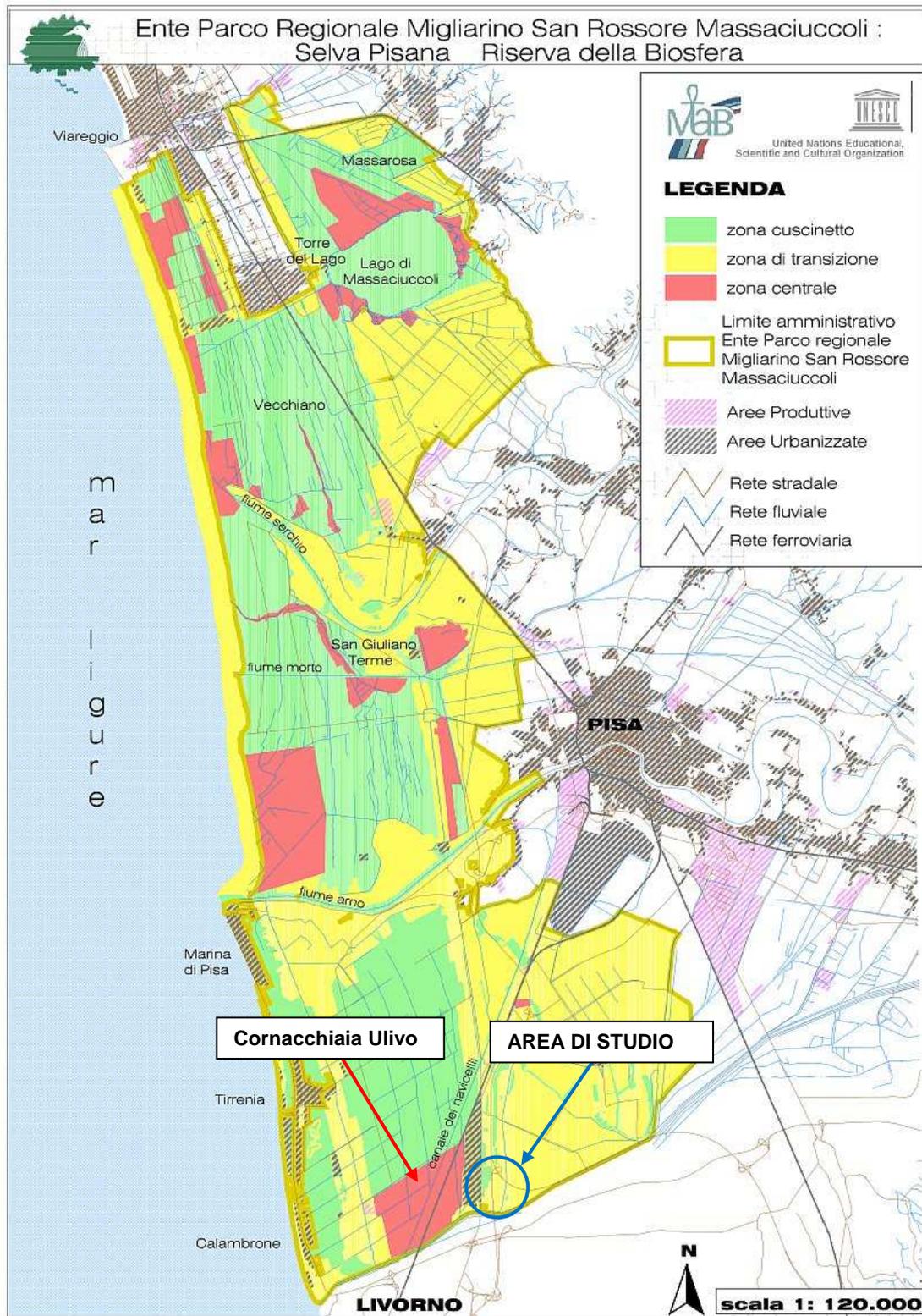
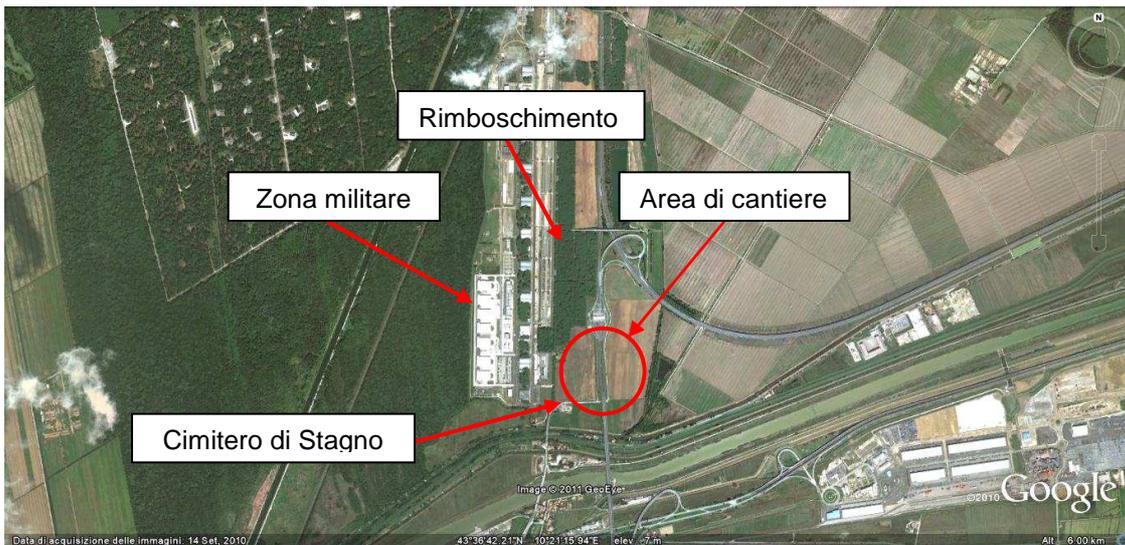


Figura 2-31: Selva Pisana



*Figura 2-32: localizzazione dello svincolo*

Infine oltre all'agroecosistema a est e all'ecosistema forestale a ovest costituito da Cornacchiaia Ulivo è presente un piccolo rimboscimento a *Pinus Pinea* a Nord-Ovest del casello autostradale.

Dal punto di vista strettamente antropico si segnala che l'ambito di studio presenta una scarsa densità di popolazione con residenze isolate. Si segnala la presenza del Cimitero di Stagno in adiacenza in direzione sud-ovest del futuro svincolo che pur non essendo un ricettore in senso stretto rappresenta un'area di fruizione antropica da tutelare.

Le informazioni relative alla sensibilità antropica e biotica dell'area sono sintetizzate nell'Elaborato 03\_QA\_XL\_03 in cui si riporta la localizzazione dei SIC, le ZPS e le destinazioni d'uso dei ricettori presenti nell'area di studio.

## 2.4. INQUINAMENTO ATMOSFERICO E VEGETAZIONE

In ragione della presenza di aree biotiche di particolare rilevanza si è ritenuto opportuno approfondire brevemente le potenziali interazioni tra alterazione della qualità dell'aria e sistema biotico.

Gli effetti che l'inquinamento atmosferico può provocare sulla vegetazione sono molteplici. Tipologia e concentrazione dell'inquinante, parametri ambientali e caratteristiche intrinseche sono i fattori che influenzano la risposta delle piante agli stress indotti dall'ambiente circostante e condizionano la manifestazione dei sintomi. In particolare questi ultimi si possono distinguere in tre categorie, ovvero:

- a) Variazioni di sviluppo;
- b) Clorosi;
- c) Necrosi.

### ***Variazioni di sviluppo***

Si tratta delle alterazioni più frequenti ma di difficile identificazione. I processi metabolici alla base della regolazione dello sviluppo di una pianta ( fotosintesi e respirazione ) si svolgono nelle cellule del mesofillo, ovvero l'insieme dei tessuti della foglia esclusa l'epidermide (Figura 2-33). Essendo questa la parte più esposta agli

inquinanti l'azione fitotossica può avere ripercussioni su attività come fotosintesi e respirazione inibendo così lo sviluppo della pianta. Sintomi tipici di tale problematica sono modificazioni nella geometria della lamina fogliare e defogliazione anticipata.

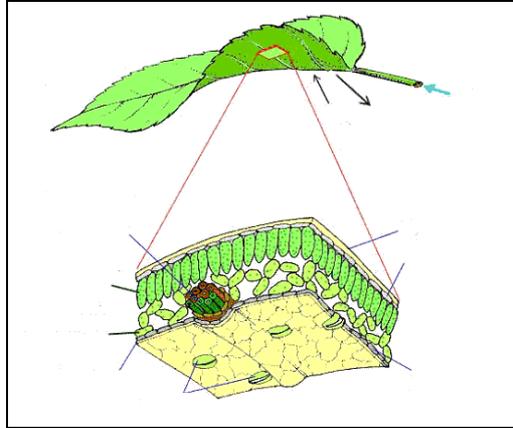


Figura 2-33: mesofillo fogliare

### **Clorosi**

La clorosi è un sintomo che colpisce le foglie delle piante a seguito della mancata o insufficiente formazione della clorofilla. Gli effetti sono evidenti soprattutto sulle foglie che presentano una colorazione da verde a verde-giallastro o addirittura giallo. Le clorosi possono riguardare aree ben delimitate della foglia come gli apici o gli spazi tra le nervature. A seguito della scomparsa della clorofilla possono evidenziarsi pigmenti già presenti sulla foglia ma solitamente mascherati dal colore verde della clorofilla medesima. Le specie vegetali presentano differente resistenza alla clorosi, che si manifesta soprattutto nelle specie arboree. Tra le specie più sensibili vi sono il pesco e la vite.

### **Necrosi**

La necrosi è un fenomeno che porta alla morte delle cellule del mesofillo. Sintomi tipici sono la comparsa di aree fogliari di varia colorazione, dal bianco-avorio al bruno-nerastro. La dimensione e la distribuzione delle necrosi sulla foglia sono molto variabili e possono interessare entrambe le lamine fogliari. Inoltre la morte delle cellule subepidermiche porta alla comparsa di riflessi tipicamente "metallici" su una o entrambe le lamine fogliari, causati dallo strato d'aria che si viene a creare in seguito alla separazione dell'epidermide dal mesofillo. Questa colorazione è detta "bronzatura" ed è causata ad esempio dai PAN, un gruppo di inquinanti fotochimici.

## **2.4.1. Gli inquinanti da traffico veicolare e la vegetazione**

Le principali sostanze inquinanti derivanti dal traffico veicolare sono gli ossidi di azoto, gli ossidi di zolfo, l'ozono (come inquinante secondario), il particolato, il monossido di carbonio (CO) e gli idrocarburi non metanici (NMHC). I più dannosi per la vegetazione sono gli ossidi di azoto, gli ossidi di zolfo e l'ozono. Nel seguito si riportano gli effetti degli inquinanti direttamente riconducibili alle emissioni veicolari ossia NOx, SOx e polveri.

### 2.4.1.1. Ossidi di azoto

L'azoto è in grado di formare sette ossidi in virtù dei diversi stati di ossidazione che presenta. Di questi solo due specie sono considerati importanti inquinanti atmosferici ovvero il biossido di azoto ( $\text{NO}_2$ ) e l'ossido ( $\text{NO}$ ), comunemente identificati come  $\text{NO}_x$ . L'ossido nitrico è incolore e inodore mentre il biossido ha colore bruno-rossastro e odore soffocante, infatti viene avvertito già alla concentrazione minima di 1 ppm. Gli  $\text{NO}_x$  originano dalla reazione di due gas ovvero  $\text{N}_2$  ed  $\text{O}_2$  ad elevate temperature. Le fonti antropiche maggiormente interessate sono il traffico veicolare, gli impianti termoelettrici, altri impianti in cui avvengono processi di combustione e il riscaldamento domestico. Il traffico veicolare tuttavia contribuisce al 50 % della produzione globale. La quantità di monossido prodotto nel processo di combustione dipende da tre fattori:

1. Temperatura di combustione: più elevata è la temperatura maggiore è la produzione di  $\text{NO}$ ;
2. Tempo di permanenza: maggiore è il tempo di permanenza di  $\text{N}_2$  ed  $\text{O}_2$  a tali temperature, maggiore è la produzione di  $\text{NO}$ ;
3. Quantità di  $\text{O}_2$ : minore è l'eccesso d'aria nella combustione, minore è la produzione di  $\text{NO}$  a favore di quella di  $\text{CO}$ .

Se il raffreddamento dei fumi avviene molto lentamente è possibile avere una dissociazione dell' $\text{NO}$  in  $\text{N}_2$  ed  $\text{O}_2$  ma essendo quest'ultimo molto veloce parte dell' $\text{NO}$  rimane nei fumi. Invece la produzione di  $\text{NO}_2$  si ha col processo di raffreddamento degli stessi e solitamente la sua concentrazione è pari al 10 % di quella dell' $\text{NO}$ . La maggior parte dell' $\text{NO}_2$  tuttavia ha origine secondaria infatti una volta emesso in atmosfera una parte dell' $\text{NO}$  prodotto viene convertito in  $\text{NO}_2$  mediante ossidazione.

L' $\text{NO}_2$  è una molecola altamente reattiva e contribuisce alla formazione del cosiddetto ciclo fotolitico, schematizzato di seguito:

- $\text{NO}_2 + h\nu \longrightarrow \text{NO} + \text{O}$
- $\text{O}_2 + \text{O} \longrightarrow \text{O}_3$
- $\text{NO} + \text{O}_3 \longrightarrow \text{NO}_2 + \text{O}_2$

Le molecole di  $\text{NO}_2$  presenti nell'aria vengono decomposte fotocataliticamente dalla luce in monossido e ossigeno atomico. Quest'ultimo reagisce con l'ossigeno a formare ozono. Infine l'ozono reagisce con il monossido a riformare ossigeno molecolare e biossido di azoto. Se avvenissero unicamente queste reazioni l' $\text{NO}_2$  si convertirebbe in  $\text{NO}$  che poi formerà nuovo  $\text{NO}_2$  e quindi i rapporti di concentrazione tra le due specie non varierebbero. Tuttavia gli idrocarburi presenti in aria (derivanti soprattutto dagli scarichi automobilistici) interferiscono nel ciclo permettendo che l' $\text{NO}$  si converta più rapidamente in  $\text{NO}_2$  di quanto l' $\text{NO}_2$  venga dissociato in  $\text{NO}$  e  $\text{O}$ . Ciò porta all'accumulo a bassa quota di  $\text{NO}_2$  e  $\text{O}_3$ , generando il cosiddetto "smog fotochimico". Questo tipo di inquinamento è tipico dei grandi centri urbani in condizioni meteorologiche particolari. Nelle aree rurali il fenomeno è molto meno importante per cui gli  $\text{NO}_x$  interessano esclusivamente per la loro eventuale azione diretta. Infatti esistono tre diversi meccanismi mediante i quali gli  $\text{NO}_x$  agiscono sui vegetali, ovvero:

1. Fitotossicità diretta (come inquinanti primari), specie se presenti in alte concentrazioni;
2. Fitotossicità indiretta con formazione di inquinanti secondari (PAN ed  $\text{O}_3$ ) nelle aree interessate da "smog";

### 3. Acidificazione delle piogge

La fitotossicità diretta si ha quando l'azione tossica è effettuata nella forma di ossido o biossido. Tuttavia tra i due quello sicuramente più pericoloso per le piante è l' $\text{NO}_2$  a causa della sua maggiore solubilità in acqua. La comparsa di sintomi acuti sulle piante è piuttosto rara, essendo generalmente necessarie concentrazioni dell'ordine di 1 ppm ( $1800 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), in seguito alle quali si iniziano ad avere le prime necrosi a livello del fogliame. Le lesioni sono inizialmente di aspetto "allessato", dapprima evidenti sulla pagina adassiale delle foglie, e sono rapidamente seguite dal collasso. Le aree maggiormente interessate sono generalmente limitate dalle nervature principali e assumono un contorno irregolare e necrotizzano. La caduta delle foglie e dei frutti può essere conseguente ad esposizioni a concentrazioni molto elevate, peraltro rarissime in condizioni naturali. Nelle gimnosperme i sintomi sono inizialmente costituiti dalla comparsa di pigmentazioni bruno-rossastre nelle porzioni distali degli aghi. Invece concentrazioni di 10 ppm ( $18000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) per 24 ore riducono significativamente la fotosintesi clorofilliana, portando a fenomeni di clorosi. I livelli normalmente riscontrabili nell'ambiente sono responsabili di effetti di tipo cronico che possono essere ritardi nello sviluppo, riduzioni di biomassa e modeste clorosi, peraltro di difficile valutazione in quanto risultano sintomi aspecifici. In soluzione, una volta assorbiti per via stomatica gli ossidi di azoto formerebbero acido nitroso e acido nitrico. Ciò potrebbe provocare un abbassamento del pH ed una conseguente denaturazione delle proteine. I ritardi nello sviluppo possono essere dovuti ad un rallentamento della velocità di fotosintesi. Si sospetta infatti che l'esposizione delle piante agli  $\text{NO}_x$  "distolga" i riduttori dalle loro attività normali e porti ad una diminuzione della fissazione di  $\text{CO}_2$  che tuttavia ritorna alle normali velocità con la cessazione dell'esposizione. In Figura 2-34 è schematizzata l'influenza del biossido di azoto sulla fotosintesi apparente in piante di *Avena Sativa*. Come si nota eventuali inibizioni della fotosintesi avvengono alla concentrazione di 1.6 ppm con un massimo dopo 120 minuti. Si tratta comunque di un livello molto alto corrispondente a  $2880 \mu\text{g}/\text{m}^3$  assai lontano dai livelli riscontrati nell'area di studio (par. 2.2.2.3). A volte gli inquinanti possono agire in sinergia ma anche in questo caso sono necessarie concentrazioni elevate e per un certo periodo di tempo. Ad esempio in Figura 2-35 è riportato l'effetto dell'azione sinergica di  $\text{NO}_2$  e  $\text{SO}_2$  su piante di erba medica (*Medicago Sativa*). Nella fattispecie le piante sono state trattate sperimentalmente alle concentrazioni di 1 ppm per ciascuno degli inquinanti predetti per 5 ore. Le foto sono state eseguite dopo 2 ore e 72 ore rispettivamente. Anche in questo caso si tratta di concentrazioni molto alte corrispondenti a  $1800 \mu\text{g}/\text{m}^3$  per  $\text{NO}_2$  e  $2600 \mu\text{g}/\text{m}^3$  per  $\text{SO}_2$ .

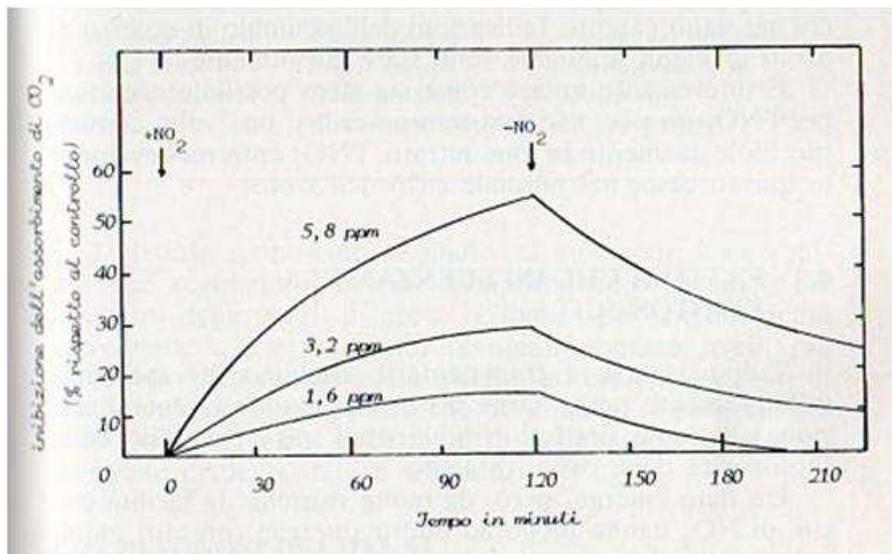


Figura 2-34: influenza del biossido di azoto sulla fotosintesi apparente in Avena Sativa.

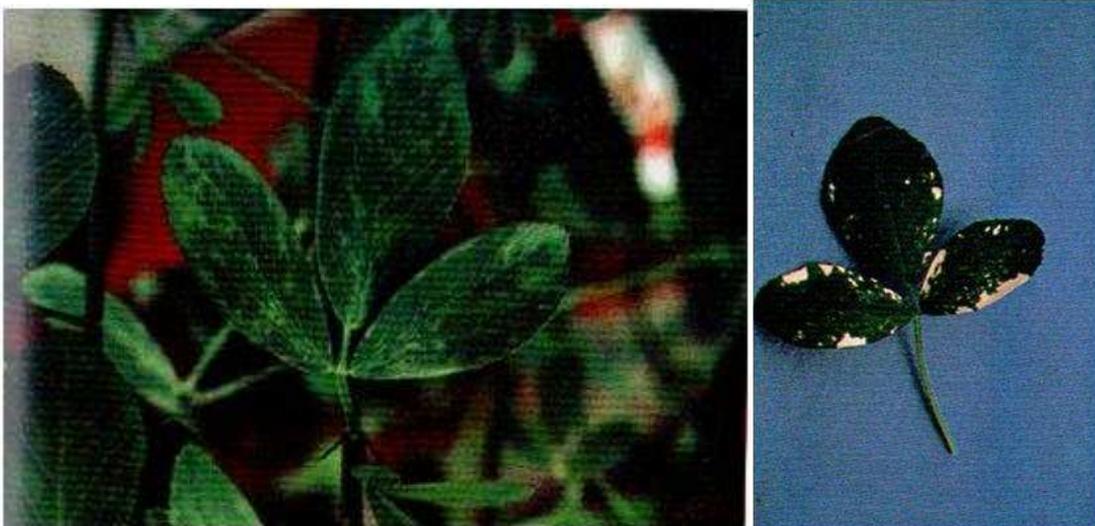


Figura 2-35: effetti della miscela di NO<sub>2</sub> e SO<sub>2</sub> ( 1+1 ppm) per cinque ore

#### 2.4.2. Ossidi di zolfo

Normalmente gli ossidi di zolfo presenti in atmosfera sono l'anidride solforica (SO<sub>2</sub>) e l'anidride solforosa (SO<sub>3</sub>). Tuttavia tra questi due quello di gran lunga più importante è l'anidride solforica. Due terzi dell'SO<sub>2</sub> presenti nell'aria deriva da sorgenti naturali. Per quanto riguarda le sorgenti antropiche questi ossidi vengono prodotti in reazioni di ossidazione per la combustione di materiali in cui sia presente zolfo come contaminante come gasolio, nafta, carbone e altro. Attualmente le concentrazioni di ossidi di zolfo sono notevolmente diminuite rispetto al passato ed in particolare le

emissioni da traffico veicolare di questo inquinante sono praticamente nulle date le esigue concentrazioni di zolfo nelle benzine. Infatti la maggior parte dello zolfo presente in aria deriva principalmente da impianti di produzione elettrica a carbone o ad olio combustibile e fonderie. Il biossido di zolfo è molto pericoloso per le piante e i suoi danni aumentano con l'aumentare dell'esposizione. Esposizioni di breve periodo ma ad alte concentrazioni possono provocare ad esempio necrosi alle foglie che assumono un colorazione avorio-marrone. Ciò è dovuto alla capacità che ha la pianta di trasformare il biossido in acido solforico e quindi in solfati che poi si depongono sulla superficie della foglia. Invece per esposizioni prolungate si hanno danni cronici caratterizzati dal graduale ingiallimento delle foglie a causa di un blocco della formazione di clorofilla. Tuttavia occorre sottolineare come i danni non siano dovuti soltanto a tempo di esposizione e concentrazioni ma anche ad altri fattori come velocità dell'aria e umidità relativa. Inoltre le diverse specie mostrano differente sensibilità alla SO<sub>2</sub> e quindi è possibile raggrupparle in base a questa caratteristica in sensibili, intermedie e resistenti. In Tabella 2-23 sono riportate le concentrazioni sufficienti a produrre danni alle piante in condizioni di differente sensibilità.

*Tabella 2-23: concentrazioni di anidride solforosa sufficienti per produrre danni alle piante nelle condizioni di maggiore sensibilità*

durata esposizione (ore)	concentrazioni (ppm) che causano danni in piante diversamente sensibili		
	sensibili	intermedie	resistenti
0.5	1.0-5.0	4.0-12.0	≥ 10
1.0	0.5-4.0	3.0-10.0	≥ 8
2.0	0.25-0.4	2.0-7.5	≥ 6
4.0	0.1-2.0	1.0-5.0	≥ 4
8.0	0.05-1.0	0.5-2.5	≥ 2

Inoltre durante il dilavamento che si ha nelle giornate di pioggia, la ricaduta degli inquinanti derivanti dagli ossidi di zolfo contribuisce alla formazione delle piogge acide che provoca defoliazione ed inaridimento della vegetazione. In conclusione si può dire che considerando il tempo di esposizione, la differente sensibilità delle piante e i parametri ambientali il range di concentrazione va da 0.15 ppm (390 µg/m<sup>3</sup>) considerato come il livello di soglia a 12 ppm (30000 µg/m<sup>3</sup>) dove si possono manifestare fenomeni avanzati di necrosi. In Figura 2-36 si riporta a titolo esemplificativo un confronto tra le stesse specie di piante trattate con 1.5 ppm di SO<sub>2</sub> per 7 ore e piante non trattate. Si nota la comparsa di clorosi su tutte le foglie con fenomeni abbastanza marcati sull'uva e la vite. Tuttavia è importante sottolineare che la concentrazione di 1.5 ppm (3927 µg/m<sup>3</sup>) è molto difficile da raggiungere se non in aree ad elevata industrializzazione. Si sottolinea ad esempio che nella città di Livorno la stazione di Viale Carducci di tipo Urbana-Traffico ha registrato nel 2010 una massima media oraria di circa 60 µg/m<sup>3</sup> (0.02 ppm).

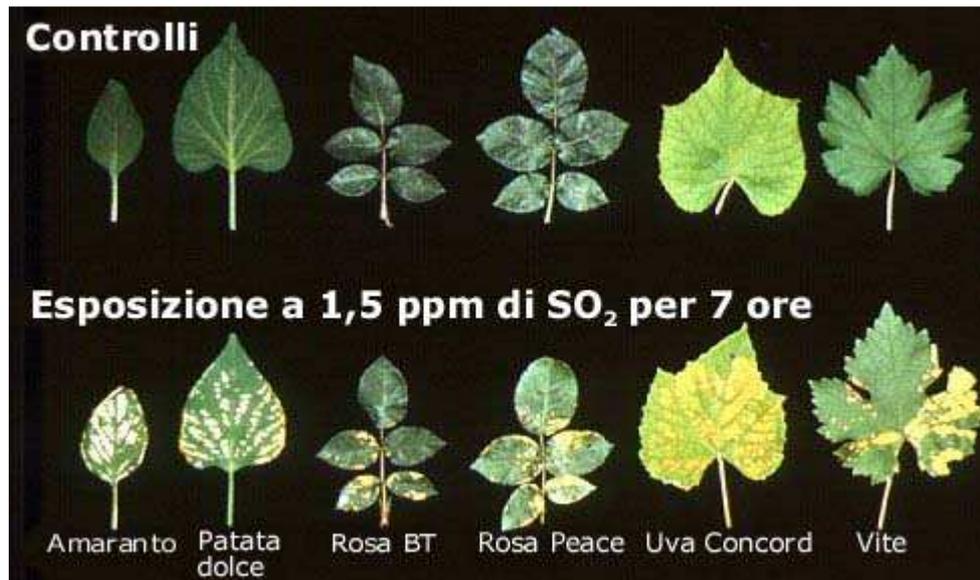


Figura 2-36

### Particolato (PM<sub>10</sub> e PM<sub>2.5</sub>)

Il particolato rappresenta tutte quelle sostanze sia allo stato solido che liquido che, a causa delle loro piccole dimensioni, restano sospese in atmosfera per lunghi tempi. Il particolato è costituito da diverse sostanze, ovvero: sabbia, ceneri, polvere, fuliggine, sostanze silicee di varia natura, sostanze vegetali, metalli pesanti, fibre tessili naturali e artificiali. Il particolato può essere suddiviso a seconda delle dimensioni delle particelle in diverse classi. La legge italiana considera il PM<sub>10</sub> e il PM<sub>2.5</sub>. Il primo comprende tutte quelle particelle che hanno un diametro aerodinamico non superiore ai 10 µm mentre il secondo comprende tutte quelle particelle con diametro aerodinamico non superiore ai 2.5 µm. Le prime sono definite polveri inalabili in quanto possono penetrare nel tratto respiratorio superiore mentre le seconde sono definite respirabili perché possono raggiungere i bronchi e gli alveoli polmonari. Il 60 % del particolato è costituito da PM<sub>10</sub>. Le fonti antropiche di particolato sono dovute all'utilizzo di combustibili fossili, emissioni autoveicolari, all'usura degli pneumatici, dei freni e del manto stradale, a processi industriali e alle attività agricole. Le indagini sugli effetti fitotossici delle polveri sono molto rare a causa della eterogeneità delle sostanze che costituiscono le polveri medesime. L'inquinamento da polveri è di tipo cronico e le foglie spesso finiscono per essere coperte di croste più o meno compatte. Grossi quantitativi di polveri comportano l'ostruzione, almeno parziale, delle aperture stomatiche con conseguenti riduzioni negli scambi gassosi. Questa insieme alla schermatura delle radiazioni solari costituisce la principale causa delle alterazioni metaboliche che portano a riduzioni quali-quantitative della produttività. Tuttavia effetti di questo tipo si riscontrano in presenza di elevate concentrazioni che si possono avere nei grandi centri urbani e nei pressi di grossi agglomerati industriali.

### **3. QUADRO DI RIFERIMENTO PREVISIONALE**

#### **3.1. IMPOSTAZIONE METODOLOGICA**

La stima degli impatti determinati dal futuro esercizio dell'opera oggetto di studio è stata sviluppata attraverso l'applicazione del modello di calcolo definito in fase ante operam adeguato alla nuova configurazione infrastrutturale.

I calcoli sono stati sviluppati considerando il medesimo scenario meteo-climatico implementato per la fase di ante operam e i flussi veicolari stimati dallo studio di traffico per lo scenario 2015. In un'ottica fortemente cautelativa e in ragione della limitata ampiezza dell'intervallo temporale tra lo scenario di progetto e quello attuale si è ritenuto opportuno ipotizzare l'invarianza del parco veicolare, ossia non sono stati ipotizzati rinnovi del parco che, normalmente, determinano una significativa riduzione delle emissioni determinata dall'impiego di percentuali più elevate di veicoli conformi ai più recenti standard emissivi imposti dalle direttive di omologazione dell'Unione Europea.

Per ciò che concerne i flussi veicolari sono stati utilizzati i valori desunti dallo studio di traffico e sintetizzati nella Tabella 3-1.



**A 12 – AUTOSTRADE SESTRI LEVANTE – LIVORNO**  
**Nuovo Svincolo A12 - S.S.1 Via Aurelia Sud – Località**  
**Cimitero Di Stagno - Comune Di Pisa**  
**Progetto Definitivo – Quadro di riferimento ambientale**

*Tabella 3-1: Dati di traffico di progetto A12 e viabilità limitrofe*

VIABILITA'	TGM totale 24 h		TGM totale diurno		TGM totale notturno		TGM orario diurno		TGM orario notturno	
	Leg.	Pes.	Leg.	Pes.	Leg.	Pes.	Leg.	Pes.	Leg.	Pes.
A12 a NORD del nuovo svincolo CARREGGIATA NORD	9368	3796	8949	3454	419	342	559,3	215,9	52,4	42,8
A12 a NORD del nuovo svincolo CARREGGIATA SUD	9818	4159	9368	3785	450	374	585,5	236,6	56,3	46,8
A12 a NORD del nuovo svincolo TOTALE	19186	7955	18317	7239	869	716	1144,8	452,4	108,6	89,5
A12 a SUD del nuovo svincolo CARREGGIATA NORD	7085	84	7080	76	5	8	442,5	4,8	0,6	1,0
A12 a SUD del nuovo svincolo CARREGGIATA SUD	7094	27	7092	25	2	2	443,3	1,6	0,3	0,3
A12 a SUD del nuovo svincolo TOTALE	14179	111	14172	101	7	10	885,8	6,3	0,9	1,3
Svincolo Ramo 5 in entrata (diretti lungo nord A12)	2304	3712	1890	3378	414	334	118,1	211,1	51,8	41,8
Svincolo Ramo 5 in uscita (provenienti da sud A12)	21	0	21	0	0	0	1,3	0,0	0,0	0,0
Svincolo Ramo 4 in entrata (diretti lungo sud A12)	1329	0	1329	0	0	0	83,1	0,0	0,0	0,0
Svincolo Ramo 4 in uscita (provenienti da nord A12)	4053	4132	3605	3760	448	372	225,3	235,0	56,0	46,5
A12 Rosignano - CARREGGIATA EST	13877	2604	13453	2370	424	234	840,8	148,1	53,0	29,3
A12 Rosignano - CARREGGIATA OVEST	13492	2650	13095	2411	397	239	818,4	150,7	49,6	29,9
A12 Rosignano - TOTALE	27369	5254	26548	4781	821	473	1659,3	298,8	102,6	59,1
SS1 da nuovo svincolo verso PISA - CORSIA NORD	3988	207	3965	188	23	19	247,8	11,8	2,9	2,4
SS1 da nuovo svincolo verso PISA - CORSIA SUD	4156	78	4147	71	9	7	259,2	4,4	1,1	0,9
SS1 da nuovo svincolo verso PISA - TOTALE	8144	285	8112	259	32	26	507,0	16,2	4,0	3,3
SS1 da nuovo svincolo verso LIVORNO - CORSIA NORD	5800	3919	5362	3556	438	363	335,1	222,3	54,8	45,4
SS1 da nuovo svincolo verso LIVORNO - CORSIA SUD	6408	4210	5951	3831	457	379	371,9	239,4	57,1	47,4
SS1 da nuovo svincolo verso LIVORNO - TOTALE	12208	8129	11313	7387	895	742	707,1	461,7	111,9	92,8
SS1 da incrocio con SS67 a LIV - CORSIA NORD	9354	4371	8828	3978	526	393	551,8	248,6	65,8	49,1
SS1 da incrocio con SS67 a LIV - CORSIA SUD	9801	4609	9260	4194	541	415	578,8	262,1	67,6	51,9
SS1 da incrocio con SS67 a LIV - TOTALE	19155	8980	18088	8172	1067	808	1130,5	510,8	133,4	101,0
SS67 Via Arnaccio - CORSIA OVET	4812	399	4728	363	84	36	295,5	22,7	10,5	4,5
SS67 Via Arnaccio - CORSIA EST	4974	452	4886	411	88	41	305,4	25,7	11,0	5,1
SS67 Via Arnaccio - TOTALE	9786	851	9614	774	172	77	600,9	48,4	21,5	9,6
Strada G.C. FI-PI-LI ad ovest svincolo - CORSIA OVEST	4026	3230	3835	2938	191	292	239,7	183,6	23,9	36,5
Strada G.C. FI-PI-LI ad ovest svincolo - CORSIA EST	4457	3083	4273	2806	184	277	267,1	175,4	23,0	34,6
Strada G.C. FI-PI-LI ad ovest svincolo - TOTALE	8483	6313	8108	5744	375	569	506,8	359,0	46,9	71,1
Strada G.C. FI-PI-LI ad est svincolo - CORSIA OVEST	2899	2510	2782	2283	117	227	173,9	142,7	14,6	28,4
Strada G.C. FI-PI-LI ad est svincolo - CORSIA EST	3628	2649	3496	2411	132	238	218,5	150,7	16,5	29,8
Strada G.C. FI-PI-LI ad est svincolo - TOTALE	6527	5159	6278	4694	249	465	392,4	293,4	31,1	58,1

### 3.2. RISULTATI DELLE VALUTAZIONI

Analogamente allo scenario ante operam anche in questo caso i risultati delle valutazioni sono stati rappresentati sia attraverso mappe al continuo relativamente alle concentrazioni media annuali di NOx, Pm10 e Pm2.5, sia mediante le ricostruzioni dell'andamento ora per ora in corrispondenza del punto di massima esposizione.

Le mappe al continuo delle curve isoplete sono riportate nei seguenti elaborati:

- 03\_QA\_XL\_07: Mappatura isoplete NOx post operam media annuale;
- 03\_QA\_XL\_08: Mappatura isoplete Pm10 post operam media annuale;
- 03\_QA\_XL\_09: Mappatura isoplete Pm2.5 post operam media annuale;

Nelle Figure 3-1 ÷ Figura 3-5 si riportano i grafici relativi agli andamenti orari in corrispondenza del punto di controllo prescelto.

**I risultati evidenziano un incremento dei livelli di concentrazioni limitato alle porzioni di territorio prossime all'opera e in corrispondenza dell'area di esazione. Si segnala una riduzione degli impatti in corrispondenza dell'arteria che collega l'Autostrada all'abitato coerentemente alla presenza del nuovo svincolo che consente una migliore connettività tra l'autostrada e l'Aurelia.**

**In termini assoluti gli incrementi in corrispondenza del sistema ricettore e degli ambiti naturalistici caratterizzati dal maggior sensibilità rimangono praticamente nulli e tali, pertanto, da non alterare la qualità dell'aria attualmente presente.**

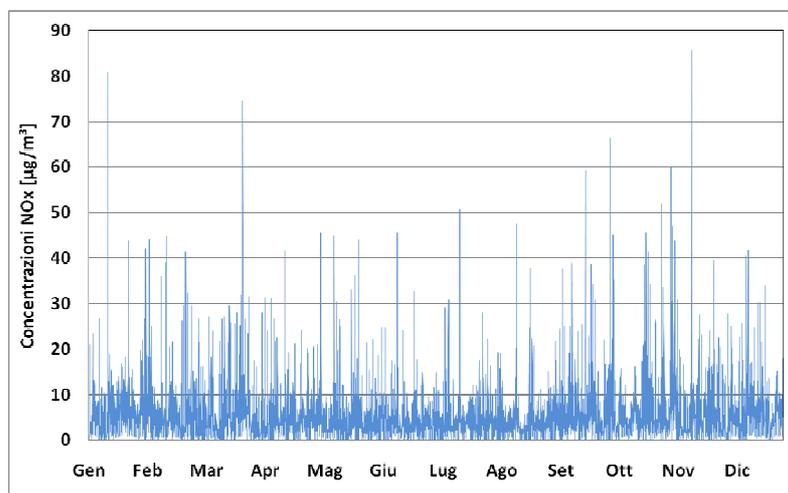
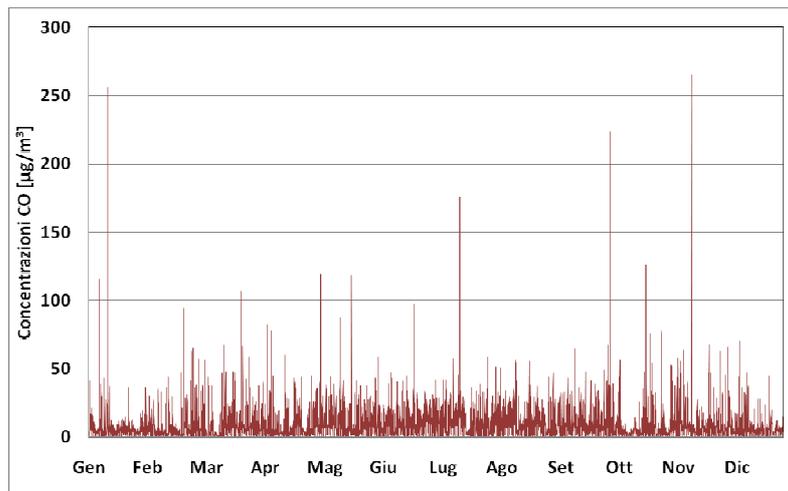
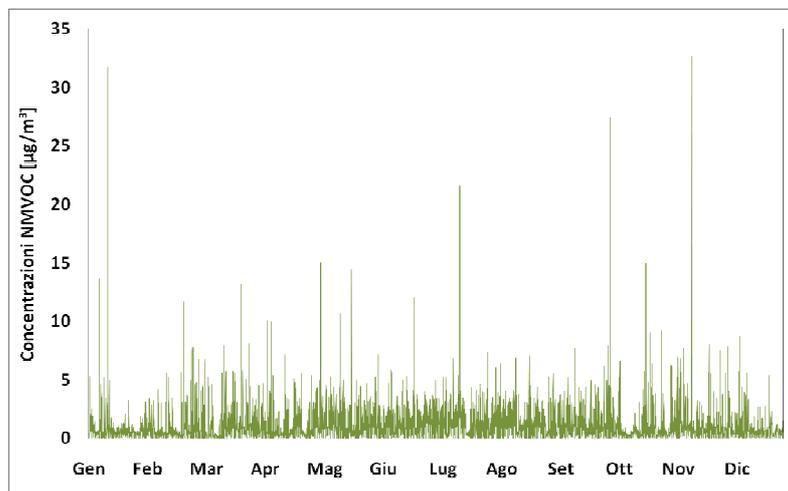


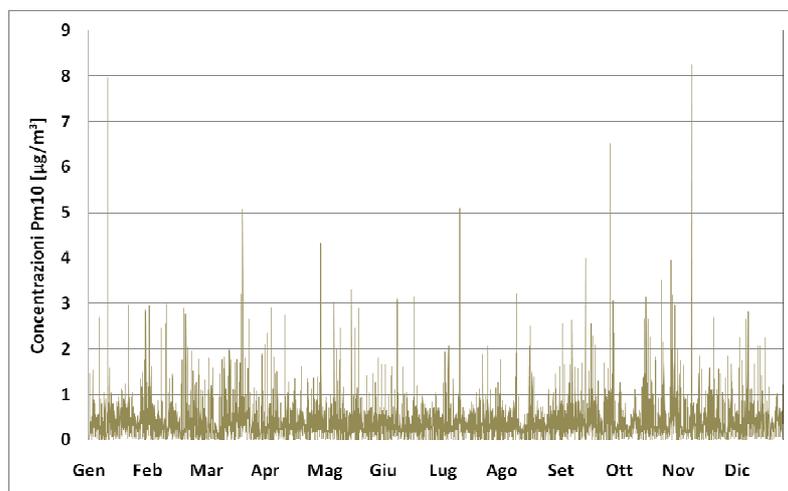
Figura 3-1: Conc. orarie NOx – Casa Poggio al Lupo – POST OPERAM



*Figura 3-2: Conc. orarie CO – Casa Poggio al Lupo – POST OPERAM*



*Figura 3-3: Conc. orarie NMVOC – Casa Poggio al Lupo – POST OPERAM*



*Figura 3-4: Conc. orarie Pm10 – Casa Poggio al Lupo – POST OPERAM*

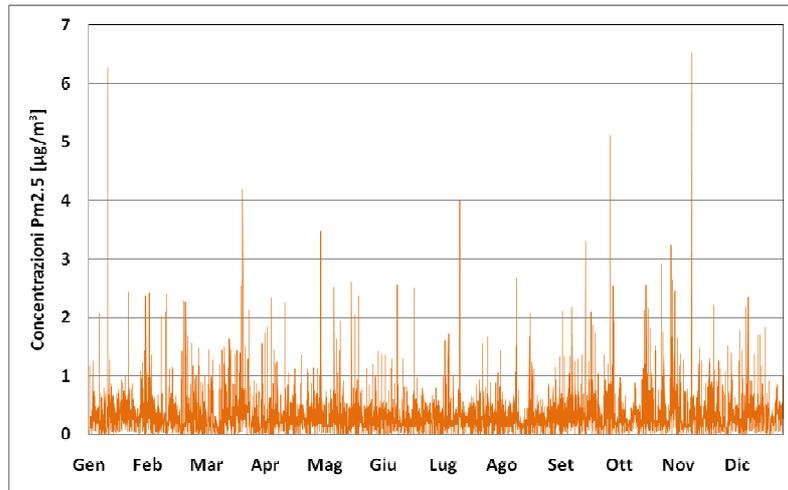


Figura 3-5: Conc. orarie Pm2.5 – Casa Poggio al Lupo – POST OPERAM

## 4. CANTIERI

### 4.1. GENERALITÀ

Il nuovo svincolo sulla A12 verrà realizzato in località Stagno nel Comune di Pisa a sud dell'attuale area di esazione "Stazione di Livorno" dell'Autostrada A12.

La realizzazione del progetto prevede le seguenti attività:

- risoluzione del collegamento con la viabilità esistente attraverso un'intersezione di tipo rotatoria caratterizzata da 5 innesti (Via Aurelia direzione Nord e Sud, rami di svincolo che si distaccano dall'Autostrada Azzura, collegamento Autostazione Livorno per gli esattori SALT, collegamento di emergenza per DEPOT di Camp Daebly);
- riorganizzazione del tratto A12 che sarà interessato dalle corsie di accelerazione e diversione (dall'attuale configurazione 2 corsie da 3.75 m + emergenza da 3 m a configurazione di progetto 3 corsie da 3.5 m);
- realizzazione del parcheggio posto in prossimità del cimitero di Stagno.

La durata complessiva delle attività sarà pari a circa un anno (326 giorni). L'area di cantiere sarà costituita dall'intera superficie di ingombro del futuro svincolo che sarà completamente recintata con un accesso dall'Aurelia in prossimità dell'ingresso attualmente a servizio del cimitero.

L'entità delle movimentazioni dei materiali è riportata in Tabella 4-1. I quantitativi di materiale da movimentare determineranno un flusso indotto dell'ordine di alcune decine di veicoli pesanti giorno. Ad oggi non è ancora definito un piano di dettaglio di gestione delle terre e delle forniture, che, in ogni caso, privilegerà l'impiego di infrastrutture autostradali per limitare al minimo le interferenze con il traffico locale.

*Tabella 4-1: volumi prodotti e fabbisogni*

<b>SCAVI E VOLUMI DI MATERIALE IN ESUBERO</b>	<b>[m³]</b>
Scavi e sbancamenti (per piano di posa e fosso)	29500
Scotico (riutilizzato in loco)	11600
Sbancamenti da ammorsamento	2000
Demolizioni	2650
<b>TOTALE MATERIALE PRODOTTO</b>	<b>45750</b>
<b>TOTALE MATERIALE DA PORTARE IN DISCARICA</b>	<b>34150</b>
<b>ENTITÀ DEI FABBISOGNI E MODALITÀ DI COPERTURA</b>	<b>[m³]</b>
Materiale per rilevati	39900
Terreno vegetale (da scotico)	11600
Misto granulare stabilizzato	4800
Tout venant	950
Materiale per ammorsamento	2000
Materiale per pacchetto stradale	15732
<b>TOTALE FABBISOGNO</b>	<b>74982</b>
<b>TOTALE FORNITURE</b>	<b>63382</b>

L'area in cui si inserisce il sito di cantiere ricade all'interno del Parco Regionale "Migliarino San Rossore Massacciuccoli" ed è attualmente destinata prevalentemente alla produzione di foraggio per bestiame.

Dal punto di vista strettamente antropico il ricettore maggiormente esposto agli impatti associati alle attività di cantiere è rappresentato dalle case ubicate in località "Casa Poggio al Lupo" site a circa 200 m in direzione Nord dall'area di cantiere. Si segnala inoltre la presenza del Cimitero di Stagno, in adiacenza al confine sud delle installazioni cantieristiche.

#### **4.2. CARATTERIZZAZIONE DELLE EMISSIONI**

La fase di realizzazione dell'opera determinerà inevitabilmente degli impatti sulla componente atmosfera associati alle emissioni di sostanze inquinanti nell'aria a seguito dello svolgimento delle attività.

Gli inquinanti immessi nell'ambiente possono essere sostanzialmente ricondotti a due tipologie:

- le emissioni di motori ossia quelle causate dai processi di combustione e di abrasione dei motori (diesel, benzina, gas) dei macchinari operanti all'interno del cantiere normalmente composte da polveri, NOx, COV, CO, CO<sub>2</sub>;
- le emissioni non di motori, ossia determinate dai processi di lavoro meccanici (fisici) e termico-chimici che comportano la formazione, lo sprigionamento e/o il risollevarimento di polveri, polvere fine, fumo e/o sostanze gassose.

Nella Tabella 4-2 ripresa dalla direttiva "Protezione dell'aria sui cantieri edili" dell'Ufficio Federale dell'ambiente, delle foreste e del paesaggio di Berna in vigore dal 1/09/02 e recentemente aggiornata (2009), viene indicata l'incidenza di emissione delle diverse sostanze inquinanti in funzione di alcune tipologie di lavorazioni.

Analizzando le indicazioni fornite dalla tabella in funzione delle tipologie di lavorazioni necessarie per la realizzazione del nuovo svincolo si evince che gli impatti maggiormente rilevanti risultano associati alle produzioni di polveri e di sostanze inquinanti da motori; viceversa risultano sostanzialmente trascurabili le emissioni non da motori di natura diversa rispetto al particolato.

In considerazione della tipologia di opera le attività che potranno produrre impatti sulla componente atmosfera ed in particolare emissioni di polveri sono rappresentate da:

- presenza e movimentazione di mezzi lungo piste e piazzali asfaltati e non;
- trasporto di materiale;
- stoccaggio di materiale;
- emissioni da macchinari.

Le emissioni di inquinanti chimici (NOx, NMVOC, ...) risultano, viceversa, associate esclusivamente agli scarichi dei macchinari impiegati per le lavorazioni e le movimentazioni degli inerti e dei materiali necessari.



**A 12 – AUTOSTRADE SESTRI LEVANTE – LIVORNO**  
**Nuovo Svincolo A12 - S.S.1 Via Aurelia Sud – Località**  
**Cimitero Di Stagno - Comune Di Pisa**  
**Progetto Definitivo – Quadro di riferimento ambientale**

*Tabella 4-2 Incidenza della tipologia di inquinanti in funzione delle lavorazioni*

LAVORAZIONE	Emissioni non di motori		Emissioni di motori		
	Polveri	COV, gas (solventi, ecc.)	NOx, CO, CO2, Pts, Pm10, COV, HC		
Installazioni generali di cantiere: segnatamente infrastrutture viarie	A	B	M		
Lavori di dissodamento (abbattimento e sradicamento di alberi)	M	B	M		
Demolizioni, smantellamento e rimozioni	A	B	M		
Misure di sicurezza dell'opera: perforazione, calcestruzzo a proiezione	M	B	M		
Impermeabilizzazioni di opere interrato e di ponti	M	A	B		
Lavori di sterro (incl. lavori esterni e lavori in terreno coltivabile, drenaggio)	A	B	A		
Scavo generale	A	B	A		
Opere idrauliche, sistemazione di corsi d'acqua	A	B	A		
Strati di fondazione ed estrazione di materiale	A	B	A		
Pavimentazioni	M	A	A		
Posa binari	M	B	A		
Calcestruzzo gettato in opera	B	B	M		
Lavori sotterranei: scavi	A	M	A		
Lavori finitura per tracciati, segnatamente demarcazioni di superfici del traffico	B	A	B		
Opere in calcestruzzo semplice e calcestruzzo armato	B	B	M		
Ripristino e protezione strutture in calcestruzzo, carotaggio e lavori di fresatura	A	B	B		
Opere in pietra naturale e pietra artificiale	M	B	B		
Coperture: impermeabilizzazioni in materiali plastici ed elastici	B	A	B		
Sigillature e isolazioni speciali	B	A	B		
Intonaci di facciate: intonaci, opere da gessatore	M	M	B		
Opere da pittore (esterne/interne)	M	A	B		
Pavimenti, rivestimenti di pareti e soffitti in vario materiale	M	M	B		
Pulizia dell'edificio	M	M	B		
<b>A</b>	elevata /molto elevata	<b>M</b>	media	<b>B</b>	ridotta

#### 4.2.1. Piste e piazzali pavimentati e non pavimentati

Le cause che originano emissioni diffuse di polveri da parte di una pista o di un piazzale di cantiere non pavimentate e pavimentato sono le seguenti:

- presenza dell'agente materiale di pericolo:
  - presenza, nello strato superficiale di materiale costituente il piazzale o la pista non pavimentata, di materiale di dimensioni aerodispersibili (in genere si intende presenza di silt,  $d < 75 \mu\text{m}$ );

- presenza, nello strato superficiale di materiale costituente il piazzale o la pista non pavimentata, di materiale soggetto a comminazione vista la natura e la quantità delle attività di trasporto materiale o movimento mezzi che lo sollecitano;
- dispersione, da parte di mezzi, di materiale che, comminuto a causa dell'urto e del passaggio di altri mezzi si modifica in forma disponibile all'aerodispersione (secondaria);
- trasporto e deposizione, da parte del vento e della pioggia, di materiale dai terreni confinanti con la pista o con il piazzale. Il materiale viene poi aerodisperso o ricomminuto ed aerodisperso da parte delle cause di aerodispersione presenti.
- presenza di cause di aerodispersione
  - passaggio di mezzi (numero, massa e velocità);
  - trasporto, erosione e trasporto, da parte di correnti d'aria e vento.

L'entità del problema è variabile in funzione:

- della situazione geologica locale;
- del livello di attività sul sito;
- dell'estensione della copertura vegetativa nel sito;
- della distribuzione granulometrica e del contenuto di umidità del materiale costitutivo di piste e piazzali non pavimentati o del materiale perso su piste e piazzali pavimentati;
- della formazione di una crosta superficiale sul materiale costitutivo di piste e piazzali non pavimentati;
- del regime pluviometrico, dell'umidità e della temperatura ambientale del sito;
- delle modalità organizzative e logistiche delle attività sul sito.

Nel seguito per alcuni fenomeni specifici di rilascio e dispersione di polveri in presenza di piste/piazzali vengono analizzate le formulazioni proposte dall'EPA (U.S. Environmental Protection Agency) e riportate nell'“AP 42, Fifth Edition Compilation of Air Pollutant Emission Factors”

#### Piste di cantiere – non asfaltate

Quando un veicolo percorre una strada non pavimentata, le forze trasmesse dalle ruote sulla superficie della strada causano la polverizzazione del materiale. Le particelle di materiale vengono sollevate dalla rotazione dei pneumatici e disperse dai vortici turbolenti che si creano al di sotto del veicolo. La scia di turbolenza generata in direzione opposta a quella di marcia continua ad agire sulla pavimentazione stradale anche dopo che il veicolo è transitato.

La quantità di polveri emesse varia linearmente con il volume di traffico in transito e dipende dalla percentuale di limo, cioè di particelle caratterizzate da un diametro minore di 75 µm, contenute nel materiale superficiale presente sulla pista di cantiere.

Negli impianti destinati alla produzione di sabbia e ghiaia tale percentuale è generalmente compresa tra il 4.1 e il 6.0 %, con valore medio del 4.8%.

La stima delle emissioni di polveri in pounds (lb) è basata su una equazione sperimentale:

$$E = \frac{K \left( \frac{s}{12} \right)^a \left( \frac{W}{3} \right)^b}{\left( \frac{M}{0.2} \right)^c} \quad [\text{libbre/veicolo.miglio}]$$

dove:

K, a, b e c costanti empiriche che, per il Pm10, assumono i seguenti valori:

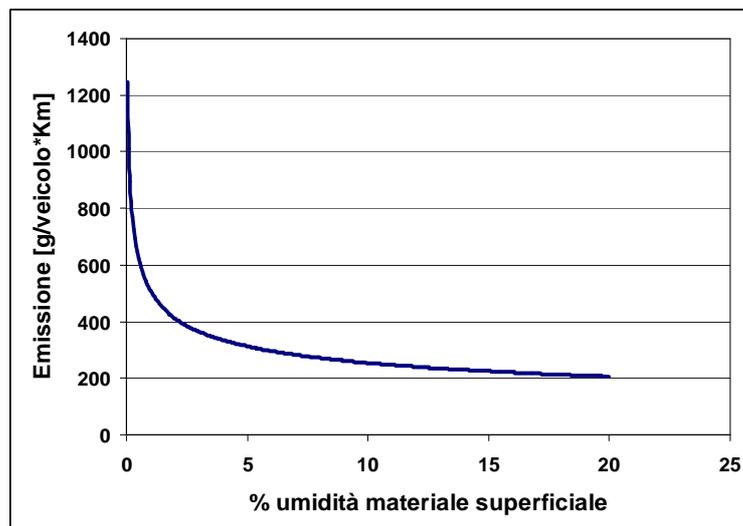
K = 2.6, a = 0.8, b = 0.4, c = 0.3.

s percentuale di contenuto di limo [%];

W peso medio dei veicoli circolanti [ton];

M percentuale di umidità superficiale del materiale [%], generalmente compresa tra 0.03 e 13.

Nella Figura 4-1 si riporta l'andamento del coefficiente di emissione del Pm10 in funzione dell'umidità del materiale superficiale. L'andamento del grafico indica un decremento particolarmente rapido per umidità inferiori al 5% e un andamento quasi asintotico per contenuti di umidità superiori.

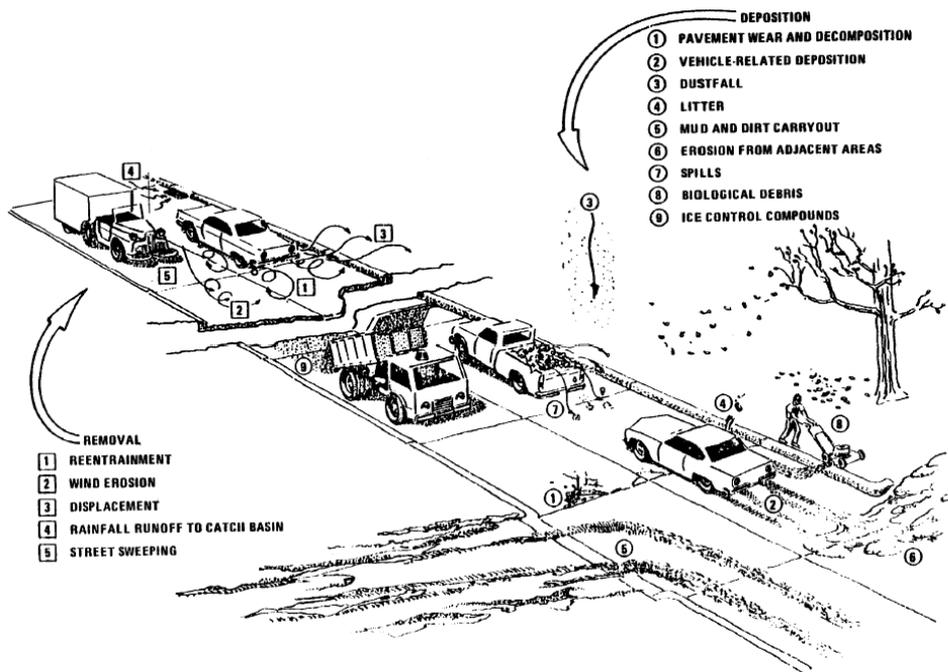


*Figura 4-1: Emissioni Pm10 in funzione dell'umidità [contenuto silt 4.8%]*

#### Transito di mezzi di cantiere su strade asfaltate

Una significativa emissione, qualora non adeguatamente controllata, può derivare dal trasporto dei materiali su strade asfaltate, a causa dei fenomeni di risollveamento innescati dai veicoli in transito in presenza di superfici non pulite.

Nella Figura 4-2, tratta dall'“AP 42” dell'EPA, sono schematizzati le principali cause di deposizione e rimozione delle polveri su strade asfaltate.



*Figura 4-2: Cause di deposizione e rimozione di materiale polverulento su strade asfaltate*

Anche tale fenomeno è stato quantificato dall'EPA attraverso lo sviluppo di una formulazione empirica che correla i quantitativi di polvere emessi con il peso dei veicoli in transito e il quantitativo di silt (polveri con diametro uguale o inferiore ai 75 µm) presente sul manto stradale e la velocità di transito dei veicoli.

$$E = k \left( \frac{sL}{2} \right)^{0.98} \times \left( \frac{W}{3} \right)^{0.53} \times \left( \frac{S}{30} \right)^{0.16}$$

In cui:

E: emissione di polveri espressa in g per Km percorso;

k: parametro in funzione del diametro polveri (kPm2.5.=1.05, kPm10.=4.22, kPm15.=5.20, kPm30.=21.96);

sL: quantitativo di silt presente sulla superficie stradale (g/m<sup>2</sup>);

W: peso medio dei veicoli che transitano lungo la strada (tons);

S: velocità media dei veicoli che transitano lungo la strada (mph).

La formulazione risulta valida all'interno dei seguenti intervalli delle variabili:

sL: 0.03-400 g/m<sup>2</sup>;

W: 1.8-38 Mg;

S: 1-88 Km/h.

Nella Figura 4-3 si riporta l'andamento del coefficiente di emissione in funzione del carico di silt superficiale, considerando il transito di mezzi particolarmente pesanti (W=32 tonnellate).

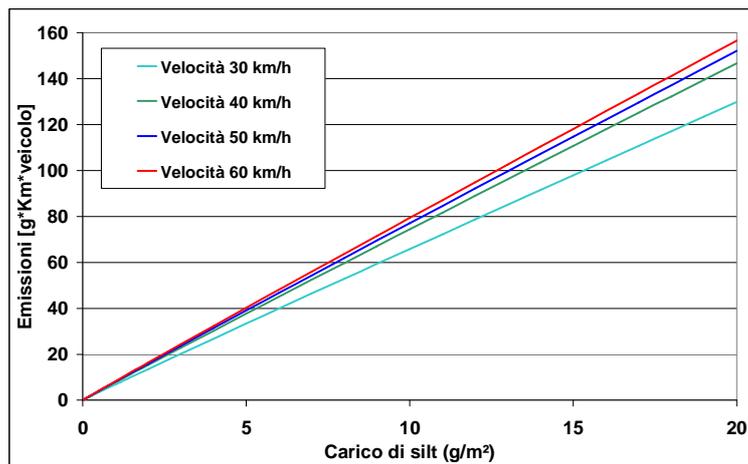


Figura 4-3: Emissioni Pm10 da strade asfaltate [veicoli 32 t]

Come si può osservare in presenza di strade particolarmente pulite ( $sL <$ ) il coefficiente di emissione si mantiene su valori abbastanza contenuti; viceversa all'incrementarsi del contenuto di silt sul manto stradale, direttamente correlabile a quantitativi di materiale perso dal carico o trasportato da pneumatici non perfettamente puliti, i quantitativi di Pm10 emessi si incrementano in maniera significativa raggiungendo valori molto elevati.

#### Risollevamento ad opera del vento

Nelle attività di cantiere una parte significativa delle emissioni di polveri è determinata dal risollevamento ad opera del vento delle aree di deposito, delle aree di scavo, ecc.

Gli studi sperimentali svolti in questo campo evidenziano che, affinché si verifichino fenomeni di erosione con risollevamento di polveri, è necessario che la velocità minima del vento sia superiore a 5 m/s a 10 cm sopra il suolo o a 10 m/s a 7 m di altezza dalla superficie esposta. E'altresi documentato che l'emissione di polveri ha un rapido decadimento e un tempo di dimezzamento di vita di pochi minuti. In altre parole il materiale che compone lo strato superficiale del terreno è caratterizzato da una disponibilità limitata di materiale fine erodibile e trasportabile a distanza.

Il calcolo del fattore di emissione richiede in primo luogo la stima della velocità del vento in prossimità del suolo. Convenzionalmente viene assunta una altezza di 15 cm e viene utilizzata la tipica distribuzione logaritmica che definisce il profilo di velocità del vento nei bassi strati dell'atmosfera:

$$u(z) = \left( \frac{u^*}{0.4} \right) \times \ln \left( \frac{z}{z_0} \right) \quad (z > z_0)$$

dove:

$u$  = velocità del vento all'altezza  $z$  dal terreno [cm/s]

$u^*$  = velocità di attrito [cm/s]

$z$  = altezza al disopra della superficie [cm]

$z_0$  = rugosità superficiale [cm]

0.4 = costante di von Karman (adimensionale).

Le velocità di attrito  $u^*$  e la rugosità superficiale  $z_0$  dipendono dalla superficie interessata dal campo anemologico e possono essere determinati sperimentalmente. Il fattore di emissione di materiale particolato conseguente a fenomeni di erosione superficiale ad opera del vento può essere espresso in  $g/m^2$  con la seguente equazione:

$$E_{P_{m10}} = 0.5 \sum_{i=1}^n P_i \quad [g/m^2]$$

dove:

n = numero di eventi su base annuale

Pi = potenziale di erosione corrispondente alla velocità massima del vento raggiunta durante l'evento.

Il potenziale di erosione per una superficie asciutta è dato da:

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

dove:

$u^*$  = velocità di attrito [m/s]

$u_t^*$  = velocità di attrito limite [m/s], ossia la velocità di attrito al di sopra della quale possono verificarsi fenomeni di risollevarimento delle polveri, è strettamente correlato al tipo di suolo presente (tale parametro in presenza di aree di cantiere non asfaltate risulta pari a circa 1 m/s).

#### 4.2.2. Trasporto di materiale

La movimentazione del materiale all'interno di un'area di cantiere può avvenire in modo discontinuo o continuo. Le movimentazioni discontinue sono normalmente attuate mediante autocarri viceversa lo strumento di più frequente impiego per le movimentazioni continue è rappresentato dai nastri trasportatori.

Le problematiche legate alla movimentazione discontinua mediante autocarri sono sostanzialmente state analizzate nel paragrafo relativo alle piste e ai piazzali, in quanto la principale sorgente di emissioni associata a tale tipologia di movimentazione è ascrivibile ai fenomeni di risollevarimento determinati dal transito di mezzi pesanti o su superfici non asfaltate o su superfici asfaltate non pulite. In presenza di superfici asfaltate il transito dei mezzi pesanti, se non adeguatamente controllati (pulizia pneumatici, perdite di carico), può rappresentare una fonte significativa di materiale depositato sul manto stradale potenzialmente aereodisperso da ulteriori transiti.

La movimentazione in continuo è, viceversa, attuata prevalentemente mediante l'impiego di nastri trasportatori che consentono il trasporto, in continuo, in orizzontale, verticale ed in curva sia di materiali alla rinfusa sia di carichi concentrati leggeri. Un nastro trasportatore, se non adeguatamente realizzato e gestito, può generare significative quantità di polvere aerodispersa e può essere una delle maggiori sorgenti emissive presenti in un impianto. In ragione dell'assenza di tale tipologia impiantistica nel progetto in questa sede non vengono effettuati approfondimenti specifici.

### **4.2.3. Stoccaggio di materiale**

Lo stoccaggio di materiali da cantiere, materie prime, additivi, smarino può essere concettualmente diviso nelle seguenti tipologie:

- stoccaggio in cumuli all'aperto;
- stoccaggio in sacchi e sacche per grandi masse di materiale;
- stoccaggio in silos e depositi;
- stoccaggio in imballaggi per materiali pericolosi.

Lo stoccaggio all'esterno in cumuli è utilizzato per grandi quantità di materiali solidi ed è funzionale:

- alla costituzione di riserve di materiali ubicate tra il luogo dove il materiale è estratto e l'impianto che lo deve processare;
- alla costituzione di sistemi polmone tra due operazioni distinte che operano in tempi diversi o con diverse quantità di materiale;
- alla necessità di miscelare diverse tipologie di materiali;
- alla necessità di omogeneizzare un flusso di materiale;
- alla necessità di effettuare un trasferimento di materiale tra un sistema di trasporto continuo ed uno discontinuo o viceversa.

Gli stoccaggi in cumuli in sistemi chiusi sono previsti per i materiali a granulometria fine e che non devono inumidirsi.

Un cumulo è considerato attivo quando il materiale viene continuamente alimentato e ripreso dal cumulo. Un cumulo è considerato inattivo quando non viene alimentato o ripreso del materiale per lunghi periodi.

Tutte le tipologie di cumuli, considerando lo stoccaggio in cumuli come sistema composto da un cumulo attivo e dai sistemi/attività di alimentazione e ripresa possono essere cause di ingenti emissioni di polveri.

La generazione di emissioni di polveri da operazioni di stoccaggio in cumuli è dovuta:

- alle attività di formazione di un nuovo cumulo:
  - il vento o l'aria richiamata intercettano il flusso di materiale in caduta separando e disperdendo la parte di materiale a granulometria fine da quella grossolana;
  - nel momento in cui il materiale in caduta raggiunge un cumulo si forma una nube di polvere;
- all'azione erosiva del vento su un cumulo formato.

In presenza di sistemi di stoccaggio chiusi le emissioni di polveri si possono verificare esclusivamente nelle fasi di carico e scarico.

L'inventario delle emissioni definito dall'EPA e precedentemente citato fornisce una formulazione empirica per stimare i quantitativi di polveri emessi da un'area di deposito.

La quantità di emissione delle aree deposito dipende dal volume movimentato dello stoccaggio, dal grado di umidità degli inerti, dal contenuto di frazione fine e dall'età dell'accumulo.

Le fasi iniziali di conferimento all'area di deposito di nuovo materiale sono caratterizzate dal massimo potenziale di impatto: le particelle più fini possono essere facilmente disperse in atmosfera sia ad opera del vento, sia durante la movimentazione del materiale. Quando gli accumuli sono formati, il potenziale di dispersione si riduce decisamente a causa dell'aggregazione e della cementificazione delle particelle fini determinate dall'umidità; l'eventuale successiva esposizione a piogge contribuisce a mantenere umido l'ammasso di inerti.

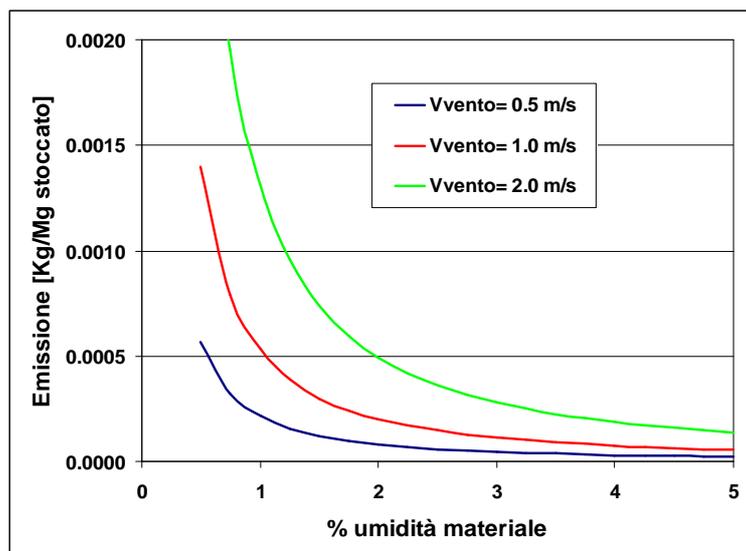
La quantità di emissione E di materiale particolato originata dalle fasi di formazione dello stoccaggio può essere stimata con il ricorso alla seguente formulazione:

$$E = \frac{k * 0.0016 * \left(\frac{u}{2.2}\right)^{1.3}}{\left(\frac{M}{2}\right)^{1.4}} \quad \text{dove:}$$

- E      fattore di emissione espresso come kg/Mg stoccati;
- k      coefficiente correlato alle dimensioni del particolato (per il Pm10 pari a 0.35);
- U      velocità media del vento [m/s];
- M      contenuto di umidità del materiale [%].

L'equazione indicata è applicabile all'interno dei seguenti campi di variabilità dei parametri influenti: frazione fine 0.44-19%, contenuto di umidità 0.25-4.8%, velocità del vento 0.6-6.7 m/s.

Nella Figura 4-4 si riporta l'andamento del coefficiente di emissione del Pm10 in funzione dell'umidità del materiale superficiale e della velocità del vento. L'andamento del grafico indica un significativo decremento all'aumentare dell'umidità, mentre l'incremento della velocità del vento determina un aumento delle polveri aereodisperse.



*Figura 4-4: Emissioni Pm10 in funzione dell'umidità e della velocità del vento*

L'EPA ha anche sviluppato una formulazione relativa all'attività specifica di movimentazione del materiale con benne.

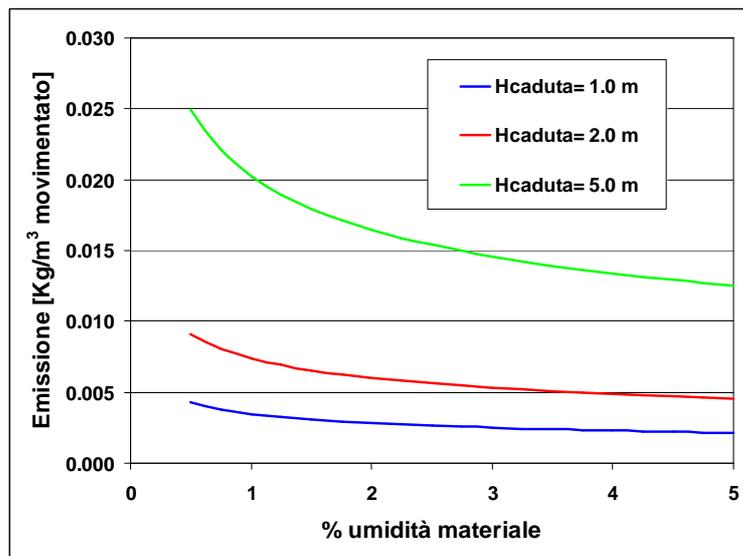
In presenza di tale attività l'emissione di polveri, espresse in Kg per m<sup>3</sup> movimentato, è valutabile attraverso la formula:

$$E = K \frac{0.0046(d)^{1.1}}{(M)^{0.3}}$$

dove:

- E      fattore di emissione espresso come kg/m<sup>3</sup> movimentati
- K      coefficiente relativo alla dimensione delle polveri (pari a 1 per le polveri totali, 0.75 per il Pm10 e 0.017 per il Pm2.5)
- d      altezza di caduta del materiale movimentato
- M      contenuto di umidità del materiale [%].

Come si può osservare (Figura 4-5) anche in questo caso la possibilità di lavorare con materiali caratterizzati da un elevato contenuto di umidità consente una riduzione delle emissioni. Viceversa prevedere attività di scavo e di movimentazione del materiale caratterizzate da altezze elevate di caduta del materiale, determina un significativo incremento dei quantitativi di polveri emesse.



*Figura 4-5: Emissioni Pm10 in funzione dell'umidità e della Hcaduta*

#### **4.2.4. Emissioni da macchine operatrici**

Un'ulteriore fonte di inquinamento da polveri associata alla realizzazione dell'opera è determinata dalle emissioni di particolato ad opera dei motori delle macchine operatrici all'interno dei cantieri e dei mezzi pesanti deputati al trasporto degli inerti.

La maggior parte dei macchinari alimentati a combustibile operanti all'interno dei cantieri prevedono l'impiego di motori diesel, che a fronte di indubbi vantaggi in termini di prestazioni e consumo di carburante, presenta lo svantaggio di emettere quantità di

particolato, per la maggior parte caratterizzato da ridotte dimensioni (95% presenta diametro aerodinamico inferiore a  $1\mu\text{m}$ ). La struttura chimica di tale particolato è costituita da nuclei di materiale carbonioso sui quali sono adsorbiti idrocarburi, tra i quali gli IPA, i nitro-IPA e altre sostanze organiche, acqua, solfati e materiali inorganici generati dall'usura delle parti meccaniche del motore. In ragione delle presenza di sostanze di natura mutagena e cancerogena, lo IARC classifica il particolato diesel come “probabilmente cancerogeno”.

#### **4.3. INTERVENTI DI MITIGAZIONE IN FASE DI CANTIERE**

##### **4.3.1. Piste e piazzali pavimentati e non pavimentati**

Nell'analisi delle tipologie di interventi da attuare per il contenimento delle emissioni delle diverse sorgenti associate alla presenza di piazzali e piste può essere utile la classificazione proposta dal TNO (Netherlands Organization for Applied Scientific Research) che suddivide il materiale normalmente presente nelle aree di cantiere in 5 categorie in base alla tendenza alla aerodispersione e alla possibilità di utilizzare la bagnatura per contenere tale tendenza (Tabella 4-3).

*Tabella 4-3: Classi di dispersività*

<b>CLASSE DI DISPERSIVITA</b>	<b>CARATTERISTICHE</b>
S1	altamente sensibili alla aero dispersione e non bagnabili
S2	altamente sensibili alla aero dispersione e bagnabili
S3	moderatamente sensibili alla aero dispersione e non bagnabili
S4	moderatamente sensibili alla aero dispersione e bagnabili
S5	non sensibili o solo leggermente sensibili alla aero dispersione

In base a questa classificazione ghiaia, sabbia e limo, materiali per la maggior parte costituenti essenziali di piste e piazzali non pavimentati sono considerati:

- limi sciolti: S1;
- ghiaie: S5;
- sabbie grossolane (0,5 – 1 mm): S4;
- sabbie fini (0,125 – 0,25 mm): S3.

Nella Tabella 4-4 sono elencati gli interventi necessari per limitare le emissioni da piste e piazzali suddivisi in primari e secondari. Per tale tipologia di sorgente non sono attuabili interventi pre-primari, fatte salve le attività di monitoraggio del fenomeno che, in ogni caso, sono da considerarsi relative al complesso delle sorgenti presenti.

*Tabella 4-4: Interventi necessari per il contenimento delle emissioni da piste/piazzali*

<b>INTERVENTI PER IL CONTENIMENTO DELLE EMISSIONI DA PISTE E PIAZZALI</b>	
Interventi primari	Evitare movimentazioni in presenza di velocità del vento elevata
	Definizione di lay-out in grado di minimizzare tempi/distanze di trasporto
	Gestione delle velocità di trasporto
	Adeguate scelta del materiale costitutivo delle piste e dei piazzali
	Riduzione/gestione delle aree soggette ad impatto del vento
Interventi secondari	Tecniche di bagnatura di acqua e acqua/additivi
	Tecniche di nebulizzazione
	Pulizia strade
	Lavaggio pneumatici

### **Evitare movimentazioni in presenza di velocità del vento elevata**

Per prevenire la dispersione di polvere occorrente durante le fasi di carico e scarico eseguite in siti di stoccaggio all'aperto, e di trasporto lungo piste e piazzali non asfaltati, è necessario prevedere la sospensione delle attività durante eventi di elevate velocità del vento.

L'Ufficio Europeo IPPC individua delle soglie di velocità del vento oltre le quali si rende necessaria la sospensione delle attività in funzione delle classi di dispersività precedentemente individuate:

- classi S1 e S2 – interruzione in caso di vento forza 4 (brezza moderata) 8 m/s;
- classe S3 – interruzione in caso di vento forza 6 (forte brezza) 14 m/s;
- classi S4 e S5 – interruzione in caso di vento forza 8 (burrasca moderata) 20 m/s.

### **Definizione di lay-out in grado di minimizzare tempi/distanze di trasporto**

Il lay-out di ogni sito di cantiere deve essere definito in maniera tale da limitare il più possibile l'entità delle movimentazioni di materiali potenzialmente polverulenti sia in termini di numero dei movimenti di traffico sia in termini di distanze percorse.

Anche in presenza di materiali non particolarmente disperdibili a causa della loro umidità è bene limitare l'entità delle movimentazioni in quanto tali materiali possono cadere dai sistemi di trasporto, subire processi di riduzione dell'umidità (ad esempio "seccare" al sole) e successivamente disperdersi.

### **Gestione delle velocità di trasporto**

Al fine di ridurre le emissioni di polveri ad opera dei fenomeni di risollevarimento determinati dal transito di mezzi pesanti lungo piste o piazzale, in particolare se non asfaltati, è fondamentale definire procedure e sistemi atti a ridurre al massimo la velocità.

Operativamente risulta necessario:

- formazione delle maestranze;
- informazione capillare sui limiti di velocità lungo le vie di transito;
- vie di accesso, di uscita e percorsi all'interno del cantiere strettamente obbligati (mediante installazione di new jersey) e controllati;
- installazione di dossi lungo i percorsi stabiliti e segnalati.

I dati in letteratura disponibili indicano efficienze nella riduzione delle dispersioni di polveri a seguito dell'applicazione di limitazioni della velocità molto significative (i valori sono da considerarsi puramente indicativi in quanto l'efficienza è strettamente connessa alla tipologia di del materiale costituente la pista o il piazzale):

- un 40-70% di efficienza nella riduzione della polverosità con una riduzione della velocità da 75 km/h a 50 km/h;
- un 50-85% di efficienza nella riduzione della polverosità con una riduzione della velocità da 64 km/h a 30 km/h.

In termini generali la velocità di progetto consigliata per la massima riduzione del problema dovrebbe essere inferiore ai 25 Km/h.

### **Adeguata scelta del materiale costitutivo delle piste e dei piazzali**

L'utilizzo di materie duro, non friabile (asfalto) è la principale metodologia primaria per ridurre la generazione di polvere dalla vie e dai piazzali di carreggio sterrati.

Per le vie di carreggio ed i piazzali non temporanei l'asfaltatura significa:

- una riduzione dei fenomeni di dispersione della polvere del 90% rispetto ad una via ed un piazzale di carreggio non asfaltata;
- rendere più semplici le operazioni di pulizia.

E'utile costruire delimitazioni delle piste e dei piazzali asfaltati (per esempio con new jersey) che impediscano il passaggio di mezzi non controllati da zone non asfaltate a zone asfaltate e viceversa.

In caso di piste e piazzali sterrati le pratiche di buona costruzione e manutenzione sono fondamentali per creare superfici resistenti all'erosione. Ciò significa in particolare utilizzare materiale ben graduato dal punto di vista della presenza di fini in modo da:

- assicurare un buon drenaggio e resistere ad eccessive intrusioni di acqua;
- ottenere la massima massa volumica e il minimo contenuto di vuoti per ottimizzare la ritenzione di umidità.

Il materiale dovrebbe essere sufficientemente coesivo per resistere alla azione abrasiva del traffico con un Limite di Liquidità non maggiore di 35 ed un Indice di Plasticità compreso tra 4 e 9.

Una buona gradazione del materiale significa:

- una buona miscela di particelle grossolane e fini che minimizzi la percentuale di vuoti e massimizzi la massa volumica;
- una scelta delle tipologia di minerali, dalla loro forma e dimensioni che aumenti la resistenza della superficie;
- una percentuale di ghiaia che limiti la presenza di particelle inferiori ai 75 µm tra il 10 ed il 20%;
- l'utilizzo di geotessili per aumentare la resistenza in fase di costruzione;
- la ghiaia o roccia frantumata di qualsiasi dimensione superiore ai 2 mm se applicata in sufficienti quantità consente una buon controllo della polvere dispersa per azione del vento;

- in particolare, per un buon controllo della erosione da parte del vento è stata riscontrata essere efficace l'applicazione rispettivamente di: 4 kg/m<sup>2</sup> di ghiaia fine (2-4 mm), 11 kg/m<sup>2</sup> di ghiaia media (4-16 mm), 22 kg/m<sup>2</sup> (di ghiaia grossolana (16 – 64 mm).

### **Riduzione/gestione delle aree soggette ad impatto del vento**

Le aree sterrate del sito non soggette al traffico dei mezzi devono essere ridotte al minimo per contenere i fenomeni erosivi e dispersivi da parte del vento.

Le aree soggette a scapitozzatura o rimozione della vegetazione dovrebbero essere solo quelle strettamente necessarie alle attività di cantiere.

Una volta preparate l'accesso a queste aree deve essere proibito se non per ragioni strettamente legate alla attività di cantiere, in particolare deve essere evitato che vengano utilizzate come parcheggi o come piazzali di manovra.

Per le aree sterrate non utilizzate e non ulteriormente riducibili le misure possibili per contenere i fenomeni erosivi possono essere:

- installazione di barriere per ridurre la velocità del vento;
- irrigazione (bagnatura con acqua);
- adeguato lay-out del cantiere: i piazzali di carreggio sterrati, se possibile, dovrebbero essere ubicati sul lato sottovento di zone collinose o in aree protette da ostacoli presenti nel sito;
- copertura con ghiaia: copertura delle aree potenzialmente erodibili con ghiaia o rocce frantumate.

### **Tecniche di bagnatura di acqua e acqua/additivi**

L'obiettivo delle tecniche di bagnatura è quello di prevenire che la polvere si liberi aumentando il contenuto di umidità del terreno e favorendo l'agglomerazione delle particelle aerodispersibili.

Possono essere effettuate mediante:

- installazioni fisse:
  - stazioni di irrigazione/irrorazione con lance brandeggiabili;
  - sistemi di condotte e irroratori (sprinkler) ubicati a bordo pista ed attivabili prima del passaggio di mezzi;
- installazioni mobili (serbatoi, autobotti e lance mobili).

L'efficienze medie dipendono molto, come peraltro le quantità da erogare, dalla temperatura e dall'umidità locali. Alcuni dati presenti in letteratura indicano:

- un'efficienza del 50% su un periodo che varia tra mezz'ora e le 12 ore;
- irrigazione oraria: 40% di riduzione della dispersione di polvere;
- irrigazione semi oraria: 55% di riduzione della dispersione di polvere.

La quantità da erogare risulta fortemente condizionati dalla situazione climatica. In generale, considerando la massa della porzione di terreno da bagnare, l'irrigazione dovrebbe aggiungere indicativamente dall'0.5% al 1% in massa di acqua al materiale e in ogni caso l'umidità complessiva non dovrebbe superare il 4-5%. In letteratura viene dato come parametro di riferimento un consumo medio di 2.26 l/m<sup>2</sup>



I test dello US EPA sulla dispersione di Polveri Sospese Totali (di cui il Pm10 costituisce una frazione) parlano di:

- 2.1 l/m<sup>2</sup> di strada → 74% di efficienza sulle PTS per le 3-4 ore successive
- 0.5 l/m<sup>2</sup> di strada → 95% di efficienza sulle PTS per la ½ ora successiva.

Al fine di aumentare l'efficacia della bagnatura è possibile additivare l'acqua con sostanze ad hoc.

Le principali tipologie di additivi impiegati sono costituite da:

- additivi a base di sali e brine;
- sostanze adesive filmanti.

Le sostanze più conosciute relativamente alla prima tipologia sono il cloruro di calcio ed il cloruro di magnesio entrambi composti igroscopici disponibili in fiocchi o in pastiglie. Entrambi assorbono umidità dall'aria e limitano l'evaporazione di acqua dal terreno. Il cloruro di calcio è applicabile anche in soluzione ed è utilizzabile anche per la pulizia di strade pavimentate se applicato durante la fase di pulizia.

In genere iniziano ad assorbire umidità dall'aria a partire da determinati valori di umidità relativa (UR) data una certa temperatura (20% di UR per il cloruro di calcio a 38°C mentre il cloruro di magnesio è attivo a partire dal 32% di UR indipendentemente dalla Temperatura).

Efficienze medie:

- per il cloruro di calcio 40-60 % fino all'80% di riduzione della dispersione di polvere entro due settimane dall'applicazione, poi decresce nel tempo fino a 20% alla quinta settimana dalla applicazione. In media ha un'efficienza sulla ritenzione degli aggregati del 55% nelle applicazioni standard;
- per il cloruro di magnesio si parla di 77% di efficienza sulla ritenzione di aggregati nelle applicazioni standard.

Quantità e frequenze di applicazione:

- per il cloruro di calcio 1-2 applicazioni anno con 0.5 – 1.0 kg/m<sup>2</sup> (sali secchi) e con 0.9 – 2.3 l/m<sup>2</sup> (in soluzione);
- per il cloruro di magnesio si parla di 1-2 applicazioni anno a con 0.9 – 2.3 l/m<sup>2</sup> (in soluzione).

Le sostanze adesive e filmanti andrebbero usate solo come estrema ratio in ragione della potenziale contaminazione dei terreni e prima del loro impiego è fondamentale effettuare tutte le verifiche del caso in merito alla loro compatibilità con la normativa vigente in materia di terre. Il loro impiego consente di realizzare una superficie completamente impermeabile.

L'impiego di eventuali additivi deve essere attentamente verificato in base alla tipologia di materiale costituente i piazzali/piste. In particolare in presenza di:

- ghiaia a basso contenuto di fini: solo la bagnatura frequente è efficace perché l'uso di inibitori chimici non compatterebbe la superficie (a causa della bassa

percentuale delle diverse frazioni presente) né formerebbe una nuova superficie. Gli inibitori idrosolubili sarebbero trascinati via;

- sabbia: nei suoli sabbiosi i bitumi, che non sono idrosolubili, sono gli inibitori chimici più efficaci. Gli inibitori idrosolubili (Sali, lignine, acrilici) sarebbero drenati dalla superficie esterna della strada. In ogni caso in sabbie sciolte medie (0.2-0.5 mm) e fini (0.1-0.2 mm) i bitumi non sono in grado di creare nuove superfici e mantenerle;
- buona percentuale di tutte le frazioni granulometriche: vanno bene tutte le tipologie di inibitori chimici;
- silt: se il contenuto in silt è troppo alto (maggiore del 20-25%) non possono essere utilizzati inibitori chimici. Nelle situazioni ad alto contenuto in silt l'inibitore chimico può rendere la strada scivolosa, non compattare la superficie e non mantenere una nuova superficie creatasi a causa della bassa capacità legante. L'unica soluzione attuabile è prevedere frequenti bagnature.

### **Tecniche di nebulizzazione**

In presenza di emissioni significative e/o accidentali è possibile ricorrere ad impianti di nebulizzazione in grado di abbattere una nube di polvere che si è aerodispersa da una sorgente intervenendo sulla nube stessa mediante un getto di acqua (o acqua ed additivi) nebulizzato ad una certa velocità ed orientato in modo da occupare un certo volume di aria intorno alla sorgente. Il meccanismo di abbattimento deriva dalla collisione tra le goccioline costituenti la nebbia di acqua e quelle costituenti la nube di polvere. Le goccioline di acqua, che per essere efficaci devono essere di dimensione dell'ordine della polvere aerodispersa, intercettano il materiale in sospensione e, con un meccanismo del tutto simile alla formazione delle gocce di pioggia, lo inglobano e lo fanno precipitare a terra per gravità.

Tale tecnologia può essere molto utile in presenza di piazzali in cui risultano presenti numerose sorgenti, alcune delle quali per ragioni intrinseche alla sorgente stessa, non possono essere efficacemente mitigate alla fonte e che in concomitanza di condizioni meteorologiche avverse possono emettere quantitativi significativi di polveri. Ad esempio impianti di frantumazione e vagliatura non confinabili, necessità di operare in cantiere attività di demolizioni, ....

I macchinari utilizzati per tali interventi sono noti come cannoni nebulizzatori, "fog cannon" o rotoconi ed operano la dispersione di acqua in gocce di dimensioni medio-grossolane utilizzando ugelli nebulizzatori ad acqua in pressione orientati su un getto d'aria prodotto da un ventilatore assiale.

La tipologia di attività che si svilupperà all'interno dell'area di cantiere consente di escludere, in prima battuta, l'impiego di tali macchinari. Il loro utilizzo potrà essere preso in considerazione qualora si verificassero significative alterazioni in termini di emissioni polverulenti non prevedibili in fase di progetto.

### **Pulizia delle strade**

L'obiettivo è quello di evitare il risollevarsi di materiale polverulento perduto dai sistemi di trasporto, trasportato dalla pioggia e dal vento che comminato per varie ragioni (mezzi di trasporto stessi) viene reso polverulento e disponibile alla aerodispersione.

In caso di piste o piazzali in superfici dure (calcestruzzo o asfalto) sono disponibili diversi sistemi di pulizia tra cui i principali sono:

- spazzolatori: efficienti in impianti industriali dove la polvere viene prodotta ogni giorno;
- aspiratori: utili in aree suscettibili a forte dilavamento perché sono più efficienti sulle frazioni fini;
- pulitori in serie: operano prima una sollecitazione meccanica poi la rimozione mediante aspirazione;
- pulitori ad aria rigenerata: soffiano aria sulle superfici contaminate ed immediatamente aspirano;
- a vortice: pulitore a secco assistito da sistemi in aspirazione capace di rimuovere polvere e detriti fino a 2.5 µm.

### **Lavaggio pneumatici**

Per prevenire che i veicoli a motore raccolgano e trasportino polvere, con i loro copertoni, esistono diverse tecniche possibili di pulizia degli stessi.

Le più semplici prevedono semplicemente una pozza in cui il veicolo è forzato a passare.

Le più sofisticate combinano pozze ed irroratori di acqua pulita e superfici di scorrimento adatte a sollecitare i copertoni e consentire l'apertura delle tracce. Questi sistemi solitamente prevedono recupero dell'acqua sporca e la successiva depurazione. L'acqua è addotta mediante irroratori in pressione per limitare i consumi di acqua ed energia e viene erogata solo quando un veicolo è prossimo al sistema.

I criteri in base a quali valutare l'impiego di sistemi più efficienti e costosi sono:

- segnalazione persistente di presenza di polvere trasportata dai mezzi sulle strade pubbliche prossime al cantiere;
- presenza in cantiere di materiali particolarmente "appiccicosi" (argilla);
- potenziale presenza nella polvere di sostanze pericolose;
- prossimità al cantiere di zone densamente abitate;
- elevata frequenza del transito di mezzi.

Analizzando le diverse tecniche e tecnologie possibili è possibile identificare 4 sistemi di lavaggio di cui si sintetizzano le principali caratteristiche:

- bacini a diluvio (Figura 4-6);
- canali in contro corrente (Figura 4-7);
- lavatori con irrorazione di acqua a bassa pressione (Figura 4-8);
- lavatori con irrorazione di acqua ad elevata pressione (Figura 4-9).

Sono i più semplici come progetto e consistono in un bacino poco profondo lungo a sufficienza per consentire almeno un giro di pneumatici completo.  
 Nella parte iniziale è collocata una zona equipaggiata con una serie di dossi o griglie per solleccitare i copertoni ed allargarne le tracce.  
 Per migliorarne le performance deve essere installato un sistema per alimentare il bacino con acqua pulita ed evacuare l'acqua sporca dal bacino per raccogliarla e trattarla.  
 Lunghezze tipiche: 7 ÷ 18 m

**Vantaggi**

Costi bassi  
 Nessuna necessità di ugelli  
 Operazione continua senza bisogno di automazioni  
 I camion non si bagnano

**Svantaggi**

Richiedono pulizia giornaliera  
 Non lavano i flap parafango e la parte sottostante del mezzo dove lo sporco può accumularsi  
 Richiedono ampie superfici: > 90 m<sup>2</sup>



*Figura 4-6: Bacini a diluvio*

Consistono in un tratto di strada dove sono ricavati due canali, uno per il copertone destro uno per quello sinistro, inclinati, poco profondi e lunghi.  
 L'acqua continua a fluire nel canale in controcorrente rispetto alla direzione del traffico. L'acqua sporca viene drenata ad un bacino di pompaggio dove viene raccolta per lo smaltimento od il trattamento.  
 I canali in controcorrente richiedono:  
 lunghezze 30 ÷ 100 m  
 superfici: 135 ÷ 410 m<sup>2</sup>  
 una zona equipaggiata con una serie di dossi per solleccitare i copertoni ed aprirne i battistrada.

**Vantaggi**

Costi bassi  
 Nessuna necessità di ugelli  
 Operazione continua senza bisogno di automazioni  
 I camion non si bagnano

**Svantaggi**

Richiedono pulizia giornaliera  
 Non lavano i flap parafango e la parte sottostante del mezzo dove lo sporco può accumularsi  
 Richiedono ampie superfici: > 135 m<sup>2</sup>



*Figura 4-7: Canali di lavaggio in controcorrente*

Sono progettati per la pulizia dei copertoni, dei parafranghi e della parte sottostante del mezzo con utilizzo di grandi quantità di acqua erogata a bassa pressione (>10 bar).

Il consumo di acqua viaggia nell'ordine dei 4000 ÷ 12000 dm<sup>3</sup>/mezzo in funzione della dimensione del mezzo e della durata del ciclo di spray.

Sono sistemi attrezzati con pompe in grado di utilizzare acqua sporca e, in ragione del consumo di acqua elevato, attingono da grossi bacini di alimentazione.

Un lavatore ad inondazione a bassa pressione tipicamente utilizza sistemi spray localizzati lateralmente ed in basso e può essere combinato ad un tratto di pavimentazione attrezzato con grate a risalti per sollecitare i battistrada. Operano ad intermittenza usando uno o più sensori per verificare l'ingresso e l'uscita del mezzo dalla zona di lavaggio. Questa è localizzata al di sopra di un bacino di pescaggio che indirizza l'acqua sporca in un bacino di alimentazione dove viene raccolta e trattata.

Vantaggi

Lava i pneumatici, i flap parafrango e la parte sottostante del mezzo  
 Richiedono piccole superfici: < 70 m<sup>2</sup> (escluso il bacino di alimentazione)

Svantaggi

Grande consumo di acqua: > 4.000 dm<sup>3</sup>  
 Gli ugelli possono intasarsi/uscarsi utilizzando acqua sporca  
 Richiedono sensori e controlli per operazioni automatizzate  
 Possono rimuovere olio lubrificante e grasso dalla parte sottostante del mezzo



*Figura 4-8: Lavatori inondanti a bassa pressione*

Utilizzano acqua erogata a pressioni superiori ai 10 bar per aumentare l'efficacia della pulizia e ridurre il consumo di acqua.

Il consumo di acqua viaggia nell'ordine dei 150 ÷ 400 dm<sup>3</sup>/mezzo in funzione della velocità del mezzo attraverso la zona di lavaggio.

Sono progettati per la pulizia dei copertoni e dei flap parafrango e solitamente non vengono utilizzati per pulire la parte sottostante il mezzo perché è stato constatato che l'utilizzo di sistemi spray orientati in modo da pulire questa parte inibisce la visibilità del conducente.

Una tipico sistema ad elevata pressione consiste:  
 in una pompa capace di operare nel range: 600 ÷ 800 dm<sup>3</sup>/minuto  
 in un serbatoio  
 due o più collettori verticali ad ugelli spray sufficientemente separati da consentire almeno una giro completo di copertone

Richiedono acqua più pulita perché l'effetto abrasivo dei solidi sospesi in essa eventualmente presenti conduce rapidamente ad usura della pompa e fuori servizio degli ugelli,

Vantaggi

Lava i pneumatici, i flap parafrango e la parte sottostante del mezzo  
 Richiedono piccole superfici: < 45 m<sup>2</sup>  
 Basso consumo di acqua

Svantaggi

Gli ugelli possono intasarsi o usarsi utilizzando acqua sporca  
 Richiedono sensori e controlli per operazioni automatizzate



*Figura 4-9: Lavatori a sistemi di pulizia ad elevata pressione*

Le attività oggetto di valutazione prevedranno un discreto flusso di veicoli in ingresso/uscita dall'area di cantiere per l'approvvigionamento dei materiali e la movimentazione delle terre. Ad oggi non sono definiti nel dettaglio i siti di destinazione/provenienza dei materiali e delle terre in ogni caso il transito avverrà lungo viabilità pubbliche, prevalentemente di carattere autostradale. Si ritiene per tanto opportuno prevedere l'installazione di un impianto di lavaggio pneumatici all'ingresso dell'area di cantiere. Rispetto alle tipologie precedentemente elencate la tipologia che appare maggiormente adatta è rappresentata da sistemi di pulizia ad elevata pressione.

#### **4.3.2. Trasporto di materiale**

Gli interventi di contenimento delle emissioni determinate dal trasporto di materiali con modalità discontinua (autocarri) sono sintetizzata nella Tabella 4-5.

*Tabella 4-5: Interventi necessari per il contenimento delle emissioni da trasporto di materiale*

<b>INTERVENTI PER IL CONTENIMENTO DELLE EMISSIONI DA TRASPORTO DI MATERIALE</b>	
Interventi primari	Scelta dei mezzi – protezione del carico
	Umidificazione del materiale

#### **Scelta dei mezzi – protezione del carico**

La conformazione dei mezzi deputati al trasporto del materiale può condizionare positivamente la possibilità di rilasci accidentali di polveri durante le fasi di trasporto.

Le attenzioni da porre in essere riguardano:

- preferire mezzi a carrozzeria con moduli arrotondati in modo da impedire l'accumulo di materiale;
- equipaggiare i camion con paratie idraulico/meccaniche;
- utilizzare in presenza di materiale particolarmente polverulento camion a tramoggia;
- assicurare la copertura dei carichi.

#### **Umidificazione del materiale**

Al fine di limitare la tendenza del materiale trasportato alla dispersione è necessario garantire che lo stesso presenti un adeguato grado di umidità.

### 4.3.3. Stoccaggio di materiale

Nella Tabella 4-6 si riportano gli interventi implementabili per il contenimento delle emissioni di polveri determinati dalle attività di stoccaggio dei materiali.

*Tabella 4-6: Interventi necessari per il contenimento delle emissioni da stoccaggio*

INTERVENTI PER IL CONTENIMENTO DELLE EMISSIONI DA STOCCAGGIO DI MATERIALI	
Interventi primari	Utilizzo di sistemi chiusi
	Umidificazione del materiale
	Scelta dell'ubicazione dei cumuli
	Modalità di realizzazione dei cumuli
	Impiego di sistemi di protezione del vento
	Interventi di bagnatura dei cumuli

#### Utilizzo di sistemi chiusi

Una soluzione ottimale per limitare al massimo le emissioni di polveri, in particolare quelle relative all'attività erosiva del vento, è la scelta di realizzare lo stoccaggio dei materiali in ambienti confinati. Tale opzione deve però essere attentamente valutata dal punto di vista economico e risulta poco efficiente in presenza di materiali che non presentano elevate tendenze alla dispersione e/o che devono essere movimentati con elevata frequenza.

Possibili sistemi di stoccaggio al chiuso dei materiali sono costituiti da:

- silos: contenitori cilindrici con una sezione di scarico conica;
- strutture tipo "hangar" con gru a ponte: strutture coperte ed equipaggiate con aperture di ventilazione ed illuminamento nei muri. Le aperture sono generalmente schermate contro il vento. Sono strutture versatili suddivisibili in celle a diverso volume e equipaggiabili per diversi utilizzi. La gru può essere guidata da un operatore o con controllo in remoto;
- strutture auto formanti: Il prodotto viene stoccato dall'alto sotto un telo impermeabile: il cumulo cresce sotto. Per evitare che il telo impermeabile sia sollevato viene creata una depressione sotto al telo usando aspiratori;
- cupole: per la loro costruzione sono utilizzate tecniche particolari quali cassaforme gonfiabili a forma circolare in cui viene spruzzato il cemento. Costruibili in poco tempo e con capacità di stoccaggio fino a 4000 tonnellate;
- bunker: costruzioni interatte accessibili solo da una apertura posta sul lato superiore, normalmente a piano campagna.

#### Scelta dell'ubicazione dei cumuli

Il presenza di cumuli all'aperto una significativa riduzione delle emissioni di polveri, soprattutto di quelle relative all'azione erosiva del vento, può essere ottenuta mediante un'attenta ubicazione degli stessi all'interno dell'area di cantiere.

I criteri che devono essere seguiti nella scelta del sito in cui realizzare il cumulo sono i seguenti:

- minimizzare gli spostamenti all'interno dell'area di cantiere;
- sfruttare la topografia del sito per realizzare mascherature rispetto alla direzione prevalente del vento;

- localizzare l'asse longitudinale del cumulo parallelo alla direzione del vento prevalente.

#### **Modalità realizzazione dei cumuli**

Un ulteriore fattore in grado di ridurre le emissioni di polveri è legato alla modalità con cui i cumuli vengono realizzati. In questo caso le attenzioni da porre in essere riguardano:

- per quanto possibile realizzare cumuli con altezze prossime al suolo, altezza limite: 11 metri;
- preferire la realizzazione di un solo cumulo a quella di differenti cumuli distanziati: con due cumuli di capacità totale pari a quella di un cumulo la superficie libera cresce del 26%;
- mantenere il più possibile profili dolci;
- se il cumulo è conico rispettare l'angolo ottimale di 55°;
- se il cumulo è troncoconico la proporzione ottimale tra il raggio della parte piana superiore rispetto alla lunghezza del tronco di cono è di 0.55;
- con riferimento alla superficie libera dei cumuli una sezione circolare è da preferirsi ad una anulare o longitudinale;
- lo stoccaggio con muri di ritenzione riduce la superficie libera portando ad una riduzione delle emissioni di polvere diffuso. La riduzione è massimizzata se il muro è collocato nella parte sopravento dello stoccaggio all'aperto;
- non costruire o riprendere i cumuli durante condizioni climatiche avverse (lunghi periodi secchi, o freddi alte velocità del vento);
- le operazioni di costituzione del cumulo e di recupero del materiale da un cumulo ed in generale l'area di lavoro legata ad un cumulo in costituzione devono essere condotte/ubicate sul lato sottovento del cumulo;
- minimizzare il traffico di veicoli sul cumulo ed intorno ad esso.

#### **Impiego di sistemi di protezione del vento**

Valgono le stesse indicazioni fornite per le piste ed i piazzali, con la sola attenzione che in questo caso il vento che deve essere schermato non è esclusivamente quello al suolo ma anche quello alla quota massima del cumulo.

#### **Interventi di bagnatura dei cumuli**

Anche per tale intervento possono considerarsi valide le indicazioni fornite per la bagnatura dei piazzali.

#### **4.3.4. Emissioni da macchine operatrici**

Gli interventi realizzabili per il contenimento delle emissioni di inquinanti da parte degli scarichi dei macchinari utilizzati sono sostanzialmente due: accurata scelta dei macchinari privilegiando quelli di recente costruzione (intervento primario) e, limitatamente alle polveri, impiego di Filtri antiparticolato – FAP (intervento secondario).

Si ritiene opportuno sottolineare che tali interventi (impiego di macchinari di recente omologazione, utilizzo dei FAP) rientrano tra quelli prescrivibili all'interno dei piani di risanamento della qualità dell'aria in base quanto indicato dal Decreto Legislativo 13 agosto 2010, n. 155 "Attuazione della direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa" (cfr. art. 11 comma h).

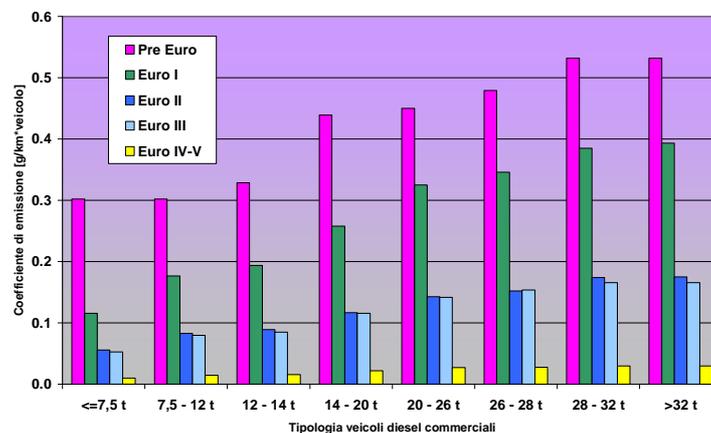
### Accurata scelta delle macchine

L'Unione Europea ha avviato da alcuni decenni una politica di riduzione delle emissioni di sostanze inquinanti da parte dei autoveicoli e, più in generale, di tutti i macchinari dotati di motori alimentati da combustibili. Tale politica si è concretizzata attraverso l'emanazione di direttive che impongono alle case costruttrici di autoveicoli emissioni di inquinanti via via più contenute.

Nelle Figura 4-10 ÷ Figura 4-12 si riportano i coefficienti di emissione forniti dal modello COPERT IV relativamente ai veicoli commerciali pesanti alimentati a diesel e circolanti ad una velocità di 50 Km/h.

Come si può osservare l'impiego di veicoli conformi alla direttiva Euro IV e V garantisce, relativamente al Pm10, una riduzione delle emissioni pari mediamente al 95% rispetto alle emissioni dei veicoli Pre Euro e superiori all'80% rispetto ai veicoli Euro III. Relativamente agli Ossidi di Azoto le riduzioni risultano pari tra veicoli PreEuro e Euro V risulta pari a circa 80%, mentre il confronto tra Euro IV e Euro V evidenzia una diminuzione delle emissioni superiore al 40%. Molto significative risultano anche le riduzioni dei NMVOC che, confrontando veicoli PreEuro e Euro V, risultano superiori al 98%.

Analogamente, per i veicoli OFF ROAD, le direttive 97/68/EC e 2004/26/EC, prescrivono una riduzione delle emissioni in tre "stage", la stage III risulta obbligatorio, in funzione della potenza dei macchinari, per mezzi omologati tra il 1/07/05 e il 1/01/07 (Figura 4-13 ÷ Figura 4-15). Anche in questo caso, considerando macchinari di potenza intermedia (75-560 kW), intervallo in cui ricadono buona parte delle macchine tipiche da cantiere, si assiste ad una riduzione delle emissioni molto significativa, (-80% confrontando Stage III e macchine senza specifica omologazione: Pm10 - 80%, NOx = -76%, NMVOC= -60/-70%).



*Figura 4-10: Coefficienti di emissione Pm10 veicoli diesel commerciali pesanti (Copert IV)*

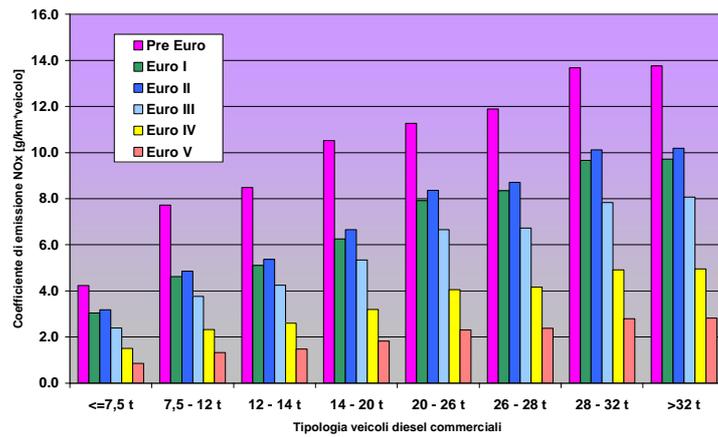


Figura 4-11: Coefficienti di emissione NOx veicoli diesel commerciali pesanti (Copert IV)

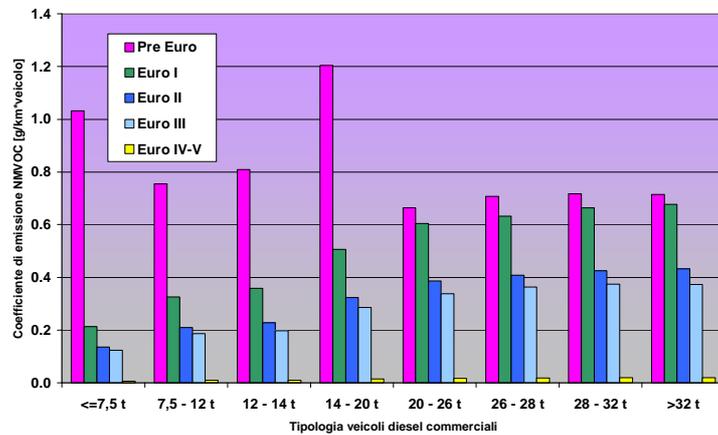


Figura 4-12: Coefficienti di emissione NMVOC veicoli diesel commerciali pesanti (Copert IV)

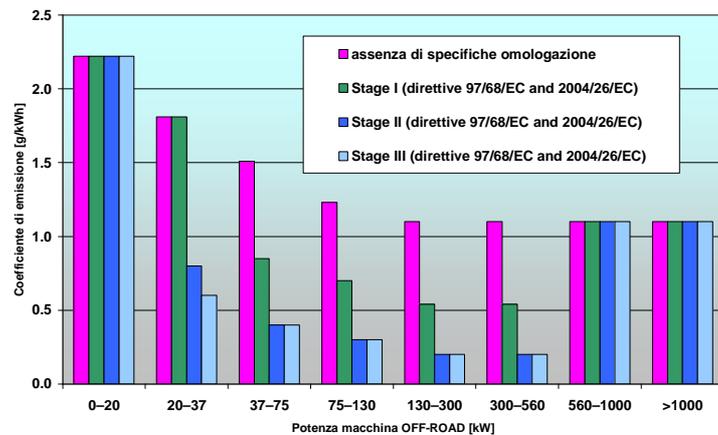


Figura 4-13: Coefficienti di emissione Pm10 veicoli OFF-ROAD (fonte EMEP/EEA)

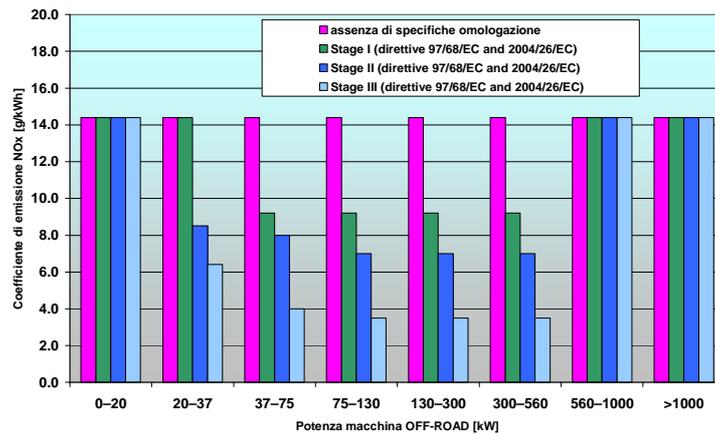


Figura 4-14: Coefficienti di emissione NOx veicoli OFF-ROAD (fonte EMEP/EEA)

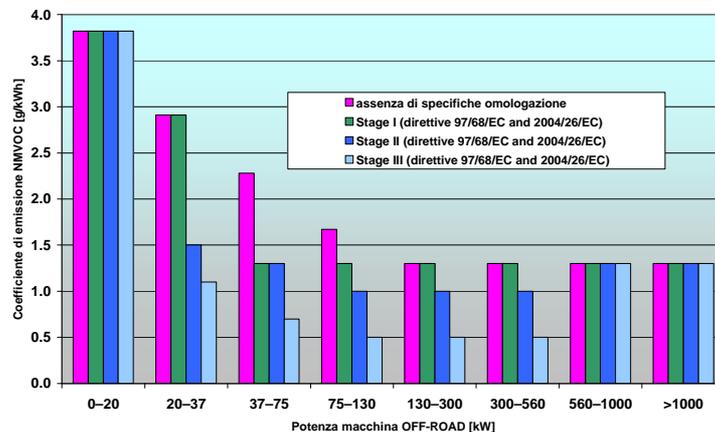


Figura 4-15: Coefficienti di emissione NMVOC veicoli OFF-ROAD (fonte EMEP/EEA)

### Filtri anti particolato

In presenza di macchinari non conformi alle più recenti direttive europee in materia di emissioni una possibile soluzione alle emissioni di polveri inalabili/respirabili è rappresentata dall'installazione di filtri allo scarico in grado di separare, con mezzi meccanici, la fase solida finemente dispersa nei gas di scarico. Nel corso degli ultimi anni tali dispositivi hanno raggiunto un buon livello di efficienza e di affidabilità, soprattutto grazie al fatto che sono state individuate adeguate soluzioni tecnologiche in grado di rigenerare il dispositivo filtrante quando la quantità di fuliggine accumulata sulla sua superficie raggiunge un livello tale che rischierebbe di compromettere la buona funzionalità del motore.

I veicoli più recenti (Direttive Euro IV/V per i veicoli diesel pesanti) risultano normalmente equipaggiati da tali dispositivi, ma esistono dei sistemi di filtrazione che possono essere installati come retrofit sugli autoveicoli già in circolazione, soluzione che risulta particolarmente indicata in presenza di macchinari di cantieri di non recentissima fabbricazione.

I FAP possono essere classificati in due categorie in base al sistema di filtrazione prescelto: sistemi a flusso a parete, sistemi a flusso parzialmente libero. In entrambi i casi il filtro è costituito da 4 elementi fondamentali:

- il substrato: il corpo filtrante vero e proprio che trattiene il particolato, è costituito da un materiale in grado di resistere a notevoli sbalzi termici e con una elevata porosità, i materiali normalmente utilizzati sono quelli di tipo ceramico e costituiti da metalli sintetizzati;
- l'involucro: in esso è alloggiato il substrato che deve essere isolato termicamente, fonoassorbente e antivibrante;
- il sistema di controllo e gestione della rigenerazione: provvede a modificare la regolazione (portata) e la fasatura (anticipo) di iniezione del motore con lo scopo di innalzare rapidamente e per breve tempo la temperatura dei gas di scarico o attivare particolari dispositivi (fili caldi, bruciatori, ...) per la combustione della fuliggine accumulata;
- il sistema elettronico di diagnostica a bordo (OBD): posizionato nella cabina dell'autoveicolo consente di segnalare all'autista eventuali problemi al sistema di filtrazione o la necessità di interventi di manutenzione.

Particolarmente delicata risulta essere la fase di rigenerazione del filtro che in linea generale risulta costituita da un processo di combustione (ossidazione) della patina di fuliggine che si è formata sul substrato. La rigenerazione risulta necessaria nel momento in cui la contropressione che si genera allo scarico a causa del materiale depositato risultano non più compatibile col funzionamento normale del motore.

La rigenerazione del filtro può essere "attiva" o "passiva". Nel primo caso, "attiva", quando viene segnalata la necessità di rigenerazione questa viene attuata attraverso la fornitura diretta di energia termica o la modifica dei parametri di iniezione del combustibile con o senza l'ausilio di sostanze ad azione ossidante e/o catalizzante. La seconda tipologia agisce direttamente sulla combustione spontanea della fuliggine attraverso l'uso di catalizzatori ossidanti.

In commercio esistono molte tipologie di filtri anti particolato, la delicatezza dei processi che in esso si svolgono richiede che venga effettuata una scelta particolarmente attenta al fine di evitare che i filtri risultino poco efficaci o, peggio, che generino semplicemente una riduzione delle dimensioni del particolato emesso.

Una garanzia sulla qualità dei filtri utilizzati può essere fornita dalla certificazione VERT, emessa dalle Agenzie per l'Ambiente svizzera (BUWAL – Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft) e tedesca (UBA - Deutsches Umweltbundesamt), a valle di una serie di prove che verifica l'efficienza del sistema, appena installato e dopo un certo numero di ore di funzionamento. Nella Tabella 4-7 si riportano le caratteristiche prestazionali che devono essere garantite dai FAP certificati VERT.

*Tabella 4-7: Specifiche VERT dei Filtri Antiparticolato*

PARAMETRO	nuovo	dopo 2000 h
<b>Efficienza di filtrazione</b> (conteggio di particelle nel campo di dimensioni medie 20 –300 nm)	> 95 %	> 95 %
<b>Efficienza di filtrazione</b> (emissione in massa)	> 90 %	> 85 %
<b>Opacità</b> in accelerazione libera	< 0,12 m <sup>-1</sup>	< 0,12 m <sup>-1</sup>
<b>Emissioni regolamentate</b> (CO, HC, NOx e particolato)	nessuno incremento	
<b>Emissione di inquinanti secondari</b>	nessuna	
<b>Opacità limite</b> in verifiche di campo	> 0,24 m <sup>-1</sup>	
<b>Perdite di carico</b>	max 200 mbar	
<b>Monitoraggio in esercizio su strada</b>	con sistemi di allarme e funzioni di rilevazione	
<b>Attenuazione del rumore</b>	paragonabile a quello del silenziatore di serie	
<b>Durata</b>	> 5000 h	
<b>Identificazione unica</b>	direzione del flusso indicata	
<b>Sicurezza</b>	in accordo con la legislazione svizzera STEG	
<b>Accesso per il campionamento</b> dei gas di scarico	a monte e a valle del filtro	
<b>Procedura per la rimozione delle ceneri</b>	definita e nota	