



**RELAZIONE SULLA QUALITÀ DELL'ARIA DEL COMPENSORIO
DI CIVITAVECCHIA. ANNO 2016.**

Autori: E. Specchia; I. Allegrini; A. D'Ausilio; C. Silibello; C. Pozzi

SOMMARIO

1	Premessa	2
1.1	L'impianto ENEL di Civitavecchia	3
1.2	Altri comparti emissivi	5
2	Analisi meteorologica dell'area	7
2.1	Analisi delle misure effettuate presso la Centrale ENEL TVN	7
3	Limiti e standard di qualità dell'aria.....	9
4	Rete di monitoraggio della qualità dell'aria	11
4.1	Metodi di misura	14
5	Misure di concentrazione e verifica degli standard.....	16
5.1	Particolato PM10.....	17
5.1.1	Sintesi dei dati	17
5.1.2	Andamento temporale	18
5.2	Particolato PM _{2,5}	19
5.2.1	Sintesi dei dati	19
5.3	Biossido di azoto.....	21
5.3.1	Sintesi dei dati	21
5.3.2	Andamento temporale del biossido di azoto	21
5.3.3	Rose di concentrazione di NO ₂	22
5.4	Ozono	26
5.4.1	Sintesi dei dati	26
5.4.2	Protezione della vegetazione (AOT40)	28
5.5	Biossido di zolfo.....	29
5.5.1	Sintesi dei dati	29
5.5.2	Andamento temporale del biossido di zolfo	29
6	Conclusioni	31
7	Appendice.....	32
A.	Campagna sperimentale meteorologica.....	33
a)	Analisi anemologica.....	33
b)	La struttura verticale dell'atmosfera.....	35
B.	PM10: riferimento a studi di Source apportionment	37
C.	Ozono	39

1 Premessa

Nel presente rapporto sono riportati i risultati di uno studio della qualità dell'aria, relativo all'anno 2016, sull'area di Civitavecchia e in particolare nel territorio dei Comuni facenti parte del Consorzio per la gestione dell'osservatorio ambientale.

I risultati e le valutazioni in esso contenuto sono basati sui dati disponibili della rete di monitoraggio elaborati da ARIANET. Inoltre, il rapporto si basa anche sui dati di emissione della Centrale e dei dati meteo misurati dalla Centrale stessa a due quote differenti. La rete di rilevamento degli inquinanti è molto rappresentativa ed i suoi dati sono conformi a quanto previsto dalla legislazione vigente sia in termini di copertura territoriale che di qualità. I dati relative alle stazioni di misura ex Osservatorio Ambientale, gestite dal 2016 da ARPA Lazio, sono tuttavia disponibili a partire dal mese di maggio 2016 ed hanno pertanto una percentuale di dati raccolti inferiore al valore minimo richiesto dalla normativa vigente sulla qualità dell'aria pari al 90%. Le stazioni facenti parte della rete ARPA hanno una percentuale di dati disponibili generalmente superiore al 90%. Nel presente studio sono stati considerati i seguenti inquinanti di interesse per l'analisi del possibile contributo della Centrale: particolato atmosferico (PM₁₀ e PM_{2.5}), NO₂, O₃ e SO₂.

Studi precedenti volti ad individuare il contributo della Centrale ENEL TVN ai livelli di PM₁₀, si veda Appendice B, hanno mostrato che la Centrale contribuisce in misura minima a tali livelli nell'area (approssimativamente 1-2 %). Tali risultati sono stati confermati dalle campagne di bi-monitoraggio effettuate nell'area.

I dati mostrano qualche criticità relativa essenzialmente ad inquinanti secondari come l'ozono ed il biossido di azoto relativamente al confronto delle concentrazioni con i limiti e le linee guida accettate a livello comunitario e nazionale. Le concentrazioni di questi inquinanti sono comunque disgiunte dalle emissioni della centrale e sono principalmente causate dalle emissioni a livello del suolo da traffico, riscaldamento, trasporti navali ed altre attività che insistono nell'area.

Per quanto riguarda gli altri inquinanti, si possono confermare dati in sicurezza per quanto riguarda il loro impatto ambientale. Per quanto riguarda infine il benzo(a)pirene e i metalli pesanti non sono disponibili dati ottenuti con metodi strumentali automatici, in quanto necessitano di campionamento manuale e successiva analisi strumentale; alla luce dei dati rilevati per gli inquinanti rilevati nell'area, il loro impatto è molto verosimilmente limitato.

Nel dettaglio, la seguente tabella mostra la sintesi circa la presenza degli inquinanti e le concentrazioni rilevate nell'annualità.

Tabella 1. Sintesi della qualità dell'aria per inquinante

Ozono	L'ozono è misurato in sei stazioni e presenta concentrazioni medie annuali comprese tra 61 e 88 µg/m ³ . Il valore obiettivo di 120 µg/m ³ viene superato solo nella stazione di Allumiere – Via Faggeto per 54 volte. In tale stazione è stato superato anche il valore obiettivo per il parametro AOT40 relativo alla vegetazione ed alle culture. L'inquinamento da ozono è causato da precursori, sia di origine naturale (es. VOC emessi dalla vegetazione) sia di origine antropogenica, emessi a livello del suolo e quindi trasportati negli strati più alti della troposfera a seguito di moti convettivi e, quindi trasferiti a terra per fumigazione verticale da turbolenza.
PM₁₀	Il PM ₁₀ è misurato in tredici stazioni di cui nove facenti parte della rete ex Osservatorio Ambientale. Restrungendo l'analisi alle stazioni ARPA è possibile affermare che al di fuori dell'area urbana di Civitavecchia (Stazione Allumiere – via del Faggeto) le concentrazioni medie annue sono inferiori (11.2 µg/m ³) rispetto a quelle riscontrate all'interno dell'area urbana di Civitavecchia che presenta valori compresi tra 20.5 e 23.9 µg/m ³ . Tali livelli sono inferiori al limite previsto dalla legislazione (40 µg/m ³). Anche il limite relativo al numero massimo di superamenti della soglia di 50 µg/m ³ per la media giornaliera (35) è stato ampiamente rispettato (numero massimo di superamenti pari a quattro).
PM_{2.5}	Il PM _{2.5} è misurato in tre stazioni facenti parte della rete ex Osservatorio Ambientale e quindi la copertura dei dati delle misurazioni non è sufficiente per

	<p>poter produrre una valutazione della qualità dell'aria relativamente a tale inquinante. Le concentrazioni medie annuali misurate (percentuale di dati raccolti compresa tra il 47.5 ed il 60.7%) risultano comprese tra 8.8 e 9.8 ed è quindi ragionevole ipotizzare che per questo inquinante non sia stato superato il valore limite previsto dalla legislazione, pari a 25 µg/m³. Il rapporto PM_{2.5}/PM₁₀ misurato in queste tre stazioni è compreso tra il 48.4 ed il 57.8 %, congruente con altri siti, con valori più elevati per la stazione di Allumiere – via Aldo Moro</p>
NO ₂	<p>È l'inquinante maggiormente valutato dalla rete di rilevamento in ben sedici stazioni di cui dieci facenti parte della rete ex Osservatorio Ambientale. Restringendo l'analisi alle stazioni ARPA è possibile affermare che al di fuori dell'area urbana di Civitavecchia (Stazione Allumiere – via del Faggeto) le concentrazioni medie annue sono inferiori rispetto a quelle riscontrate all'interno dell'area urbana di Civitavecchia che presenta valori compresi tra 22.1 e 40.5 µg/m³. Quest'ultimo valore, registrato nella stazione urbana di via Roma supera, seppur di poco, il valore limite stabilito dal dlgs. 155 posto a 40 µg/m³. Ciò è in linea con la natura di questo inquinante che è prodotto da una grande variabilità di sorgenti di NO a livello del suolo, traffico veicolare in particolare, che insieme contribuiscono alla formazione di NO₂. Il secondo limite che si riferisce alla media oraria è stato superato solo una volta nella stazione Faro localizzata a ridosso dell'area urbana di Civitavecchia. Questo inquinante è anche modulato sia dalla situazione meteorologica locale che dalle emissioni che determinano un aumento delle concentrazioni nelle ore del mattino e nel tardo pomeriggio, in opposizione alle concentrazioni di ozono</p>
SO ₂	<p>I dati di biossido di zolfo si riferiscono a otto stazioni di campionamento di cui solo due hanno una disponibilità di dati superiore al valore minimo. In tali stazioni le concentrazioni medie annuali mostrano valori molto bassi pari rispettivamente a 0.9 e 1.1 µg/m³. Le stazioni non hanno mai segnalato superamenti dei due standard previsti dalla legge (125 e 350 µg/m³). L'analisi di correlazione tra i rapporti NOX/SO₂ misurati nelle diverse centraline ed il corrispondente rapporto delle emissioni NOX/SOX dai 3 gruppi di produzione della Centrale non evidenzia relazioni tra le emissioni della Centrale ed i livelli di SO₂ rilevati dalla rete osservativa.</p>

1.1 L'impianto ENEL di Civitavecchia

La Centrale ENEL Torrevaldaliga Nord (di seguito TVN) è sita in località Torrevaldaliga, nel Comune di Civitavecchia (Roma), a circa 6 km in direzione NNW, rispetto al centro della città, a ridosso della costa. L'impianto occupa un'area di circa 600.000 m² ed ha una capacità totale di quasi 2000 MW distribuita su tre gruppi alimentati a polverino di carbone. Secondo il Decreto Ministeriale 114 del 2013, nel quale è stata rinnovata l'Autorizzazione Integrata Ambientale (AIA), la Centrale è autorizzata a bruciare 4,5 Mt di carbone ogni anno e 150 MSm³ di gas naturale. L'impianto include i sistemi di abbattimento degli inquinanti atmosferici quali denitrificatori, desolforatori e filtri a manica per il particolato. Le emissioni dallo stoccaggio del carbone sono limitate da cupole che coprono i due carbonili. Gli inquinanti sono espulsi in atmosfera attraverso una ciminiera di 250m in altezza composta da tre canne provenienti dai tre gruppi di produzione. Le canne hanno un diametro di 5,7 m per una portata massima complessiva (fumi tal quale) di 6.300.000 Nm³/h ed una temperatura di uscita di 130-140 °C. L'altezza fisica del camino, aggiunta alla spinta entalpica dei fumi, porta le sostanze emesse ad altezze ben superiori ai 250 m (altezza fisica del camino).

Le altre fonti di inquinamento presenti nell'impianto sono caratterizzate da emissioni al suolo che contribuiscono, in misura differenziata, ai livelli di qualità dell'aria. Tra queste fonti, ricordiamo la movimentazione di materiali e mezzi al servizio della Centrale che contribuisce all'emissione di inquinanti (principalmente polveri).

L'energia immessa in rete dalla centrale è di circa 12 milioni di MWh dalle tre unità termoelettriche da 660MW ciascuna. Il consumo di combustibile riguarda circa 4Mt di carbone e circa 100 Mm³ di gas naturale che determinano l'emissione di inquinanti in atmosfera. Le emissioni degli inquinanti

sono rilevate in continuo dalle apparecchiature dedicate di misura e, saltuariamente, mediante campagne di monitoraggio con prelevamento manuale dei fumi. Sia le misure automatiche che quelle manuali si riferiscono agli standard correnti. La tabella seguente mostra i limiti di emissione stabiliti dal suddetto DM 114/ 2013, che fissa i limiti di emissione per gli inquinanti atmosferici sia in termini di concentrazione, che di flusso di massa. La tabella contiene anche le concentrazioni prescritte per i microinquinanti.

La successiva Tabella 3 indica le emissioni totali analizzate a partire dai dati forniti dai sistemi di monitoraggio in continuo dei tre gruppi di produzione dell'impianto. Dall'esame di tale tabella si può osservare che, per gli inquinanti considerati, non sono stati superati i limiti alle emissioni di cui al DM 114/2013 grazie all'adozione di tecniche correnti di depurazione dei fumi ovvero filtri, desolforatori e De-NOx (riportati in Tabella 4). L'energia immessa in rete nel 2016 è stata pari a 11446 GWh.

Tabella 2. Limiti di emissione secondo il Decreto Ministeriale 114/2013

INQUINANTE/MICRO INQUINANTE	VALORI LIMITE		
	Conc. Media Oraria ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)	Conc. Media Giorno ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)	Flusso Massa (t/anno)
Polveri totali	10	8	160
Biossido di zolfo	100	80	2100
Ossidi di azoto	100	80	3450
Ammoniaca	5	4	195
Monossido di carbonio	-	120	2000
Mercurio*	0,05	-	-
Cadmio-Tallio (Σ Cd+Tl)*	0,05	-	-
Arsenico-Antimonio-Piombo-Cromo-Cobalto-Rame-Manganese-Nichel-Vanadio-Stagno (ΣAs+Sb+Pb+Cr+Co+Cu+Mn+Ni+V+Sn)*	0,5	-	-
Idrocarburi Policiclici Aromatici (ΣIPA)*	0,01	-	-
PCDD-PCDF (Σ PCDD+PCDF)*	0,1**	-	-
Composti del Cloro (come HCl)*	10	-	-
Composti del Fluoro (come HF)*	5	-	-

*I limiti sono valori medi rilevati per un periodo di campionamento discontinuo

**(ng/Nm^3 I-TEQ)

Tabella 3. Emissioni della Centrale ENEL TVN nell'anno 2016 (Fonte ENEL).

INQUINANTE	EMISSIONE (t/anno)
Biossido di Zolfo	2.086
Ossidi di Azoto	2.715
Polveri totali	121
Monossido di Carbonio	1.866
Ammoniaca	1,5
Biossido di Carbonio	1.018.1950

Tabella 4. Sistemi di abbattimento degli inquinanti disponibili

Inquinante	Sistema di abbattimento	Principio chimico-fisico
------------	-------------------------	--------------------------

Polveri	Filtri a manica	Le particelle sono filtrate mediante impianti che utilizzano filtri a manica periodicamente rigenerati
Biossido di Zolfo	DeSOx	I fumi reagiscono con calcare ed ossigeno per formare solfato di calcio quindi gesso
Ossidi di Azoto	DeNOx	Gli ossidi di azoto sono rimossi per reazioni catalitiche che li trasformano in azoto. Una prima riduzione è ottenuta con bruciatori LowNOx
Monossido di carbonio		Ottimizzazione del processo di combustione mediante controllo dei parametri.

Al fine di provvedere sia alla salvaguardia dell'ambiente sia al rispetto dei limiti di cui sopra, l'esercizio della Centrale prevede diverse prescrizioni che possono essere riassunte come segue:

- Attivazione e mantenimento di un sistema di monitoraggio alle emissioni (SME)
- Rilevamenti periodici alle emissioni per i microinquinanti
- Campagne di monitoraggio di microinquinanti in atmosfera ambientale
- Monitoraggio delle polveri diffuse (a livello del suolo)
- Campagne di biomonitoraggio.

L'ottemperanza a queste prescrizioni da parte della Centrale ENEL TVN è stata sempre totale ed è avvenuta con il controllo di ISPRA e ARPA Lazio.

1.2 Altri comparti emissivi

L'area circostante la Centrale, per un raggio di diversi chilometri, è pianeggiante ed è interessata dalle emissioni civili del Comune di Civitavecchia e dei comuni limitrofi (Santa Marinella, Monte Romano, Tolfa, Tarquinia, Allumiere). La popolazione di tali comuni è pari a circa 98 000 abitanti (Tabella 5).

Tabella 5. Popolazione residente comunale nel 2016 (fonte ISTAT)

Comune	Prov.	Abitanti
Civitavecchia	Roma	52 224
Allumiere	Roma	4 019
Tolfa	Roma	5 121
Santa Marinella	Roma	18 233
Tarquinia	VT	16 447
Monte Romano	VT	2 065
Popolazione totale		98 109

Civitavecchia ospita un porto che si è sviluppato verso le grandi navi di crociera, stante la sua vicinanza a Roma ed all'area archeologica etrusca di Tarquinia. Il porto ha movimentato 9.5 milioni di tonnellate di merci nel 2016 (fonte ISTAT) ed è un importante porto crocieristico del Mediterraneo con oltre 2 milioni di passeggeri nello stesso anno. Inoltre, l'area di Civitavecchia è interessata dalla strada statale SS1 (Aurelia) proveniente dalla Genova-Livorno che, verso Roma, si allaccia all'autostrada A12. La SS1 e la A12 costituiscono un percorso molto frequentato per il traffico proveniente da Nord. Nei periodi estivi il traffico veicolare aumenta notevolmente a causa di veicoli che raggiungono i siti turistico-balneari costieri e per gli imbarchi sui traghetti per raggiungere le grandi isole. Il traffico leggero è quindi più elevato nei mesi estivi. Nell'area insistono anche altre attività industriali ed artigianali che contribuiscono all'emissione di inquinanti atmosferici. L'area circostante la Centrale ha inoltre una vocazione agricola che contribuisce ulteriormente all'emissione di inquinanti.

La conoscenza delle fonti e delle loro emissioni è dunque di fondamentale importanza sia per la valutazione della qualità dell'aria sia per l'individuazione delle politiche più adeguate di risanamento ambientale.

2 Analisi meteorologica dell'area

Le caratteristiche meteorologiche dell'area interessata dalle emissioni della Centrale ENEL sono ben note, essendo state ampiamente studiate in occasione della pianificazione della Centrale e della valutazione del suo impatto ambientale. In questo rapporto, si mettono in evidenza le principali caratteristiche che contribuiscono, direttamente o indirettamente, alle ricadute al suolo degli inquinanti ed i relativi livelli di concentrazione. Queste informazioni sono molto utili per la previsione delle aree di ricaduta delle emissioni mediante l'applicazione di modelli di simulazione nei quali i parametri meteorologici giocano un ruolo fondamentale. In Appendice A vengono descritti i risultati di un'indagine realizzata dal Consorzio e CNR ISAC iniziata nel maggio 2015 e che, dopo alcune interruzioni, è proseguita dal novembre 2015 all'agosto 2016 presso la Riserva delle Saline di Tarquinia, situata sulla costa tirrenica e distante circa 10 km dalla Centrale. In questo sito, il CNR ha mantenuto operativo un sistema di monitoraggio di parametri meteorologici molto avanzato mediante il quale sono stati rilevati in continuo i parametri meteo e micrometeorologici che forniscono informazioni importanti relative allo sviluppo temporale e spaziale della circolazione di brezza nella zona di confine tra il mare e la superficie terrestre. Nel paragrafo seguente viene presentata l'analisi delle misure meteorologiche effettuate presso la Centrale nel corso del 2016.

2.1 Analisi delle misure effettuate presso la Centrale ENEL TVN

Presso la Centrale ENEL sono installati strumenti per la misura di parametri meteorologici, fondamentali nella determinazione della dispersione dei pennacchi emessi dalle varie sorgenti al suo interno. La Figura 1 mostra la rosa dei venti annuale rappresentativa dei dati misurati a un'altezza di 10 m per l'anno 2016. I dati confermano proprio le caratteristiche anemologiche tipiche dell'area di Civitavecchia, con venti prevalenti da NE derivanti dalle brezze di terra e da S derivanti da una componente sinottica. Per i venti provenienti dai quadranti occidentali, il contributo è quello della brezza di mare.

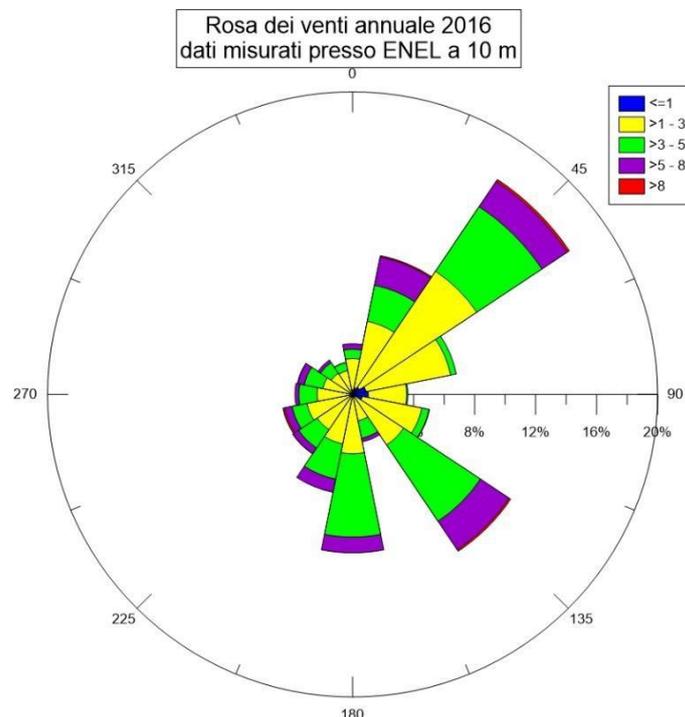


Figura 1. Rosa dei venti annuale rappresentativa dei dati misurati presso la ENEL Centrale ENEL TVN a un'altezza di 10 m per l'anno 2016

Le rose dei venti relative alle ore diurne e notturne (Figura 2) evidenziano una marcata prevalenza dei venti provenienti da NE durante le ore notturne. Questo fenomeno dipende dalla tipica

circolazione della brezza di monte, caratterizzata da masse d'aria più fredde che scendono lungo i pendii durante la notte. Durante il giorno, invece, si registra un aumento della componente di vento proveniente da W, legata alla brezza di mare, col vento che soffia dal mare verso la terra.

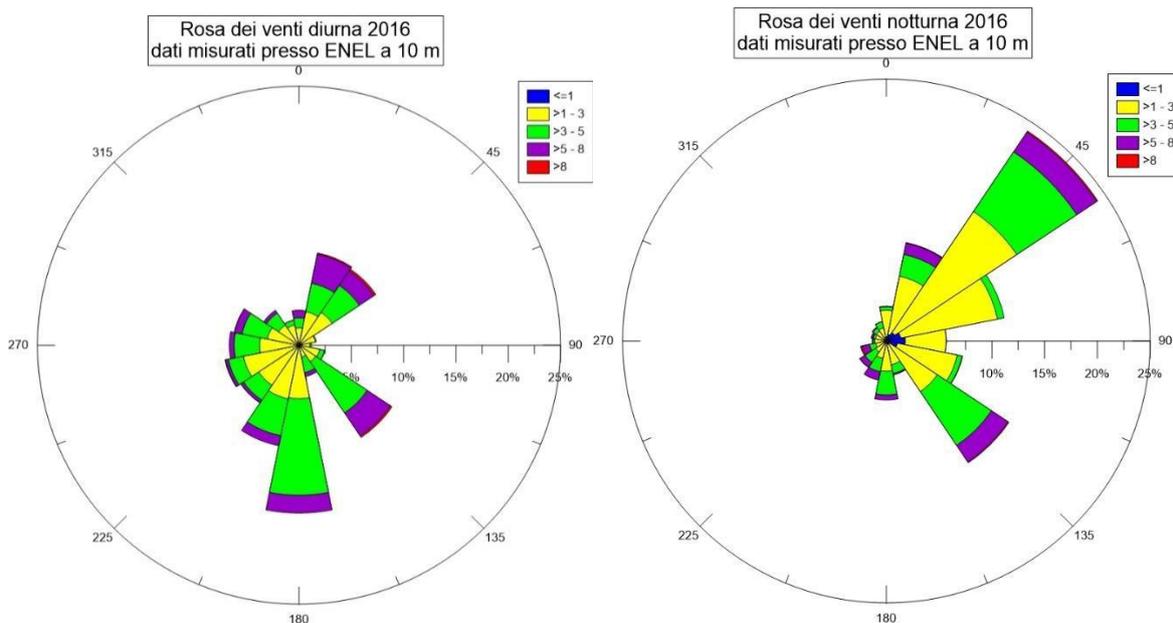


Figura 2. Rosa dei venti diurna (a sinistra) e notturna (a destra) rappresentative dei dati misurati presso la Centrale ENEL TVN a un'altezza di 10 m per l'anno 2016

La Figura 3 fornisce infine una rappresentazione dei dati misurati a una quota di 120 m per l'intero anno 2016. Quello che si nota è che su base annuale le direzioni di provenienza non subiscono variazioni significative rispetto a quelle al suolo. Tuttavia, si registra un incremento nella velocità del vento, che passa da una media annuale di circa 3 m/s a 10 m di altezza a una media annuale di circa 6 m/s a 120 m.

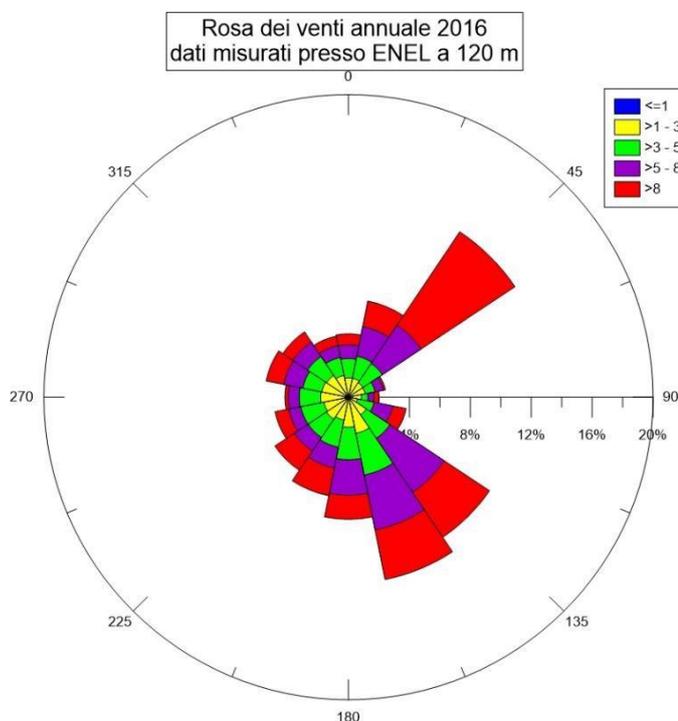


Figura 3. Rosa dei venti annuale rappresentativa dei dati misurati presso la Centrale ENEL TVN a un'altezza di 120 m per l'anno 2016

3 Limiti e standard di qualità dell'aria

Al fine di valutare nel dettaglio il possibile impatto ambientale delle sorgenti di inquinamento atmosferico, è necessario riferirsi ai valori limite ed ai valori guida previsti dalla legislazione vigente. Attualmente, la materia è regolata dal Dlgs 155/2010 che recepisce la Direttiva 2008/50/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 21 maggio 2008, relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa. La Direttiva, all'allegato IX, riporta i valori limite per la protezione della salute umana da adottarsi in tutto il territorio dell'Unione che sono stati quindi recepiti dal Decreto Ministeriale 155/2010 (Tabella 6). Tali limiti sono stati sviluppati tenendo conto dei risultati di indagini effettuate dall'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS), e della possibilità tecnica di raggiungere tali limiti nel territorio dell'unione.

La Direttiva ha contribuito in modo notevole a migliorare la qualità dell'aria, in particolare nelle aree urbane ed industriali; ed anche nelle località nelle quali le caratteristiche della situazione meteorologica favorisce l'accumulo degli inquinanti nei bassi strati dell'atmosfera e quindi favorisce l'aumento delle concentrazioni riscontrate dai dispositivi di misura. Dalla data di pubblicazione della Direttiva, si è avuto tuttavia un notevole sviluppo della conoscenza dell'impatto degli inquinanti sulla salute. Da vari studi è, infatti, emerso che le concentrazioni al di sotto delle quali non si osservano effetti misurabili sulla salute, non sono coerenti con alcuni limiti tuttora in vigore.

Il decreto 155/2010 stabilisce inoltre che le stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria devono garantire una disponibilità minima dei dati pari al 90% su base annua. In altre parole, le stazioni di monitoraggio devono essere operative e fornire dati utili almeno 90% del tempo durante l'anno. Questo requisito è essenziale per assicurare che i dati sulla qualità dell'aria siano completi e rappresentativi, permettendo una corretta valutazione della situazione ambientale e la gestione delle politiche pubbliche relative alla protezione della salute e salvaguardia dell'ambiente.

I valori d'inquinamento atmosferico riscontrati nell'area d'interesse sono stati confrontati con i valori limite introdotti dal Dlgs 155/2010 relativamente ai seguenti inquinanti: PM₁₀, PM_{2.5}, NO₂, O₃ e SO₂.

Tabella 6. Valori limite secondo il Dlgs 155 /2010

Inquinante	Limite	Periodo di mediazione	Limite	Superamenti in un anno
PM ₁₀ (µg/m ³)	Valore limite sulle 24 ore per la protezione della salute umana	Media giornaliera	50 µg/m ³	massimo 35
	Valore limite annuale per la protezione della salute umana	anno civile	40 µg/m ³	
PM _{2.5} (µg/m ³)	Valore limite annuale per la protezione della salute umana	anno civile	25 µg/m ³	
NO ₂ (µg/m ³)	Valore limite orario per la protezione della salute umana	Media massima oraria	200 µg/m ³	massimo 18
	Valore limite annuale per la protezione della salute umana	anno civile	40 µg/m ³	
O ₃ (µg/m ³)	Soglia d'informazione	Media massima oraria	180 µg/m ³	
	Soglia d'allarme	Media massima oraria	240 µg/m ³	
	Valore obiettivo	Media massima giornaliera calcolata su 8 ore	120 µg/m ³	≤ 25 volte/anno come media su 3 anni
	Valore obiettivo per la protezione della vegetazione	AOT40, calcolato sulla base dei valori di 1 ora da maggio a luglio	18000 µg/m ³ come media su 5 anni	
CO (mg/m ³)	Valore limite orario per la protezione della salute umana	Media massima giornaliera calcolata su 8 ore	10 mg/m ³	
SO ₂ (µg/m ³)	Valore limite giornaliero	Media giornaliera	125 µg/m ³	massimo 3
	Valore limite su 1 ora per la protezione della salute umana	Media massima oraria	350 µg/m ³	massimo 24

Benzene ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Valore limite su base annua	anno civile	$5 \mu\text{g}/\text{m}^3$	
Benzo(a)pirene (ng/m^3)	Concentrazione presente nella frazione PM10 del materiale particolato, calcolato come media su un anno civile	anno civile	$1 \text{ ng}/\text{m}^3$	
Metalli pesanti (ng/m^3)	Arsenico	anno civile	$6 \text{ ng}/\text{m}^3$	
	Cadmio	anno civile	$5 \text{ ng}/\text{m}^3$	
	Nichel	anno civile	$20 \text{ ng}/\text{m}^3$	
	Piombo	anno civile	$0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$	

4 Rete di monitoraggio della qualità dell'aria

La rete di rilevamento della qualità dell'aria costituisce uno strumento essenziale per la valutazione dell'impatto determinato dalle emissioni in atmosfera delle sorgenti che insistono nell'area e per la verifica del rispetto dei limiti stabiliti dalla legislazione. La rete di monitoraggio della qualità dell'aria della Regione Lazio è costituita da 55 stazioni di monitoraggio di cui 46 incluse nel Programma di Valutazione della qualità dell'aria regionale approvato con D.G.R. n. 478 del 2016. Le centraline non incluse nel Programma di Valutazione sono: Boncompagni per l'Agglomerato di Roma e le restanti 8 in zona Litoranea: Civitavecchia Morandi, Civitavecchia Porto, Fiumicino Porto, Aurelia, San Gordiano, Santa Marinella, Allumiere e Tolfa (queste ultime 5 appartenenti alla rete "ex-ENEL").

Nel 2016 la rete di monitoraggio attorno alla Centrale ENEL TVN è costituita dalle stazioni fisse riportate nella Tabella 7 con le informazioni di posizione e inquinanti monitorati. Sono riportate sia le stazioni della rete di ARPA Lazio (Civitavecchia: via Togliatti e Porto) sia quelle storicamente d'interesse per le emissioni della Centrale ENEL gestite inizialmente dal Consorzio e quindi da ARPA dal 2016. La dislocazione delle stazioni di misura sul territorio regionale viene riportata in Figura 4.

Tabella 7. Dati anagrafici della rete di monitoraggio. Anno 2016.

ID	Nome stazione	Tipo	Elev	X	Y	NO ₂	O ₃	PM ₁₀	PM _{2,5}	SO ₂	CO	C ₆ H ₆
101	Aurelia	S	72	730375	4669000	•		•				
102	S. Agostino	S	16	726625	4671350	•	•	•	•	•		
103	Fiumaretta	I/U	1	730375	4665075	•		•	•	•	•	•
104	Faro	F/R	174	732900	4664650	•		•	•	•		
105	Campo Oro	F/R	74	733250	4663000	•		•	•	•		
106	S. Gordiano	F/R	87	733100	4661900	•		•				
107	Allumiere via Aldo Moro	I/R	467	739850	4671700	•	•	•	•	•		
108	Tolfa	I/R	576	742654	4671059	•		•				
111	Monte Romano	I/R	286	738750	4683875	•		•				
14	Allumiere via del Faggeto	F/R	532	740326	4671399	•	•	•		•		
15	via Togliatti (CV)	U	26	731771	4663747	•	•	•		•	•	
60	Porto (CV)	U	6	730578	4664294	•		•		•		
83	Villa Albani (CV)	T/U	34	731401	4664590	•	•	•				
84	Via Morandi (CV)	U	22	732117	4663222	•	•					
85	Via Roma (CV)	T/U	21	731176	4664008	•					•	

Legenda: tipologia: S= suburbana; I= industriale; U= urbana; F= Fondo urbano; R= rurale, T= traffico. L'elevazione è in metri s.l.m. X, Y coordinate in metri nella la proiezione universale trasversa di Mercatore (UTM) zona 32. In grassetto sono evidenziate le centraline non incluse nel Programma di Valutazione.

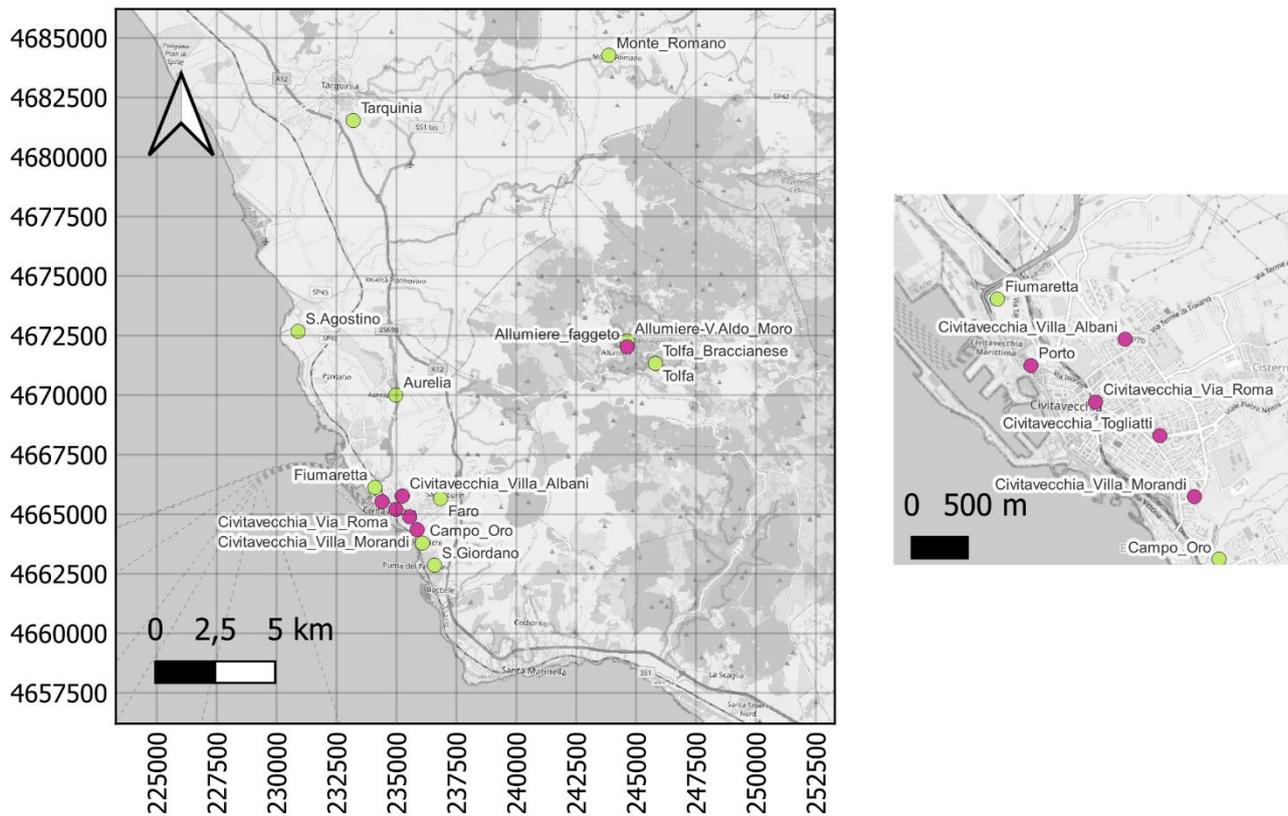
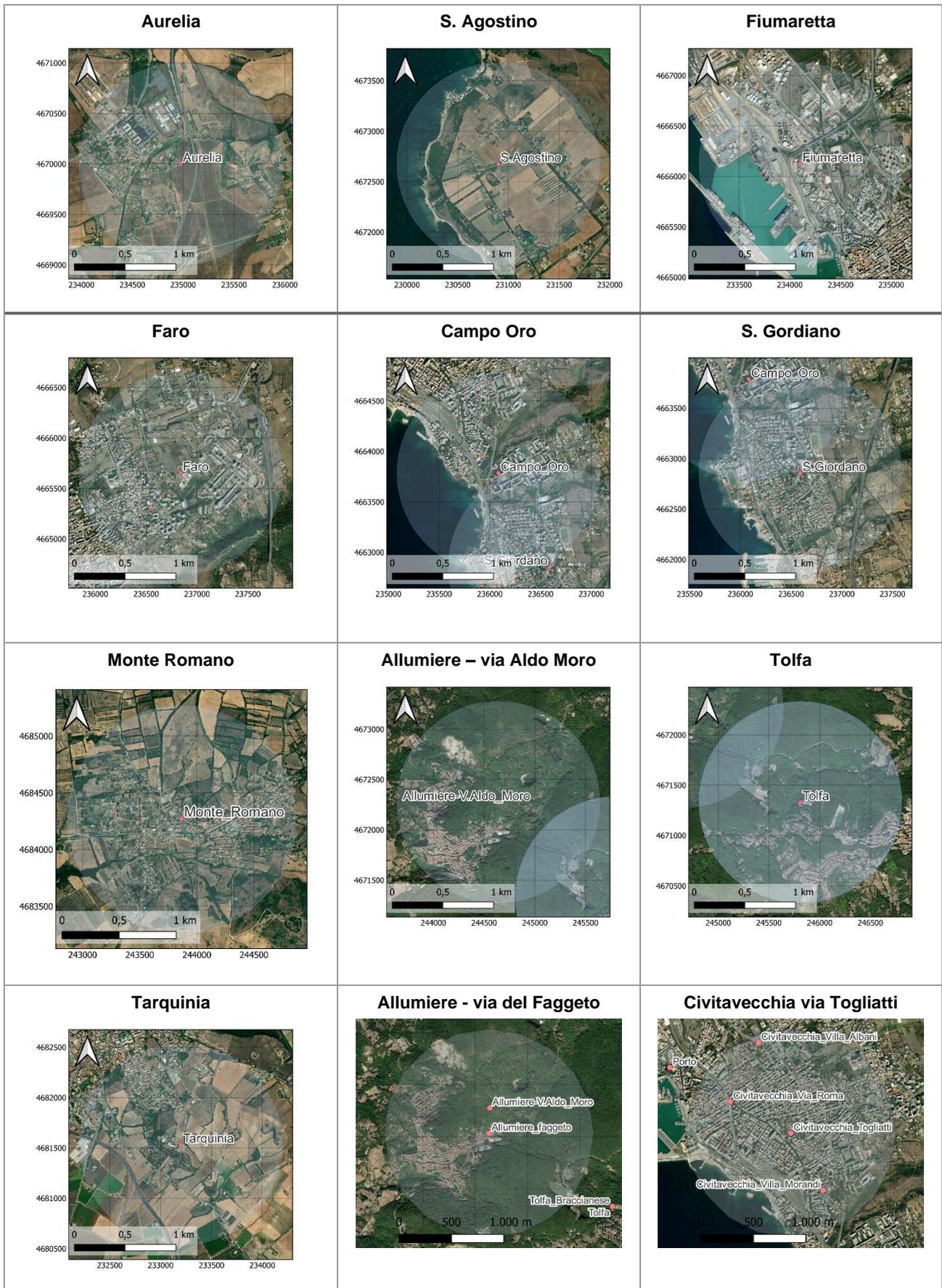


Figura 4. Distribuzione spaziale della rete di monitoraggio nell'area di studio (in verde le stazioni ARPA Ex-ENEL, in rosso le stazioni appartenenti alle reti traffico-porto).

La rete copre quindi un territorio che si estende per due provincie della Regione Lazio: Roma e Viterbo. L'aerofotogramma in figura mostra la dislocazione, sul territorio di interesse, delle postazioni. La rete di rilevamento si estende quindi fino ad una distanza di circa 22 km (Monte Romano) dal punto di emissione (Civitavecchia). Nella figura seguente viene presentata, utilizzando immagini da satellite, la collocazione ambientale e territoriale delle centraline considerando un'area di raggio pari a 1 km attorno alla stazione di misura.



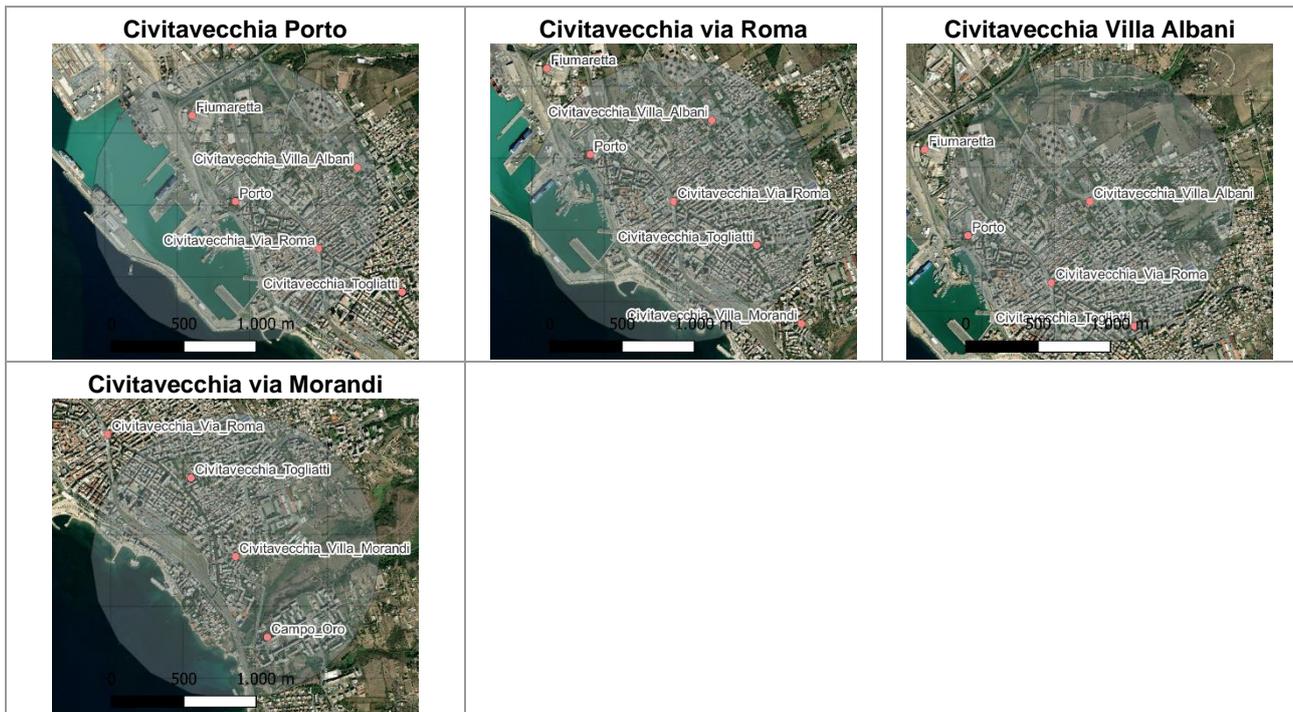


Figura 5. Dettaglio delle centraline ottenuto mediante utilizzo di immagini satellitari. Il dettaglio è ingrandito per mostrare l'area circostante a ciascuna centralina entro un raggio di 1 km (Map data ©2015 Google).

Da tali immagini emergono le seguenti informazioni relative alle diverse centraline:

- **Aurelia:** copre principalmente un'area suburbana, con una combinazione di edifici residenziali e aree agricole circostanti, caratterizzata dalla presenza di infrastrutture stradali primarie;
- **S. Agostino:** risulta localizzata prevalentemente in una zona rurale e costiera, con una copertura che include campi agricoli e aree naturali adiacenti alla costa;
- **Fiumaretta:** si trova in un'area mista, con una significativa presenza industriale dovuta alla vicinanza con un porto e zone di traffico commerciale. Include anche alcune aree urbane periferiche;
- **Faro:** copre una zona principalmente urbana, con edifici residenziali densi e infrastrutture stradali. La zona è rappresentativa di una tipica area periferica cittadina;
- **Campo Oro:** posta in un contesto urbano vicino alla costa; la copertura spaziale mostra un mix di aree residenziali e strade principali;
- **S. Gordiano:** copre un'area costiera con un mix di territorio urbano e rurale, comprendente sia edifici residenziali che spazi verdi e agricoli;
- **Allumiere – via Aldo Moro e via del Faggeto; Tolfa:** coprono prevalentemente aree boschive e montane, essendo localizzate in zone collinari a un'elevazione superiore rispetto alle altre stazioni. La loro posizione in contesti rurali e naturali le distingue dalle altre;
- **Monte Romano:** è situata in una zona rurale e agricola, con una vasta copertura di campi coltivati e aree naturali circostanti;
- **Tarquinia:** si trova in una zona che presenta una combinazione di territorio agricolo e urbano, on un'altitudine moderata, caratteristica delle aree pianeggianti che circondano il centro storico;
- **Civitavecchia - via Togliatti, via Roma, Villa Albani e via Morandi** sono poste all'interno dell'area urbana;
- **Civitavecchia - Porto:** all'interno dell'area urbana in prossimità dell'area portuale.

4.1 Metodi di misura

I metodi di misura impiegati nelle stazioni, riportati nella seguente tabella, sono conformi alla normativa tecnica vigente.

Tabella 8. Metodi di misura in accordo con la normativa vigente

Inquinante	Standard di riferimento UNI	Metodo di misura	Incertezza espansa (%)
SO₂	EN14212:2012	Misura per fluorescenza ultravioletta	15
NO e NO₂	EN14211:2012	Misura per chemiluminescenza	25
PM₁₀ e PM_{2.5}	EN 12341:2014 EN 14907:2005	Misura di concentrazione di massa	25
O₃	EN14625:2012	Misura per fotometria ultravioletta	15

Per quasi tutti gli inquinanti il limite minimo di rilevabilità è di circa 1 µg/m³ e quindi gli analizzatori impiegati nella rete, conformi alle norme di cui alla tabella, sono da considerarsi adeguati al monitoraggio in continuo. Il limite minimo di rilevabilità non è l'unico parametro importante in quanto, per ogni tipo di analizzatore, deve essere valutata anche l'incertezza espansa delle misure. Il parametro tiene conto non solo dell'incertezza intrinseca dello strumento, ma anche dalle condizioni di funzionamento. L'incertezza espansa è stabilita nell'Allegato I del Dlgs 155. La conformità degli strumenti di misura agli obiettivi di qualità previsti, viene dimostrata attraverso misure di calibrazione che vengono effettuate con regolarità utilizzando miscele standard.

Il Decreto autorizzativo della Centrale ENEL impone che tutte le strumentazioni impiegate nelle reti di rilevamento siano certificate conformemente agli standard di cui sopra. L'equivalenza al metodo standard dimostra che la qualità delle misure è conforme a quanto richiesto dal decreto stesso all'allegato I (Obiettivi di qualità dei dati). Da questo punto di vista, i dati forniti dalla rete sono da considerarsi in linea con la qualità richiesta dalla legislazione vigente.

5 Misure di concentrazione e verifica degli standard

In questo capitolo si riportano i valori osservati degli inquinanti relativi alle misure della rete di qualità dell'aria per l'anno 2016. Sono state elaborate le statistiche normate per tutte le stazioni della rete di ARPA Lazio (Tabella 9) I valori sono confrontati con i valori limite previsti dal Dlgs 155/2010 che derivano dalla Direttiva 2008/50/CE e che sono i valori limiti vigenti nell'annualità riferita a questo rapporto tecnico.

Inoltre, i dati rilevati vengono messi a confronto con quelli stimati dalle emissioni della Centrale al fine di valutare, nel limite del possibile, il contributo della Centrale rispetto a quello delle altre sorgenti di inquinamento.

Le valutazioni di cui sopra sono eseguite per i seguenti inquinanti:

- Materiale Particolato PM₁₀ e PM_{2.5};
- Biossido di azoto;
- Ozono;
- Biossido di zolfo.

Relativamente alle stazioni citate nel capitolo "rete di rilevamento", la tabella successiva mostra i valori di concentrazione degli inquinanti osservati nell'annualità 2016 ed elaborati secondo quanto richiesto dalla normativa vigente. I dati relative alle centraline 101-111 (Stazioni ex Osservatorio Ambientale, gestite dal 2016 da ARPA Lazio) sono disponibili a partire da maggio 2016.

Durante l'anno 2016 sono stati registrati superamenti degli standard di qualità prescritti per l'ozono relativamente alla Stazione Allumiere – via del Faggeto e per il biossido di azoto relativamente alla Stazione di Civitavecchia – via Roma (concentrazione presenta una media annuale pari a 40.5 µg/m³).

Tabella 9. Standard di qualità calcolati dalle misure rilevate alle stazioni (in grassetto superamenti del valore limite).

Centralina	ID	PM ₁₀		PM _{2.5}	NO ₂	SO ₂	O ₃	
		Media annuale	(> 50)	Media annuale	Media annuale	Media annuale	AOT40	(>120)
Aurelia	101	13.8	0	-	8.6	-	-	-
S. Agostino	102	17.0	2	-	7.3	-	3656	4
Fiumaretta	103	18.6	0	9.8	18.6	1.6	-	-
Faro	104	18.1	0	8.8	11.7	1.0	-	-
Campo Oro	105	-	-	-	13.1	1.1	-	-
S. Gordiano	106	19.0	0	-	15.5	-	-	-
Allumiere - Via Moro	107	16.5	1	9.7	8.9	0.8	8274	16
Tolfa	108	14.2	0	-	14.7	-	-	-
Tarquinia	110	17.1	0	-	8.0	1.0	-	-
Monte Romano	111	17.2	0	-	8.9	-	-	-
Allumiere - via Faggeto	014	11.2	0	-	9.0	0.9	28781	54
CV via Togliatti	015	20.5	1	-	22.1	0.7	3429	2
CV Porto	060	23.9	4	-	25.8	1.1	-	-
CV Villa Albani	083	23.0	2	-	29.0	-	4748	4
CV Via Morandi	084	-	-	-	25.4	-	2410	0
CV Via Roma	085	-	-	-	40.5	-	-	-

Legenda: Le concentrazioni medie annuali sono espresse in µg/m³; "-": dato non rilevato; PM₁₀ (>50): Numero di superamenti della media giornaliera del valore di 50 µg/m³ (consentiti 35 superamenti); O₃ (>120): Numero di superamenti del valore limite di 120 µg/m³ calcolato come massimo giornaliero della media mobile su 8 ore (valore obiettivo, massimo 25 superamenti); O₃ (AOT40): Sommatoria delle differenze tra le concentrazioni orarie di ozono superiori a 80 µg/m³ e 80 rilevate da maggio a luglio in orario 8-20 (valore limite 18000 µg/(m³ h) come media su 5 anni).

5.1 Particolato PM10

5.1.1 Sintesi dei dati

Nella tabella seguente sono riportate le elaborazioni conformi a quanto previsto dal Dlgs 155/2010. Al fine di evidenziare possibili eventi di inquinamento naturale (es. Polveri sahariane) nella tabella viene riportato il giorno corrispondente al valore massimo registrato nel corso del 2016.

Tabella 10. Standard di legge relativi al PM₁₀ [µg/m³].

ID	Stazione	% Dati Raccolti	Media annua	(>50)	Max media giornaliera	Data valore Max
101	Aurelia	60.4%	13.8	0	31	25/10/2016
102	S. Agostino	50.8%	17.0	2	60	03/10/2016
103	Fiumaretta	61.7%	18.6	0	41	24/06/2016
104	Faro	60.1%	18.1	0	41	24/06/2016
106	S. Gordiano	44.8%	19.0	0	47	26/10/2016
107	Allumiere – via Aldo Moro	46.7%	16.5	1	53	14/10/2016
108	Tolfa	60.9%	14.2	0	38	21/07/2016
110	Tarquinia	60.9%	17.1	0	37	24/06/2016
111	Monte Romano	59.3%	17.2	0	46	25/10/2016
14	Allumiere – via del Faggeto	96.7%	11.2	0	37	22/03/2016
15	Civitavecchia – via Togliatti	94.8%	20.5	1	53	24/02/2016
60	Civitavecchia – Porto	98.9%	23.9	4	85	24/02/2016
83	Civitavecchia - Villa Albani	97.3%	23.0	2	58	24/02/2016

Legenda: (>50): Numero di superamenti del valore di 50 µg/m³ sulla media giornaliera (consentiti 35 superamenti)

I dati relative alle centraline 101-111 (Stazioni ex Osservatorio Ambientale, gestite dal 2016 da ARPA Lazio) sono disponibili a partire dal giorno 11 maggio 2016 ed hanno pertanto una percentuale di dati raccolti inferiore al valore minimo pari al 90%. Restringendo l'analisi alle stazioni ARPA (codici 14, 15, 60 ed 83) è possibile affermare che al di fuori dell'area urbana di Civitavecchia (Stazione Allumiere – via del Faggeto) le concentrazioni medie annue sono inferiori rispetto a quelle riscontrate all'interno dell'area urbana di Civitavecchia che presenta valori compresi tra 20.5 e 23.9 µg/m³. In generale il PM₁₀ non presenta concentrazioni medie annue preoccupanti con valori inferiori al limite di 40 µg/m³. La legislazione ammette il superamento della media giornaliera di 50 µg/m³ che, su base annuale, dovrebbe essere limitato a non più di 35 eventi. Il numero massimo di superamenti registrati è stato pari a quattro (Stazione Civitavecchia – Porto) e quindi ampiamente al di sotto del limite stabilito dalla legislazione vigente.

5.1.2 Andamento temporale

Nella figura seguente (Figura 6) sono presentati, per i diversi siti di misura, i grafici che riportano le serie temporali delle concentrazioni giornaliere di PM₁₀. L'esame di tali figure evidenzia quanto segue:

- le stazioni ARPA (codici 14, 15, 60 ed 83) evidenziano differenze significative tra i livelli rilevati nell'area urbana e quello relativo alla stazione Allumiere – via del Faggeto di tipo rurale;
- le stazioni rurali poste nell'entroterra presentano valori simili e paragonabili a quelli rilevati dalla stazione Allumiere – via del Faggeto;
- le stazioni a ridosso dell'area urbana di Civitavecchia: Fiumaretta, S. Gordiano e Faro presentano valori paragonabili alla stazione urbana di via Togliatti;

le stazioni a nord dall'area urbana di Civitavecchia: Aurelia e S. Agostino presentano valori simili; in particolare la stazione S. Agostino presenta valori particolarmente elevati i giorni 2 e 3 ottobre.

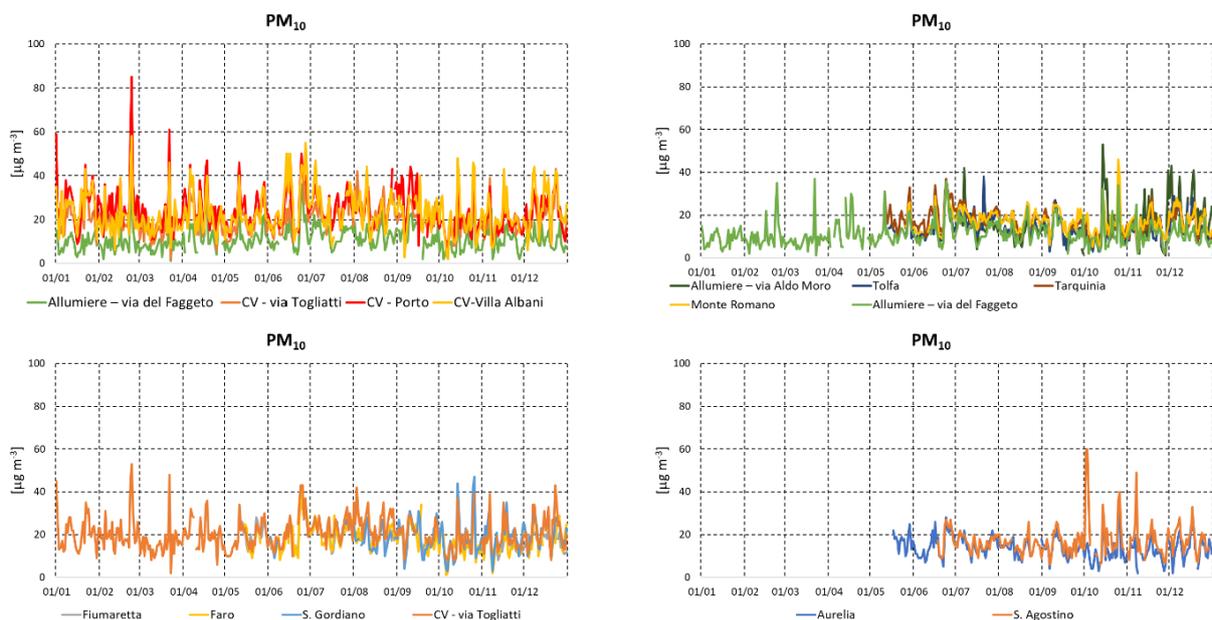


Figura 6. PM₁₀, anno 2016: serie temporale delle concentrazioni giornaliere: Rete ARPA (alto sx); stazioni di tipo rurale nell'entroterra (alto dx); stazioni di tipo misto a prevalenza urbana (basso sx); altre stazioni (basso dx).

5.2 Particolato PM_{2.5}

5.2.1 Sintesi dei dati

Nella tabella seguente sono riportate le elaborazioni conformi a quanto previsto dal Dlgs 155/2010.

Tabella 11. Standard di legge relativi al PM_{2.5} [µg/m³].

Stazione	ID	% Dati Raccolti	Media annua	Max media giornaliera	Data valore Max
Fiumaretta	103	60.7%	9.8	20	24/06/2016
Faro	104	55.5%	8.8	22	09/12/2016
Allumiere – V. Aldo Moro	107	47.5%	9.7	39	18/12/2016

I dati relative alle centraline 103, 104 e 107 (Stazioni ex Osservatorio Ambientale, gestite dal 2016 da ARPA Lazio) sono disponibili a partire dal giorno 11 maggio 2016 ed hanno pertanto una percentuale di dati raccolti inferiore al valore minimo pari al 90%. Al fine di evidenziare andamenti caratteristici nella figura seguente (Figura 7) vengono mostrati, per le tre centraline Fiumaretta, Faro e Allumiere – V. Aldo Moro, gli andamenti temporali della frazione fine del particolato (PM_{2.5}). Dall'esame di tale figura risultano andamenti simili durante il periodo estivo e valori più elevati, ed in alcuni casi superiori al valore limite annuale (25 µg/m³), registrati dalla stazione di Allumiere durante il periodo invernale. Tali valori è probabile siano attribuibili al maggior utilizzo di biomassa per il riscaldamento domestico.

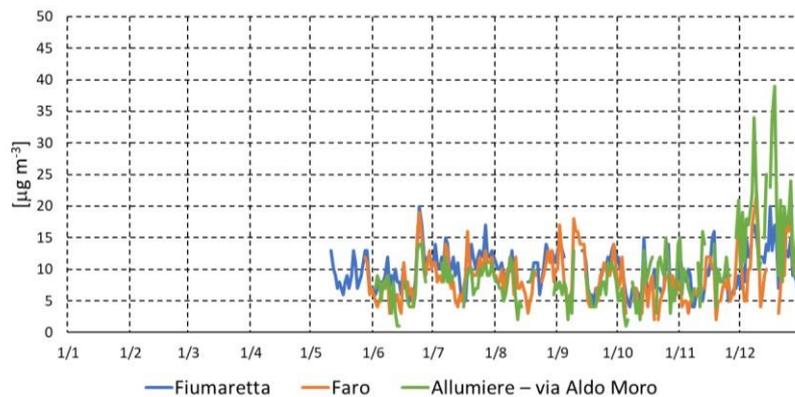


Figura 7. PM_{2.5}, anno 2016: serie temporale dei valori giornalieri della frazione fine PM_{2.5}.

In queste stazioni sono disponibili misure sia di PM₁₀ sia di PM_{2.5}; le misure dei due parametri risultano essere coerenti ed il rapporto PM_{2.5}/PM₁₀ è compreso tra il 48.4 ed il 57.8 % con valori più elevati per la stazione di Allumiere. Nel grafico seguente (Figura 8) sono rappresentati i rapporti PM_{2.5}/PM₁₀; in tale figura non vengono considerate osservazioni per le quali tale rapporto è maggiore ad uno. Il rapporto più elevato tra i due parametri si osserva nella stazione di Allumiere - Aldo Moro, situata a 467 m s.l.m. in una zona montuosa e distante dal mare. Tale risultato è attribuibile a diversi fattori quali il minor contributo dei composti derivanti sia dal sale marino sia dal traffico veicolare. Tale risultato è confermato dalla figura seguente (Figura 9), nella quale viene mostrata la ripartizione tra la frazione fine (PM_{2.5}) e grossolana (PM_{2.5-10}) nelle tre centraline, che evidenzia valori simili per la frazione fine ed il minore contributo di quella grossolana nella stazione di Allumiere. L'elevato rapporto PM_{2.5}/PM₁₀ in particolare nel mese di dicembre, conferma il ruolo che in questa stazione potrebbe avere la combustione di biomasse per il riscaldamento domestico.

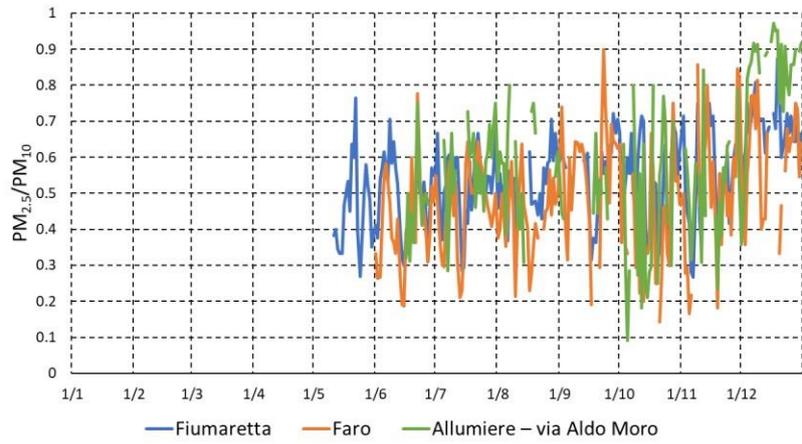


Figura 8. PM2.5, anno 2016: serie temporale dei valori giornalieri del rapporto PM2.5/PM10

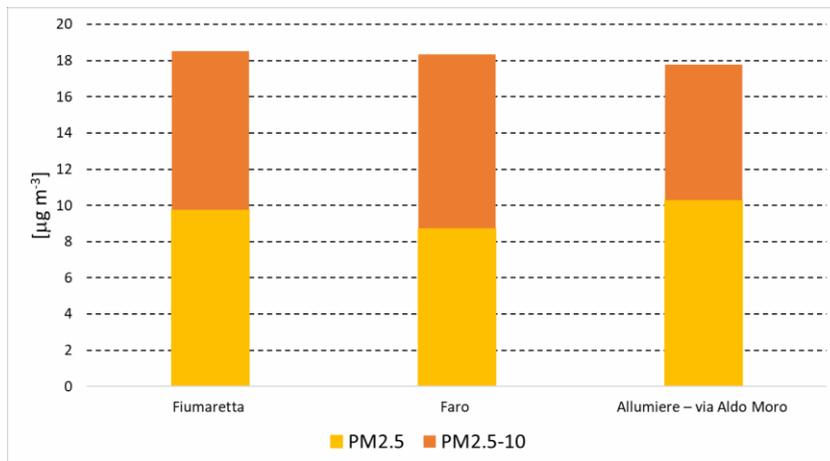


Figura 9. Ripartizione tra la frazione fine PM_{2.5} e grossolana PM_{2.5-10}

5.3 Biossido di azoto

5.3.1 Sintesi dei dati

I dati di Biossido di Azoto sono sintetizzati nella tabella seguente che riporta le elaborazioni conformi a quanto previsto dal Dlgs 155/2010.

Tabella 12. Standard di legge relativi all'NO₂ [µg/m³].

ID	Stazione	Dati disponibili	Media annua	(>200)	Max
101	Aurelia	58.5%	8.6	0	93
102	S. Agostino	61.1%	7.3	0	67
103	Fiumaretta	64.7%	18.6	0	120
104	Faro	63.2%	11.7	1	226
105	Campo Oro	59.0%	13.1	0	113
106	S. Gordiano	52.2%	15.5	0	124
107	Allumiere – via Aldo Moro	51.3%	8.9	0	125
108	Tolfa	56.4%	14.7	0	66
110	Tarquinia	65.1%	8.0	0	117
111	Monte Romano	60.9%	8.9	0	67
14	Allumiere– via del Faggeto	89.3%	9.0	0	53
15	CV – via Togliatti	91.1%	22.1	0	133
60	CV - Porto	95.3%	25.8	0	174
83	CV - Villa Albani	94.4%	29.0	0	150
84	CV - via Morandi	94.5%	25.4	0	144
85	CV - via Roma	95.6%	40.5	0	156

I dati di biossido di azoto si riferiscono a sedici stazioni di campionamento; le misure relative alle centraline 101-111 (Stazioni ex Osservatorio Ambientale, gestite dal 2016 da ARPA Lazio) sono disponibili a partire dal giorno 4 maggio 2016 ed hanno pertanto una percentuale di dati raccolti inferiore al valore minimo pari al 90%.

Restringendo l'analisi alle stazioni ARPA (codici stazione 14-85) è possibile affermare che al di fuori dell'area urbana di Civitavecchia (Stazione Allumiere – via del Faggeto) le concentrazioni medie annue sono inferiori rispetto a quelle riscontrate all'interno dell'area urbana di Civitavecchia che presenta valori compresi tra 22.1 e 40.5 µg/m³. Quest'ultimo valore, registrato nella stazione urbana di via Roma supera, seppur di poco, il valore limite stabilito dal dlgs. 155 posto a 40 µg/m³. Questi dati sono in linea con la natura di questo inquinante che è prodotto da una grande variabilità di sorgenti di NO a livello del suolo che insieme contribuiscono alla formazione di NO₂. In particolare, la sorgente più intensa al livello del suolo è quella dovuta a traffico veicolare. Il secondo limite stabilito per questo inquinante (200 µg/m³ da non superare per più di 24 volte l'anno) è stato superato solo una volta nella stazione Faro localizzata a ridosso dell'area urbana di Civitavecchia.

5.3.2 Andamento temporale del biossido di azoto

Nella figura seguente (Figura 10) sono presentati, per i diversi siti di misura, i grafici che riportano le serie temporali delle concentrazioni giornaliere di NO₂. L'esame di tali figure evidenzia quanto segue:

- le stazioni ARPA (codici 14, 15, 60 ed 83) evidenziano differenze significative tra i livelli rilevati nell'area urbana e quello relativo alla stazione Allumiere – via del Faggeto di tipo

rurale (nella figura non sono stati inseriti per ragioni grafiche gli andamenti relativi alle altre stazioni poste nell'area urbana);

- le stazioni rurali poste nell'entroterra presentano valori simili e paragonabili a quelli rilevati dalla stazione Allumiere – via del Faggeto;
- le stazioni a ridosso dell'area urbana di Civitavecchia: Fiumaretta, S. Gordiano e Faro presentano valori paragonabili alla stazione urbana di via Togliatti;
- le stazioni a nord dall'area urbana di Civitavecchia: Aurelia e S. Agostino presentano valori simili.

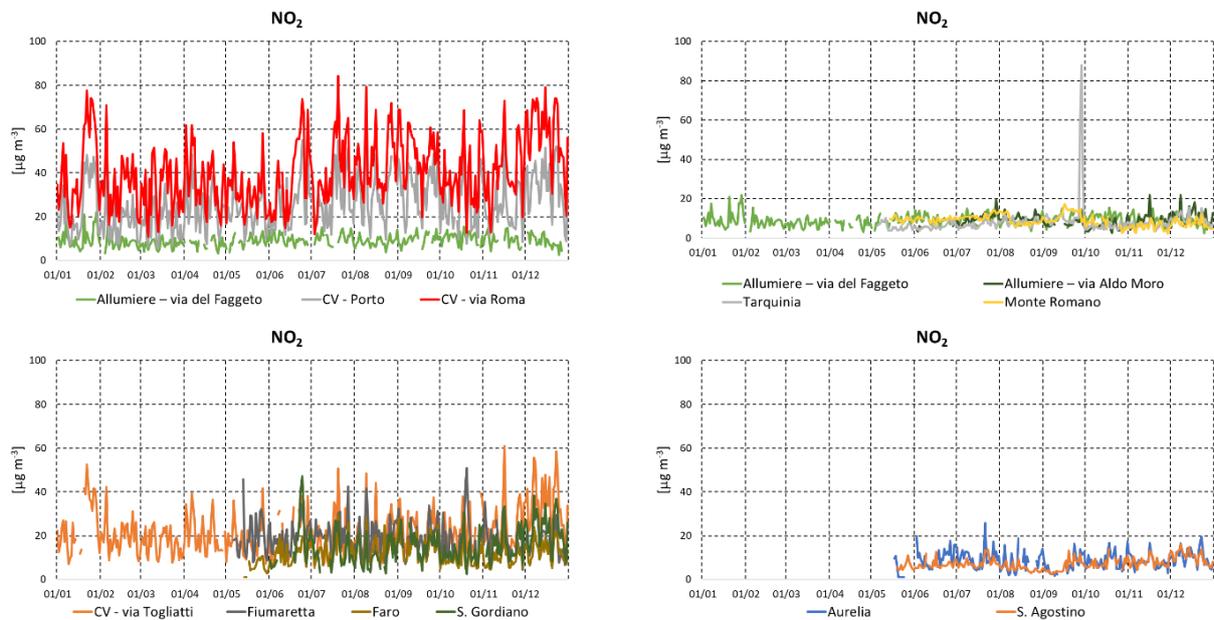


Figura 10. NO₂, anno 2016: serie temporale delle concentrazioni giornaliere: sottoinsieme Rete ARPA (alto sx); stazioni di tipo rurale nell'entroterra (alto dx); stazioni di tipo misto a prevalenza urbana (basso sx); altre stazioni (basso dx).

5.3.3 Rose di concentrazione di NO₂

Avendo a disposizione sia i dati di concentrazione misurati presso le stazioni di qualità dell'aria, sia i dati meteorologici raccolti presso la centrale ENEL, è possibile mettere in relazione le due informazioni per realizzare delle rose di concentrazione. Questi grafici visualizzano come le concentrazioni di NO₂ variano in base alla direzione del vento. Ad esempio, si potrebbero osservare concentrazioni più elevate per specifiche direzioni di provenienza del vento.

Quest'analisi è stata condotta utilizzando le misure di concentrazione di NO₂ per l'anno 2016, disponibili su base oraria e quindi riconducibili al dato meteorologico orario misurato presso ENEL. In particolare, sono state selezionate le stazioni più vicine alla centrale con l'obiettivo di verificare se, nei momenti in cui queste si trovano sottovento rispetto all'impianto, si registra un incremento significativo delle concentrazioni rilevate. Inoltre, selezionando le stazioni più prossime, si può considerare rappresentativo il dato meteorologico misurato presso ENEL.

Come analisi preliminare, la Figura 11 mostra una mappa delle stazioni di qualità dell'aria con una rappresentazione della rosa dei venti ottenuta dai dati misurati presso la centrale nel 2016, collocata in corrispondenza della centrale stessa. Considerando che i venti prevalenti sono quelli che provengono dalla direzione NE, si può dedurre che i pennacchi prodotti dalla centrale non abbiano un'influenza preponderante sulle concentrazioni misurate presso le stazioni vicine. Questi venti infatti trasportano i pennacchi verso il mare. In particolare, nel periodo di disponibilità di dati di qualità dell'aria, la stazione che risulta sottovento per la maggior parte del tempo è quella di S. Agostino,

sottovento per il 10% del tempo. A seguire, Aurelia e poi Fiumaretta, sottovento rispettivamente per il 9% e per il 5% del tempo.

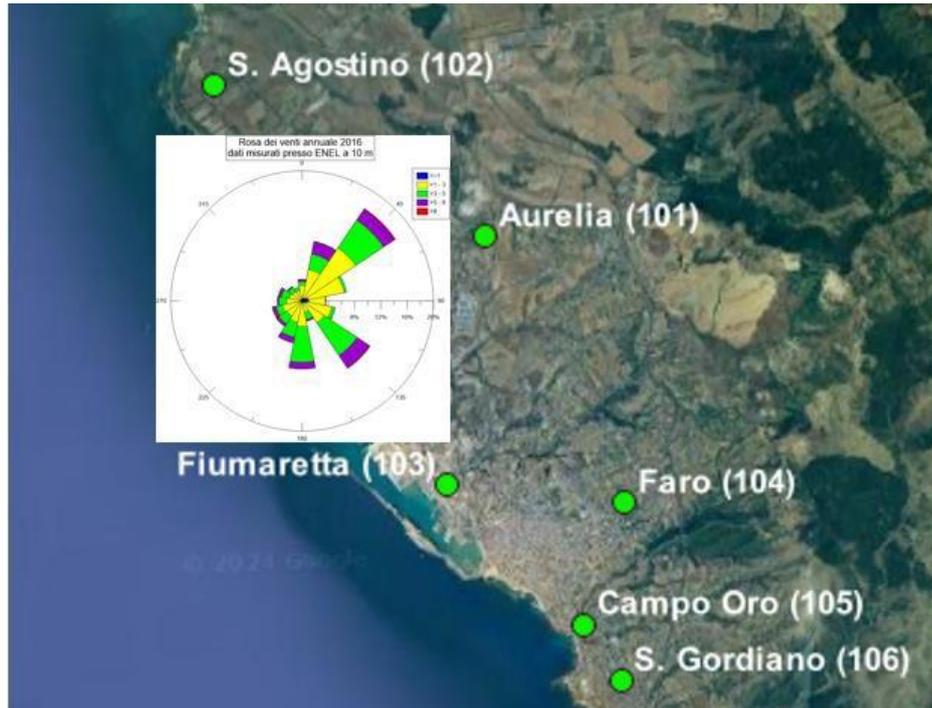


Figura 11. Mappa della rete di monitoraggio della qualità dell'aria, con la rosa dei venti elaborata dai dati raccolti presso la centrale a 10 m di altezza nel 2016, mostrata in corrispondenza della stessa centrale.

Di seguito in Figura 12 si riportano le rose di concentrazione ottenute dai dati misurati presso le tre stazioni più prossime, nel periodo di disponibilità dei dati di concentrazione. Le rose sono raffigurate in corrispondenza delle stesse stazioni, per una migliore visualizzazione dell'effetto della centrale rispetto alla posizione delle stazioni di misura. Considerando quindi S. Agostino e Aurelia, non si osservano concentrazioni marcatamente più elevate per le direzioni che portano le stazioni ad essere sottovento rispetto alla centrale ENEL. Le concentrazioni orarie più alte, superiori a $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, si verificano in entrambi i casi con venti provenienti dai quadranti a S e NE. Questo può indicare l'effetto combinato della molteplicità di sorgenti che insistono sul territorio. L'altra stazione, quella di Fiumaretta, è una stazione da traffico e presenta valori di concentrazione più elevati rispetto alle precedenti, con una percentuale di dati misurati superiori a $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ di circa il 18%. In questa stazione emerge quindi l'effetto di sorgenti locali e non risulta possibile individuare un contributo marcato relativo alla centrale.

In Figura 13 si riportano nel dettaglio le rose di concentrazione di NO_2 per le tre stazioni in prossimità della centrale, per il periodo di disponibilità di dati di concentrazione nell'anno 2016.

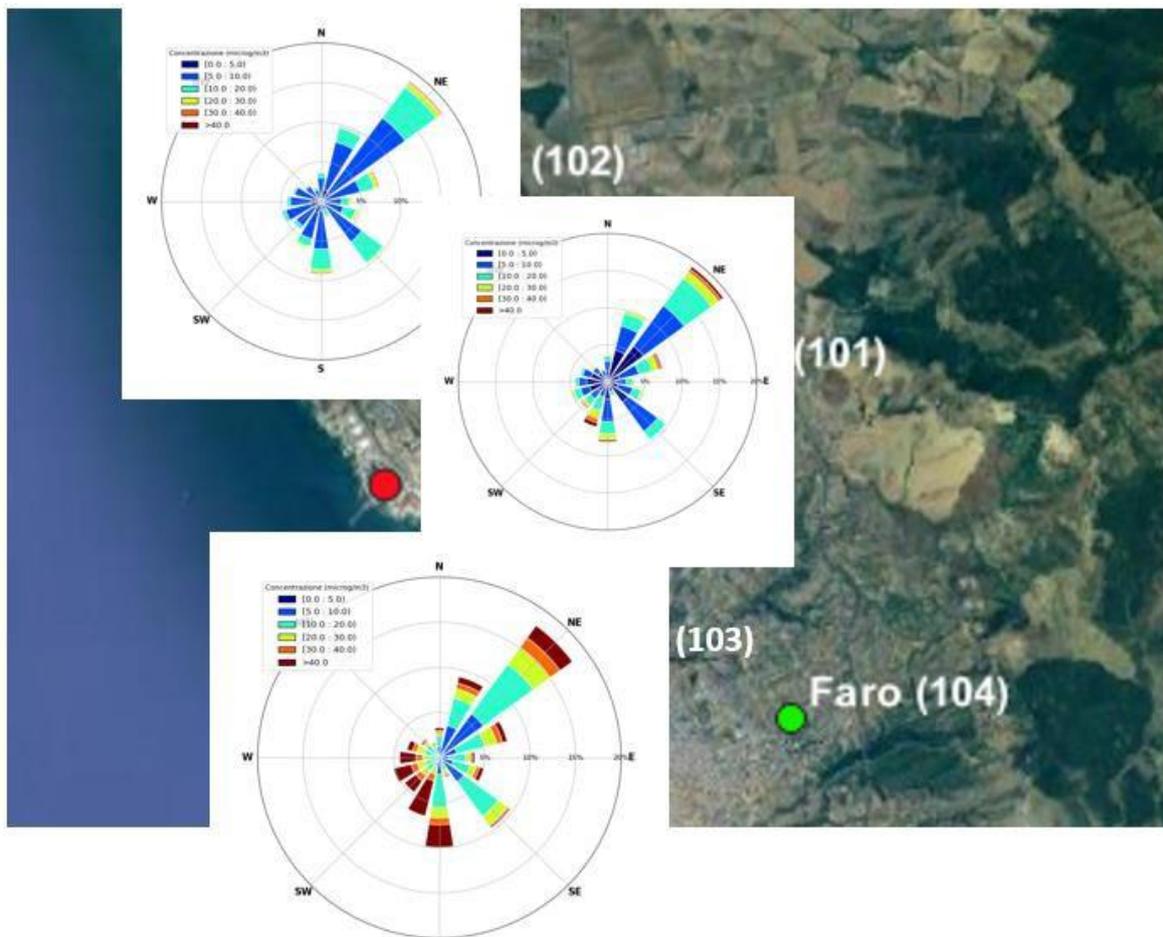
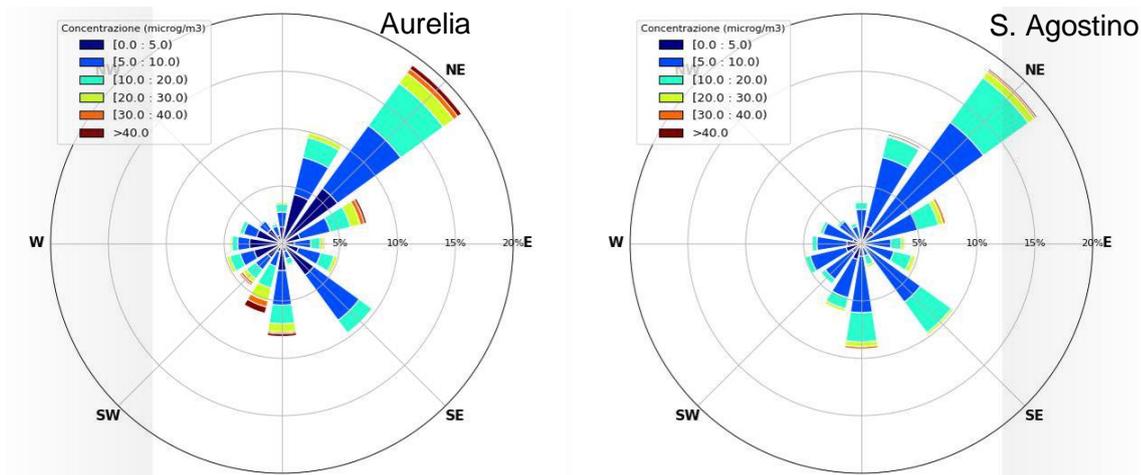


Figura 12. Rose di concentrazione ricavate dai dati di NO₂ raccolti dalle stazioni di Aurelia, S. Agostino e Fiumaretta nel 2016 in corrispondenza delle stesse stazioni.



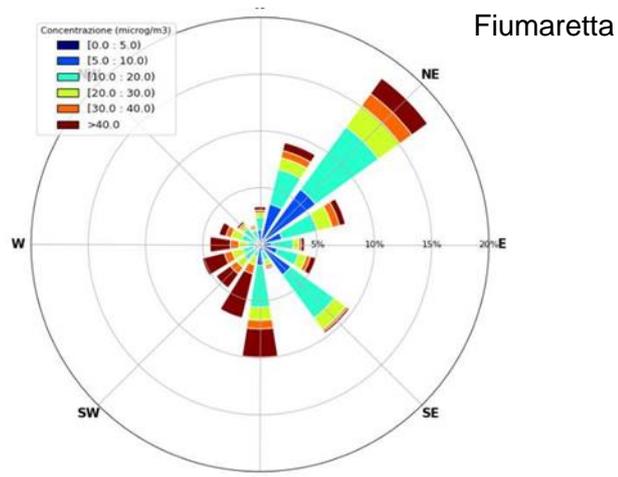


Figura 13. Dettaglio delle rose di concentrazione ricavate dai dati di NO2 raccolti dalle stazioni di Aurelia, S. Agostino e Fiumaretta nel 2016.

5.4 Ozono

In Appendice C vengono descritti più in dettaglio i meccanismi chimico-fisici che coinvolgono questo inquinante e ne determinano l'accumulo nei bassi strati dell'atmosfera.

5.4.1 Sintesi dei dati

I dati di Ozono sono sintetizzati nella tabella seguente che riporta le elaborazioni conformi a quanto previsto dal Dlgs 155/2010. Premesso che in nessuna stazione sono stati rilevati superamenti della soglia di informazione e di allarme, rispettivamente pari a 180 e 240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, la rete di rilevamento ha mostrato superamenti sia per il valore obiettivo (120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ della media mobile di 8 ore da non superare per più di 25 volte l'anno) sia per il parametro AOT40 (pari a 18.000 $\mu\text{g m}^{-3} \text{h}^{-1}$ come media su 5 anni nella centralina di via del Faggeto posta nell'area di Allumiere. In tale stazione di registra il valore più elevato per la concentrazione media annuale pari a 87.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabella 13. Standard di legge relativi all'ozono.

Stazione	ID	Dati Raccolti %	Media annuale	Superamenti Valore Obiettivo	AOT40
S. Agostino	102	56.9%	63.4	4	3656
Allumiere - Via Aldo Moro	107	57.2%	79.6	16	8274
Allumiere - via del Faggeto	14	98.7%	87.6	54	28781
CV via Togliatti	15	96.7%	61.6	2	3429
CV Villa Albani	83	98.9%	61.0	4	4748
CV via Morandi	84	99.6%	60.9	0	2410

Il rendimento delle stazioni è molto elevato e superiore ai requisiti minimi per quanto riguarda le stazioni ARPA (codici stazioni 14-84), mentre le misure relative alle centraline 102 e 107 (Stazioni ex Osservatorio Ambientale, gestite dal 2016 da ARPA Lazio) sono disponibili a partire dal giorno 18 maggio 2016 ed hanno pertanto una percentuale di dati raccolti inferiore al valore minimo pari al 90%. Nella figura seguente sono mostrate le serie temporali delle concentrazioni medie giornaliere di O_3 relative alle centraline poste ad Allumiere e nell'area urbana di Civitavecchia. L'analisi di tale figura evidenzia valori più elevati rilevate in zone rurali rispetto ad aree di tipo urbano; tale evidenza è dovuta alle maggiori emissioni di NO all'interno dell'area urbana che limitano l'accumulo di ozono.

Al fine di meglio investigare le relazioni tra ossidi di azoto ed ozono nelle diverse aree geografiche, nella figura seguente (Figura 15) viene mostrato il confronto tra le concentrazioni medie orarie di NO_2 ed O_3 nelle stazioni di Allumiere - Via Aldo Moro e Civitavecchia – via Togliatti durante un giorno estivo. L'esame di tale figura evidenzia gli andamenti anti-correlati di tali inquinanti relativamente alla stazione di Civitavecchia: in corrispondenza di picchi di concentrazione di biossido di azoto durante le prime ore della mattina ed il tardo pomeriggio (effetto combinato di condizioni di stabilità atmosferica che non consentono la dispersione degli inquinanti e di emissioni antropogeniche attribuibili prevalentemente al traffico veicolare) risultano corrispondenze riduzioni dei livelli di ozono (reazione $\text{NO} + \text{O}_3 \rightarrow \text{NO}_2$ e ridotta attività fotochimica che non consente la foto-dissociazione del biossido di azoto formato che dà luogo alla successiva formazione di ozono) e viceversa formazione di ozono durante le ore diurne a seguito del rimescolamento con masse d'aria dagli strati superiori ove tale inquinante è maggiormente presente. A tale proposito è interessante osservare che durante le ore centrali della giornata i livelli di ozono osservati nelle due centraline sono molto simili; tale risultato indica che i livelli di ozono negli strati superiori dell'atmosfera sono uniformi. Analoghe considerazioni riguardo gli andamenti NO_2/O_3 possono essere svolte per la centralina di Allumiere. Anche in tale stazione, sebbene con minore evidenza dovute alle inferiori emissioni antropogeniche di ossidi di azoto (e parallelamente maggiori emissioni di composti organici volatili di origine biogenica), risultano andamenti anti-correlati per i due inquinanti considerati.

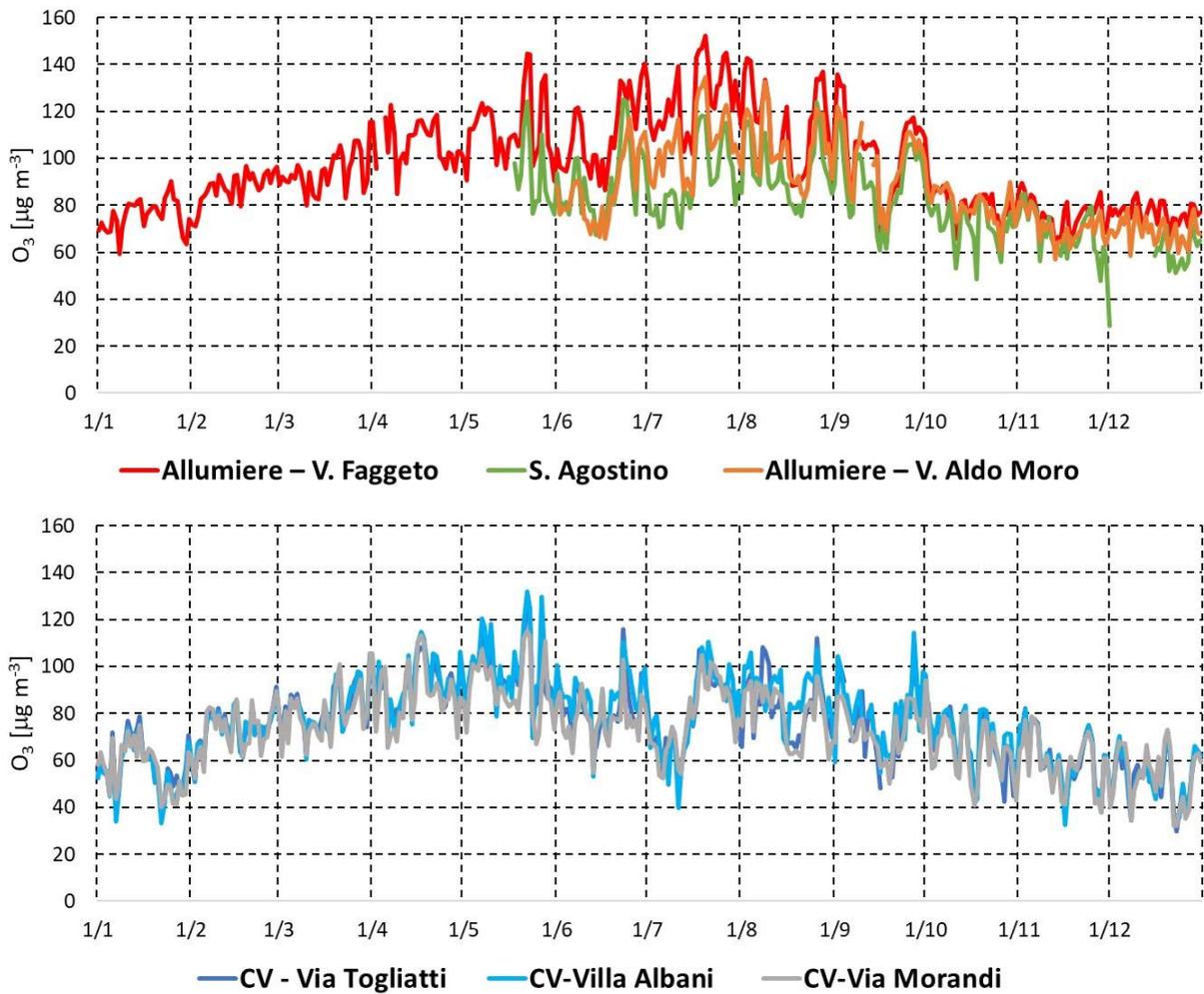


Figura 14. O₃, anno 2016: serie temporale delle concentrazioni massime giornaliere di ozono calcolate su 8 ore: stazioni poste al di fuori (sopra) ed all'interno dell'area urbana di Civitavecchia (sotto).

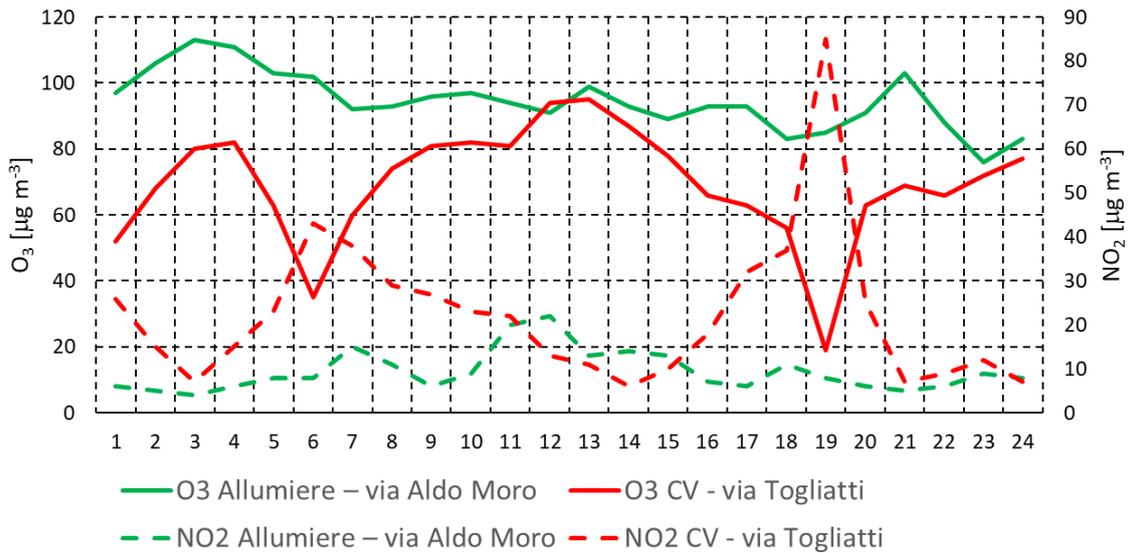


Figura 15. Andamento delle concentrazioni orarie di O₃ e NO₂ a Civitavecchia ed Allumiere il 17/2016.

5.4.2 Protezione della vegetazione (AOT40)

L'indicatore AOT40 esprime l'esposizione cumulata all'ozono al di sopra della soglia di concentrazione di 40 ppb ($80 \mu\text{g}/\text{m}^3$) per la vegetazione e culture. Il valore obiettivo previsto dal Dlgs 155 è pari a $18000 \text{ m}^{-3} \text{ h}^{-1}$ come media su 5 anni.

Il valore più elevato calcolato per tale indice, relativamente all'anno 2016 (Tabella 13), è stato pari a $28781 \mu\text{g m}^{-3} \text{ h}^{-1}$ (stazione Allumiere – via del Faggeto); tale valore è superiore al valore obiettivo ed è dovuto alla persistenza di concentrazioni relativamente elevate in tutte le ore della giornata, comprese quelle notturne come si può osservare dalla Figura 15.

5.5 Biossido di zolfo

5.5.1 Sintesi dei dati

I dati di Biossido di Zolfo sono sintetizzati nella tabella seguente che riporta le elaborazioni conformemente a quanto previsto dal Dlgs 155/2010 per le stazioni di rilevamento attive. Si evidenzia la presenza di valori di concentrazione elevati, soprattutto nella fase transitoria tra la gestione da parte dell'Osservatorio e di ARPAL, giustificabili con i temporanei malfunzionamenti strumentali. In generale, comunque, i valori misurati sono molto vicini al limite di rilevabilità dello strumento, altro aspetto da tenere in considerazione per valutare l'affidabilità del dato acquisito.

Tabella 14. Standard di legge relativi a SO₂ per il 2016 [µg/m³].

ID	Descrizione	Dati Raccolti %	Media annuale	Media massima oraria
103	Fiumaretta	63.7	1.6	99.4
104	Faro	59.7	1.0	66.4
105	Campo Oro	59.8	1.1	103.4
107	Allumiere - via Aldo Moro	55.8	0.8	21.3
110	Tarquinia	63.5	1.0	12.2
014	Allumiere- via del Faggeto	93.8	0.9	15.6
015	CV – via Togliatti	58.7	0.7	14.1
060	CV - Porto	92.2	1.1	48.6

I dati di biossido di zolfo si riferiscono a otto stazioni di campionamento; le misure relative alle centraline 103-110 (Stazioni ex Osservatorio Ambientale, gestite dal 2016 da ARPA Lazio) sono disponibili a partire dal giorno 4 maggio 2016 ed hanno pertanto una percentuale di dati raccolti inferiore al valore minimo pari al 90%. Anche la stazione di Civitavecchia – via Togliatti ha un rendimento inferiore al valore minimo. Quindi solo due stazioni, Allumiere- via del Faggeto e Civitavecchia – Porto, presentano una disponibilità di dati superiore al valore minimo. In tali stazioni le concentrazioni medie annuali mostrano valori molto bassi pari rispettivamente a 0.9 e 1.1 µg/m³. Le stazioni non hanno mai segnalato superamenti dei due standard previsti dalla legge (125 e 350 µg/m³).

5.5.2 Andamento temporale del biossido di zolfo

Nella figura seguente (Figura 16) sono mostrati gli andamenti temporali relativi alle concentrazioni medie giornaliere relative a stazioni poste al di fuori, in prossimità ed all'interno dell'area urbana di Civitavecchia. Dall'esame di tale figura risultano concentrazioni medie giornaliere generalmente inferiori a 2 µg/m³ con una frequente mancanza di dati regolari durante tutto l'anno, probabilmente dovuta alla prossimità del limite di sensibilità della strumentazione. Non risultano particolari differenze tra le concentrazioni medie misurate in queste aree.

Nella figura seguente (Figura 17) sono mostrati i grafici a dispersione che mostrano i rapporti NOX/SO₂ misurati nelle diverse centraline in funzione del rapporto alle emissioni di NOX/SOX dai 3 gruppi di produzione della Centrale. L'esame di tale figura unitamente ai dati riportati nella tabella successiva evidenziano l'assenza di relazione lineare tra le due variabili. Tali risultati confermano la presenza di fenomeni complessi che interessano le specie emesse dalla Centrale e l'impossibilità di correlare l'esercizio della Centrale e i livelli di qualità dell'aria misurati.

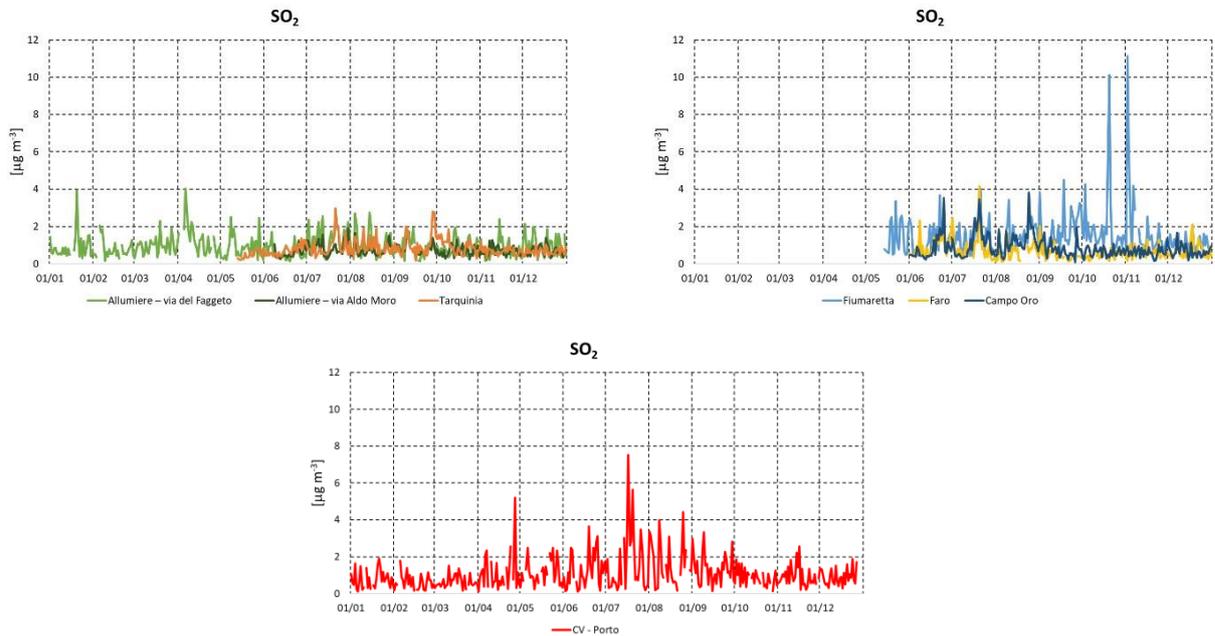


Figura 16. SO₂, anno 2016: serie temporale delle concentrazioni medie giornaliere: stazioni poste al di fuori (alto sx), in prossimità (alto dx) ed all'interno dell'area urbana di Civitavecchia (basso).

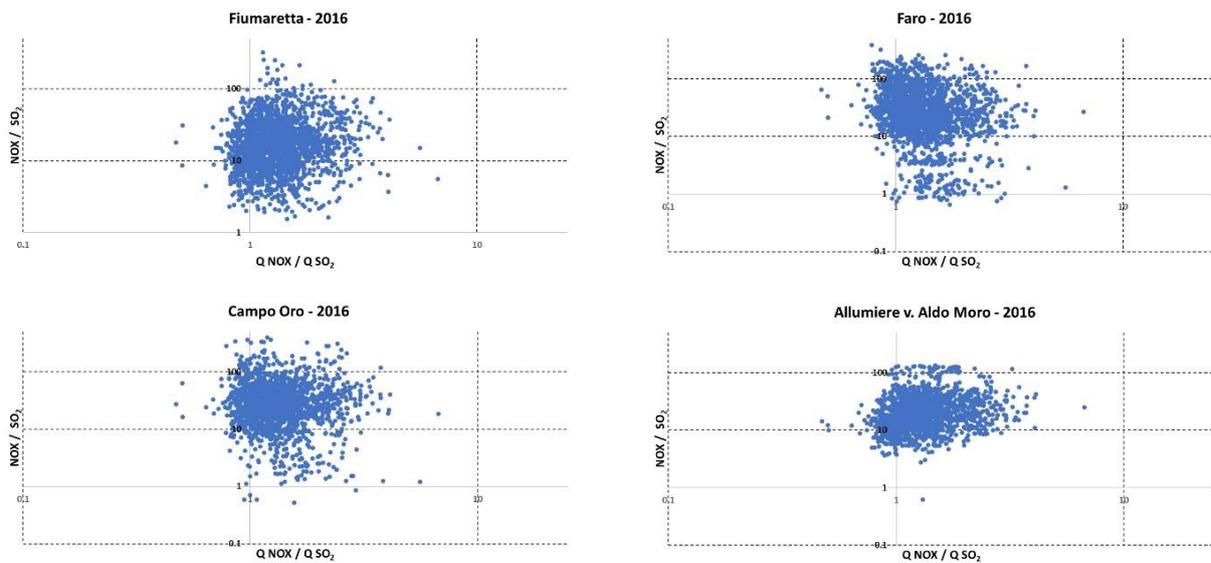


Figura 17. Rapporti NO_x/SO₂ misurati nelle diverse centraline in funzione del rapporto delle emissioni NOX/SOX dai 3 gruppi di produzione della Centrale. I rapporti sono rappresentati in scala logaritmica.

Tabella 15. Analisi di correlazione tra i rapporti NOX/SO₂ misurati nelle diverse centraline ed il rapporto delle emissioni NOX/SOX dai 3 gruppi di produzione della Centrale.

Centraline	NOX/SO ₂	Correlazione	Dati disp.	QNOX/QSOX
Fiumaretta	22.4	0.069	0.226	1.4
Faro	39.3	-0.134	0.215	
Campo Oro	37.2	-0.010	0.202	
Allumiere v. Aldo Moro	24.6	0.138	0.179	

6 Conclusioni

Questo documento riporta i risultati di uno studio finalizzato alla valutazione della qualità dell'aria nell'area circostante la Centrale ENEL Torvaldaliga Nord relativa all'anno 2016. Tale area comprende i Comuni facenti parte del Consorzio per la gestione dell'Osservatorio Ambientale. Lo studio è stato effettuato utilizzando le misure di concentrazione di biossido di zolfo (SO₂), biossido di azoto (NO₂), ozono (O₃) e particolato (PM₁₀, PM_{2.5}) ottenute dagli analizzatori automatici presenti nelle stazioni di misura della rete regionale della qualità dell'aria gestita da ARPA Lazio, tra le quali quelle ex Osservatorio Ambientale risultano attive a partire dal mese di maggio (non idonee alle analisi vista la scarsa disponibilità di misure). Poiché la disponibilità delle misure risulta generalmente superiore al 90% presso le centraline storicamente di Arpa Lazio è stato comunque possibile calcolare le statistiche da confrontare con gli standard di legge relativi al d.lgs. 155/2010 e condurre analisi sulla base dei dati di emissione della suddetta centrale e delle misure meteorologiche indicative di fenomeni di trasporto.

Lo studio ha cercato di focalizzarsi sul legame tra inquinamento ed emissioni della centrale, escludendo una correlazione evidente tra i valori medi o di picco degli inquinanti misurati dalla rete di monitoraggio e l'esercizio della centrale. Al fine di meglio interpretare i dati osservati, nel presente rapporto sono fornite informazioni relative alla complessità dei processi chimico-fisici che determinano i fenomeni di inquinamento atmosferico, alternando spiegazioni teoriche e grafiche esplicative realizzate sulla base dei dati locali.

La centrale ENEL di Civitavecchia è un impianto termoelettrico a polverino di carbone costituito da tre gruppi funzionanti aventi capacità produttiva di circa 2000 MW attraverso la combustione di circa 4,5 milioni di tonnellate l'anno di carbone. Questi numeri lascerebbero prevedere un notevole impatto sul territorio che è tuttavia fortemente mitigato sia dai dispositivi antiinquinamento installati, con i quali sono trattati i reflui gassosi e quindi le emissioni, sia dall'elevata altezza del camino di emissione. L'efficienza degli impianti di abbattimento degli inquinanti principali (polveri, biossido di zolfo ed ossidi di azoto) è continuamente verificata mediante un sistema di monitoraggio continuo nel camino (SME). Per quanto riguarda il camino di emissione, si rileva che esso ha un'altezza fisica di 250 metri che però, in fase operativa, assomma anche la spinta entalpica dei fumi portando l'altezza di emissione dei fumi a quote anche molto superiori. L'effetto combinato dei dispositivi antiinquinamento e della quota delle emissioni determina una elevata diluizione dei fumi e quindi ad un ridotto impatto sulla qualità dell'aria nel territorio circostante.

La situazione meteorologica dell'area è inoltre caratterizzata da stabilità atmosferica che si riscontra nelle ore serali e antimeridiane; durante tali ore vi è un disaccoppiamento tra le masse d'aria in quota e quelle al suolo; gli inquinanti emessi al suolo vengono confinati nei bassi strati dell'atmosfera dando luogo al loro accumulo. Normalmente, le condizioni di stabilità vengono meno nelle ore pomeridiane durante le quali vi è un rimescolamento tra le masse d'aria in quota ed al suolo con conseguente diluizione degli inquinanti emessi al suolo. Durante tali ore le concentrazioni di biossido di azoto si riducono e parallelamente risulta un aumento dei livelli di ozono a seguito del trasporto verso il suolo di masse d'aria in quota ricche di ozono. Durante tali ore, inoltre, il regime prevalente dei venti è di brezza di monte che determina il trasporto dei fumi emessi dalla centrale al largo verso il mare.

Queste semplici considerazioni portano alla conclusione che l'impatto della centrale sul territorio non sia rilevante, questo aspetto viene tuttavia meglio verificato attraverso le misure sperimentali effettuate nelle stazioni di monitoraggio.

La rete di monitoraggio dell'inquinamento dell'atmosfera nell'area di Civitavecchia e dintorni copre un elevato numero di siti rappresentativi delle diverse aree del territorio in esame ed è quindi idonea per valutare il possibile impatto delle emissioni della centrale ENEL. La rete di rilevamento è gestita inoltre in accordo con i criteri di qualità stabiliti dalla legislazione corrente (Dlgs 155/2010 derivante dal recepimento della Direttiva 50/2008 sulla qualità dell'aria). I dati relative alle stazioni di misura ex Osservatorio Ambientale, gestite dal 2016 da ARPA Lazio, sono tuttavia disponibili a partire dal mese di maggio 2016 ed hanno pertanto una percentuale di dati raccolti inferiore al valore minimo.

7 Appendice

A. Campagna sperimentale meteorologica

L'indagine sperimentale realizzata dal Consorzio e CNR ISAC, presso la Riserva delle Saline di Tarquinia, situata sulla costa tirrenica e distante circa 10 Km dalla Centrale, ha fornito informazioni utili alla caratterizzazione meteorologica dell'area interessata dalle emissioni della Centrale ENEL. Tale indagine è iniziata nel maggio 2015 e, dopo alcune interruzioni, proseguita dal novembre 2015 all'agosto 2016. Nel sito di misura, CNR-ISAC ha mantenuto operativo un sistema di monitoraggio di parametri meteorologici molto avanzato mediante il quale sono stati rilevati in continuo i parametri meteo e micrometeorologici che forniscono informazioni importanti relative allo sviluppo temporale e spaziale della circolazione di brezza nella zona di confine tra il mare e la superficie terrestre. In particolare, sono state prodotte informazioni rilevanti riguardo la:

- struttura verticale della turbolenza termica;
- struttura tridimensionale del campo di vento;
- altezza dello strato rimescolato;
- parametri che caratterizzano la turbolenza atmosferica;
- radiazione ad onda corta e lunga (bilancio radiativo).

I risultati di tale campagna forniscono indicazioni molto attendibili circa la meteorologia locale e, pur tenendo conto della inter-variabilità annuale, sono molto rappresentativi della meteorologia della costa tirrenica e possono essere estese anche agli anni successivi la loro acquisizione.

a) *Analisi anemologica*

Di seguito vengono riassunte le caratteristiche più significative dei dati anemologici e le implicazioni relative alla qualità dell'aria per i diversi mesi:

- durante il mese di novembre la velocità del vento è risultata inferiore a 3 m/s, ad eccezione di alcuni giorni durante i quali ha raggiunto valori relativamente elevati. Nei periodi di minore intensità, il vento proviene prevalentemente dalla direzione E a causa della brezza di monte; mentre nei periodi con maggiore intensità, i venti provengono da W a causa delle brezze di mare. Velocità elevate sono in corrispondenza di eventi turbolenti, con venti provenienti dai quadranti N e W, in condizioni di bassa pressione, durante i quali si assiste ad una elevata varianza della componente verticale del vento e dell'energia cinetica turbolenta. In queste condizioni, l'atmosfera è molto rimescolata;
- nel mese di dicembre si osserva un lungo periodo di calma di vento. La direzione prevalente è sempre E, mentre durante il giorno, la direzione tende a stabilizzarsi da N-W. La temperatura subisce un leggero calo, mentre gli eventi di elevata varianza della velocità verticale sono rari, segno questo di marcata stabilità atmosferica.
- al contrario, in gennaio si nota un breve periodo di stabilità, mentre nella maggior parte dei casi si osservano elevate velocità del vento (>8 m/s) proveniente dai quadranti meridionali e orientali. L'elevata varianza della velocità verticale è segno evidente di forte turbolenza con rimescolamento dell'atmosfera molto attivo. Ciò è evidentemente causato da perturbazioni che contribuiscono a disperdere efficacemente gli eventuali inquinanti presenti sia in quota che a livello del suolo;
- a febbraio si notano elevate velocità del vento che spesso supera i 5 m/s ed in alcuni casi supera il valore di 8 m/s. Non si osserva la regolarità tipica dei periodi di stabilità. La temperatura non subisce variazioni di rilievo, mentre la turbolenza atmosferica, appare costantemente elevata in tutto il periodo;
- nel mese di marzo la temperatura comincia ad aumentare, mentre la velocità del vento si mantiene su valori relativamente elevati con picchi che superano i 10 m/s. Anche in questo caso la varianza della velocità verticale risulta molto elevata, segno di turbolenza atmosferica molto attiva. Le velocità del vento più contenute sono associate alla brezza di terra con direzione E, mentre le più elevate sono caratteristiche di provenienze occidentali;

- ad aprile la temperatura non mostra un aumento dei gradienti giorno/notte (circa 10°C) dovuti all'aumentata radiazione solare, mentre la velocità del vento si attesta generalmente al di sotto dei 6 m/s, con direzione prevalente da E di notte e da W di giorno a causa del regime di brezza che prevale in queste condizioni. La varianza della velocità verticale del vento mostra valori molto bassi di notte e relativamente elevati nel corso della giornata quando si sviluppano fenomeni di spiccata turbolenza con venti prevalenti dai quadranti occidentali;
- tale situazione è anche caratteristica del mese di maggio quando la temperatura media aumenta di circa 6-8 °C causa un aumento consistente dell'irraggiamento solare. La velocità media del vento aumenta e, in alcuni casi, supera 8 m/s con provenienza prevalente dai quadranti meridionali. Nelle giornate di relativa calma di vento, l'incremento della velocità del vento si nota nel corso delle ore diurne con provenienze dai quadranti occidentali. In questo periodo si osservano valori elevati della velocità verticale e quindi di turbolenza;
- nel mese di giugno la temperatura è in aumento fino a 30 °C dovuta ad un ulteriore aumento dell'irradiazione solare che raggiunge i 230 W/m². La velocità media del vento si riduce e mantiene le caratteristiche di brezza, ossia provenienza da occidente nelle ore centrali della giornata e da oriente nelle ore notturne. Nelle ore diurne si osservano netti fenomeni di turbolenza con elevati valori della varianza della velocità verticale e quindi di efficiente rimescolamento.
- a luglio, l'irradiazione solare è molto elevata: la velocità del vento non supera generalmente 3 m/s (venti da sud), e, in alcuni giorni, 6 m/s (venti da ovest). I valori meno elevati si osservano di notte in corrispondenza dei venti da Est (brezza di terra). La temperatura si stabilizza a valori elevati (30 °C), mentre le turbolenze atmosferiche si accentuano nelle ore diurne;
- agosto vede un cambiamento della situazione in quanto mentre alcune giornate mostrano il comportamento osservato a luglio, in altre giornate la velocità del vento assume valori più elevati in corrispondenza di provenienze orientali. Questi eventi sono associati ad un'elevata turbolenza, quindi ad un profondo rimescolamento verticale. Le velocità meno intense sono osservate di notte in presenza di venti da est (brezza di terra), quelle più intense di giorno quando prevalgono venti da sud e da ovest. L'andamento generale di entrambi i parametri è caratteristico di un sistema di circolazione locale a mesoscala, come quello di brezza. La temperatura si stabilizza a valori elevati, ma in discesa rispetto ai valori di inizio mese.

Nella figura seguente viene mostrata la rosa dei venti relativa al periodo di studio, caratterizzata da venti prevalenti da NE, quale risultato delle brezze di monte, e dai quadranti meridionali risultanti dalla componente sinottica. Sono anche evidenti le componenti occidentali, la maggior parte delle quali dovute alla brezza di mare.

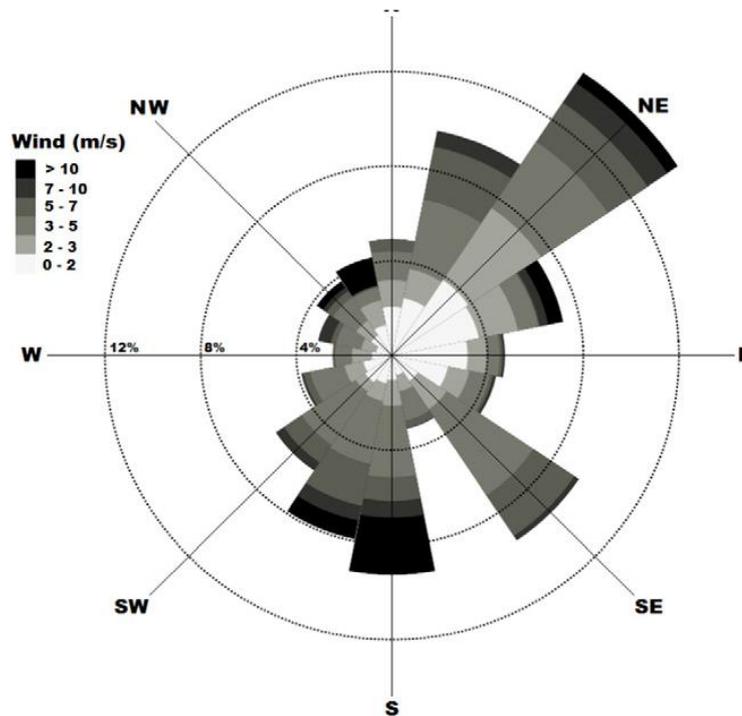


Figura A1. Rosa dei venti relativa alla indagine realizzata dal Consorzio e CNR ISAC

b) La struttura verticale dell'atmosfera

L'impiego di strumentazione SODAR ha permesso di valutare le caratteristiche dell'atmosfera in quota e, conseguentemente, di meglio valutare l'impatto di inquinanti emessi da sorgenti elevate quali quelli prodotti dalla Centrale ENEL. Ciò offre la possibilità di osservare il campo di vento a diverse quote e, soprattutto, di valutare l'evoluzione dell'altezza dello strato rimescolato (PBL).

Per quanto riguarda la componente verticale del campo di vento, durante il periodo invernale la velocità del vento alla quota più bassa generalmente non supera 4 m/s, i valori massimi (8 m/s) sono osservati durante le ore centrali della giornata in corrispondenza della brezza di mare. La velocità del vento aumenta con la quota a tutte le ore arrivando fino a 12 m/s. Le circolazioni prevalenti, oltre la brezza di terra (provenienza orientale), sono le circolazioni alla scala sinottica da sud e da nord responsabili dei venti di maggiore intensità. A terra, è evidente il passaggio dalla brezza di terra (venti da E) alla brezza di mare (venti da O - SO). A partire dalla quota di 80 m, oltre alla brezza di terra prevalgono le circolazioni alla scala sinottica da sud e da nord alle quali corrispondono le velocità del vento più elevate. Nel corso della primavera, si osserva che i venti aumentano di intensità con la quota con i venti di provenienza meridionale che sono responsabili dei valori più alti della velocità del vento. Il regime di brezza è quindi difficilmente rilevabile in quanto prevalgono i flussi a scala sinottica che provocano un aumento della velocità nei settori NE, SE e NW,

Nei mesi estivi, il vento si mantiene a livelli di velocità contenuti con valori più elevati nel corso delle ore diurne in corrispondenza della brezza di mare e dei venti di scala sinottica provenienti dalla direzione S. Le misure in quota dimostrano l'esistenza di due campi di vento. Il primo associato al regime di brezza, ed il secondo associato alla scala sinottica.

I dati SODAR consentono di stabilire le condizioni dello strato rimescolato, e quindi le condizioni di stabilità della atmosfera, mediante l'analisi del profilo termico. Nelle ore più calde del giorno, si osserva una forte instabilità termica dovuta ad un chiaro gradiente verticale negativo della temperatura. In queste condizioni vi è un notevole rimescolamento dell'atmosfera che disperde efficacemente gli inquinanti emessi al suolo; mentre ricadono gli inquinanti emessi in quota anche se diluiti. In condizioni di neutralità termica, si osserva una transizione verso le condizioni di stabilità. Questa si osserva tipicamente nelle ore notturne in presenza di condizioni sinottiche anticicloniche con conseguente condizioni di dispersione verticale ridotte praticamente a valori nulli. In queste condizioni i gradienti termici sono positivi e quindi l'atmosfera diviene molto stabile. Ciò consente di

prevedere la stagnazione degli inquinanti emessi a livello del suolo, mentre quelli emessi ad alta quota non raggiungono gli strati più bassi dell'atmosfera.

Dai dati si deduce che velocità e direzione del vento subiscono una variazione significativa con la quota. Pertanto, è utile e necessario disporre dell'intero profilo verticale di queste variabili, al fine di meglio comprendere e monitorare l'evoluzione della situazione meteorologica e micrometeorologica locale. Infatti, la velocità del vento aumenta sensibilmente con la quota, e in soli cento metri è possibile trovare valori quattro volte superiori a quelli misurati a terra, accompagnati da una significativa variazione della direzione. Durante il giorno si osserva l'alternarsi della brezza di mare e di terra in tutte le stagioni. Questo andamento è sempre presente alla superficie. La brezza è a regime nelle ore centrali della giornata con intensità di picco intorno alle 15:00 LST (velocità massima del vento 6 m/s, velocità media di 4 m/s) e direzione prevalente nell'intervallo W-NW. Durante l'inverno il fronte di brezza ha uno spessore modesto, inferiore ad 80 m. Alle quote sovrastanti prevale la circolazione sinottica in genere da settori meridionali. Questa circolazione, responsabile dei venti di maggiore intensità, diventa prevalente soprattutto nel periodo invernale. Durante la primavera lo spessore del fronte di brezza aumenta fino a raggiungere e superare, in estate, i 190 m. La circolazione sinottica dalla direzione Sud, particolarmente evidente in quota durante il periodo invernale, è meno intensa durante l'estate, quando la circolazione locale di brezza è più intensa. La brezza di terra (centrata nel settore di provenienza E) è confinata in uno strato di spessore più modesto: osservabile soltanto in prossimità del terreno durante l'inverno e la primavera, arriva ad essere rilevabile in quota solo nel periodo estivo. Durante l'inverno, in quota, sono spesso presenti venti da N per tutta la giornata, caratterizzati da intensità relativamente elevate. Durante il giorno, soprattutto d'estate, prevale una circolazione locale di brezza (direzione SW) modulata spesso da forzanti sinottiche (estensione fino al settore S).

Durante l'estate la PBL non supera i 500-600 m, i valori massimi sono osservati nelle ore diurne, mentre quella osservata nello strato stabile in genere non supera 200-300 m. L'evoluzione stagionale dell'altezza di mescolamento (Mixing Layer Height - MLH) relativa allo strato stabile è molto debole in quanto la forzante maggiore è la velocità di attrito, che dipende essenzialmente dalla velocità del vento, caratterizzata da una evoluzione stagionale molto poco marcata.

In conclusione, si può affermare il regime di brezza è tale che nelle ore diurne le emissioni della Centrale sono dirette verso l'interno ed interessano quindi l'ambiente circostante occidentale. In queste condizioni prevalgono forti fenomeni di trasporto verticale che causano fenomeni di looping con trasferimento a terra di inquinanti che possono anche raggiungere concentrazioni relativamente elevate. Esse sono comunque di durata molto breve per cui l'effetto globale risulta poco consistente. Durante i periodi di brezza proveniente da terra, gli inquinanti sono trasportati verso il mare e possono ritornare a terra solo in condizioni di grande diluizione ed a latitudini superiori od inferiori in funzione della situazione sinottica a mesoscala. Nella maggior parte dei casi, nelle ore notturne si sviluppa uno strato rimescolato di altezza limitata che influisce principalmente sulle concentrazioni di inquinanti emessi a livello del suolo, principalmente dovuti a traffico veicolare e ad emissioni civili (compreso il riscaldamento domestico). In queste condizioni di elevato inquinamento nei bassi strati dell'atmosfera, il contributo della Centrale è irrilevante.

B. PM10: riferimento a studi di Source apportionment

In uno studio di source apportionment di PM₁₀ di Cesari et al. (2016)¹ condotto nei siti di S. Agostino, Borgo Aurelia e Parco Antonelli, è stata analizzata la composizione chimica, evidenziando una somiglianza statistica delle misure tra i siti non urbani di Borgo Aurelia e S. Agostino. Al contrario, nello studio si riporta che il sito urbano di Parco Antonelli si discosta significativamente in termini di composizione chimica, con concentrazioni maggiori di PM₁₀, OC, EC, NO₃⁻, Ca²⁺, Al, Si, Ti, Mn, Fe, Cu e Zn. Inoltre, per quanto riguarda la mediana delle concentrazioni di Na⁺, Cl⁻, Mg²⁺ e Br, non sono emerse differenze in quanto queste specie sono principalmente influenzate da spray marino, distribuito in maniera omogenea sul territorio. La campagna sperimentale è stata condotta dal febbraio 2010 all'agosto 2014 relativamente al materiale particolato sospeso, accompagnate da modelli in grado di ricostruire le possibili sorgenti di inquinamento in un determinato recettore. Nel corso delle diverse campagne (estive ed invernali) nel periodo di cui sopra, sono stati campionati circa 350 filtri di particolato sui quali sono state eseguite le analisi per la stima dei diversi contributi emissivi. Anche se i campioni si riferiscono ad un periodo di tempo diverso da quello relativo al presente rapporto, è significativo osservare che lo studio fornisce il contributo percentuale della Centrale al contenuto del materiale particolato PM₁₀. I campionamenti sono stati eseguiti in tre siti nel Comune di Civitavecchia e precisamente nei siti di cui alla tabella successiva.

Tabella B1. Le tre stazioni di rilevamento di PM10 per la campagna sperimentale

Sito	Longitudine	Latitudine	Distanza dalla Centrale (m)
Sant'Agostino	11 47 54.00 E	42 05 13.99 N	3.300 - N
Borgo Aurelia	11 47 43.64 E	42 08 24.83 N	2.800 - ENE
Parco Antonelli	11 47 54.00 E	42 05 13.99 N	5.800 - SW

Insieme ai campioni, sono state valutate direzioni e velocità del vento che mostrano valori sistematicamente simili a quelli osservati dalla stazione meteo della Centrale. In particolare, le frequenze massime della direzione del vento si riscontrano nelle direzioni NE, S, SE

Sui campioni di particolato PM10 sono state eseguite misure di concentrazione di diversi anioni e cationi caratteristici del profilo chimico delle emissioni più significative dell'area (Centrale ENEL, traffico veicolare, riscaldamento domestico, spray marino, combustione di vegetali etc.). I dati sono stati poi trattati con un modello statistico PMF (Positive Matrix Factorization).

Il risultato dell'applicazione dei modelli alle misure sperimentali, dimostrano che il contributo medio della Centrale all'inquinamento atmosferico da polveri PM10 è contenuto a non più del 1-2%; naturalmente per i siti presi in esame. Considerando che la dispersione del pennacchio di emissione della Centrale avviene su un dominio spaziale molto più ampio, è possibile che nel campo remoto il contributo sia superiore, ma pur sempre limitato a valori percentuali relativamente modesti.

Altri studi in letteratura hanno analizzato il contributo della Centrale ENEL TVN alle concentrazioni di PM10 nell'area. Lo studio di Contini et al., 2016² ha valutato l'impatto della Centrale ENEL TVN sulle misurazioni di PM10 effettuate presso i siti di Borgo Aurelia (fondo urbano), S. Agostino (rurale) e Parco Antonelli (urbano). I risultati hanno mostrato che la Centrale contribuisce approssimativamente per il 2% ai livelli di PM10 nell'area, con variazioni minime tra i diversi siti di monitoraggio. Lo studio ha utilizzato i modelli di ricettore Positive Matrix Factorization (PMF) e Chemical Mass Balance (CMB) per valutare l'impatto della Centrale, sottolineando le difficoltà nel

¹ D. Cesari, A. Donateo, M. Conte, D. Contini, Inter-comparison of source apportionment of PM10 using PMF and CMB in three sites nearby an industrial area in central Italy, *Atmospheric Research*, 182, 2016,

² D. Contini, D. Cesari, M. Conte, A. Donateo "Application of PMF and CMB receptor models for the evaluation of the contribution of a large coal-fired power plant to PM10 concentrations" *Science of the Total Environment* 560-561 (2016) 131-140.

distinguere i contributi della Centrale dalle fonti crostali, in particolare per i composti a base di silicio e alluminio.

Uno studio analogo, condotto su quattro siti industriali (Cesari, Merico, et al.) ha confrontato i risultati con quelli ottenuti per la Centrale ENEL TVN. I risultati confermano quanto osservato nello studio precedente, evidenziando un contributo minimo delle centrali limitrofe al PM10 misurato. Inoltre, il contributo della Centrale TVN risulta minore rispetto a quello riscontrato per la Centrale termoelettrica ENEL "Federico II", probabilmente a causa dell'altezza maggiore del camino della Centrale TVN.

Inoltre, dal 2015 al 2016, è stata effettuata una campagna di studio ambientale basata su una rete di bio-monitoraggio avente per soggetto la popolazione lichenica in aree potenzialmente interessate dalle ricadute della Centrale ENEL. Le osservazioni spaziano dall'anno 2008 al 2015 su un'area di studio comprendente i Comuni di Civitavecchia, Tarquinia, Monte Romano, Blera, Allumiere e Tolfa; quindi un'area relativamente vasta che copre quasi interamente il territorio potenzialmente interessato alle emissioni della Centrale. Oltre allo studio della biodiversità lichenica, le stazioni di campionamento sono state anche utilizzate per studi di bio-accumulo, in particolare di elementi chimici metallici. È, infatti, ben noto che le popolazioni licheniche sono particolarmente sensibili alla presenza di sostanze inquinanti che ne provocano la loro riduzione. Questa indagine, oltre ad essere caratterizzata dall'elevato sviluppo territoriale, è anche rilevante in quanto comprende un elevato numero di punti di campionamento (78) ed è quindi caratterizzata da elevata risoluzione spaziale. Il dato di Indice di Biodiversità lichenica determinato dal 2008 al 2015 non mostra valori statisticamente diversi supportando così l'ipotesi di una mancanza di cambiamenti nei dati di diversità lichenica nell'intera area di studio. Per cui, dalle risultanze delle campagne si può concludere che la lista floristica non ha subito variazioni rilevanti in specie. Le comunità di licheni presenti sugli alberi della rete non hanno subito variazioni sostanziali nel periodo oggetto dell'indagine, e le differenze nei valori di IBL delle cinque indagini sono molto contenute e non sono risultate significative.

I dati di bio-accumulo si riferiscono a 22 stazioni che, pur essendo in numero ridotto rispetto alle stazioni di bio-monitoraggio, costituiscono pur sempre un numero significativo di siti di misura. Il dato di bio-accumulo degli elementi chimici misurati è stato valutato in termini di arricchimento rispetto al contenuto delle stesse specie nel terreno. I siti in posizione settentrionale rispetto alla Centrale non mostrano fattori di arricchimenti rilevanti. Poiché sono questi i siti dove la direzione prevalente dei venti comporta un impatto della Centrale più elevato, se ne deduce che detto impatto si può considerare minimo. Fattori di arricchimento più elevati si riscontrano invece nelle stazioni ai margini orientali e meridionali dell'area di studio. I fattori più elevati di arricchimento sono tipici delle prime propaggini dei monti della Tolfa ed in alcune aree a nord di Tolfa ed Allumiere. Comunque, il bio-accumulo risente molto della natura vulcanica del territorio che conferisce alle deposizioni uno spiccato carattere crostale.

I dettagli di questa indagine sono reperibili nel Rapporto conclusivo relativo all'indagine lichenica ³.

³ "Indagine lichenologica nel territorio circostante la città di Civitavecchia-Campagna 2015" rapporto tecnico del Dipartimento di Farmacia dell'Università di Genova

C. Ozono

L'ozono è un inquinante secondario prodotto di complesse reazioni fotochimiche che coinvolgono composti organici volatili (VOC) e ossidi di azoto (NO_x), detti precursori, in presenza di radiazione solare. I livelli di ozono tendono ad essere più alti durante il giorno, durante l'estate o la stagione calda. Le condizioni meteorologiche influenzano i livelli di tale inquinante, in particolare la temperatura e la velocità del vento (es. trasporto di precursori da aree urbane, scale spaziali dell'ordine di decine/centinaia di chilometri). Moti convettivi possono dar luogo ad un aumento dei livelli di ozono a seguito del trasporto di ozono dagli strati più elevati, ove tale inquinante è presente in maggiore quantità, verso il suolo.

Nella bassa troposfera, l'ozono è prodotto sia da sostanze naturali che da fonti antropiche. I precursori antropici dell'ozono provengono da un'ampia varietà di sorgenti fisse e mobili attraverso processi di combustione e di evaporazione (VOC); i precursori naturali derivano dalla vegetazione (VOC biogenici) e, relativamente agli NO_x, da intrusioni stratosferiche, fulmini, suolo e incendi.

Un importante indicatore dell'inquinamento atmosferico è il radicale ossidrilico (OH^{*}) che si forma a seguito della foto-dissociazione dell'ozono. Tale radicale è molto reattivo tende a legarsi con sostanze inquinanti, quali il monossido di carbonio, l'ossido di azoto, l'anidride solforosa, ecc., trasformandoli in composti idrosolubili che vengono rimossi dalla troposfera a seguito delle precipitazioni (vedi Figura C1). Per questa ragione tale radicale viene considerato uno «scavenger», ovvero uno spazzino che «pulisce» l'atmosfera.

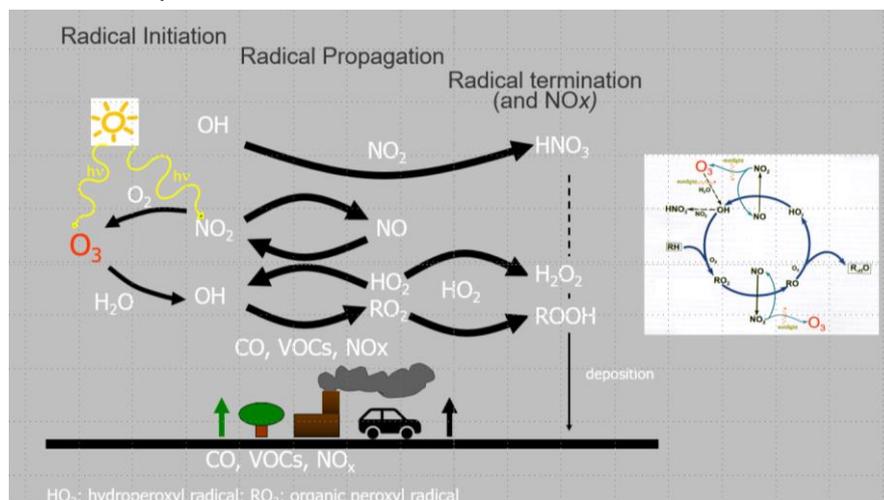


Figura C1. Meccanismo semplificato di specie radicaliche in atmosfera.

Lo studio dei tassi di produzione del radicale ossidrilico, degli NO_x e dei VOC in un'area permette di determinare il suo regime fotochimico e individuare conseguentemente le politiche più efficaci di riduzione dei livelli di ozono.

In generale, quando il tasso di produzione di OH^{*} è maggiore del tasso di produzione di NO_x (scarsa presenza di NO_x, aree rurali e aree suburbane sottovento) si parla di regime NO_x limitato, in questa situazione, il modo più efficace per ridurre l'ozono è ridurre le emissioni attuali e future di NO_x.

Viceversa, quando il tasso di produzione di OH^{*} è inferiore al tasso di produzione di NO_x (elevata presenza di NO_x, aree urbane) si parla di regime VOC limitato, in questa situazione, il modo più efficace per ridurre l'ozono è ridurre le emissioni attuali e future di VOC.

Tra tali estremi esiste una regione di transizione dove l'ozono è quasi ugualmente sensibile a variazioni di NO_x e VOC.

Le concentrazioni di ozono sono determinate inoltre dalle condizioni meteorologiche. Infatti, essendo l'ozono un gas molto reattivo, quando si trova in atmosfera stabile viene consumato dagli inquinanti presenti a livello del suolo e quindi la sua concentrazione diminuisce, specialmente nelle ore notturne. Alla presenza di radiazione solare, esso si accumula determinando concentrazioni elevate.

Di conseguenza, le concentrazioni mostrano minimi durante le ore notturne e massimi durante il giorno.

I processi meteorologici delle brezze, mostrati in Figura C2, portano le masse d'aria ad interessare alternativamente l'ambiente terrestre (B) e quello marino (A) dove, peraltro l'ozono si forma più facilmente grazie alla quasi raddoppiata doppia irradiazione solare dovuta alla riflessione delle radiazioni solari sulla superficie del mare. Il processo di brezza porta ozono nell'alta troposfera da dove può essere trasportato a terra per fumigazione verticale, in particolare durante i periodi di instabilità diurna. La combinazione dei due regimi di brezza e della ventilazione a grande scala verso l'area di convergenza tropicale (C), è tale da determinare un movimento a spirale (D). Dunque, con ogni probabilità, l'ozono riscontrato sull'area si può in gran parte attribuire a precursori emessi a latitudini superiori e che sono poi trasportati verso aree più meridionali. Questo semplice modello è applicabile nelle condizioni di alta pressione sinottica e quindi di stabilità atmosferica. Nei casi di instabilità, le concentrazioni di ozono a terra non sono più modulate, ma si mantengono più o meno costantemente basse. Ciò è dovuto sia alla forte diluizione dei precursori, sia alla scarsa intensità UV dovuta alla copertura del cielo.

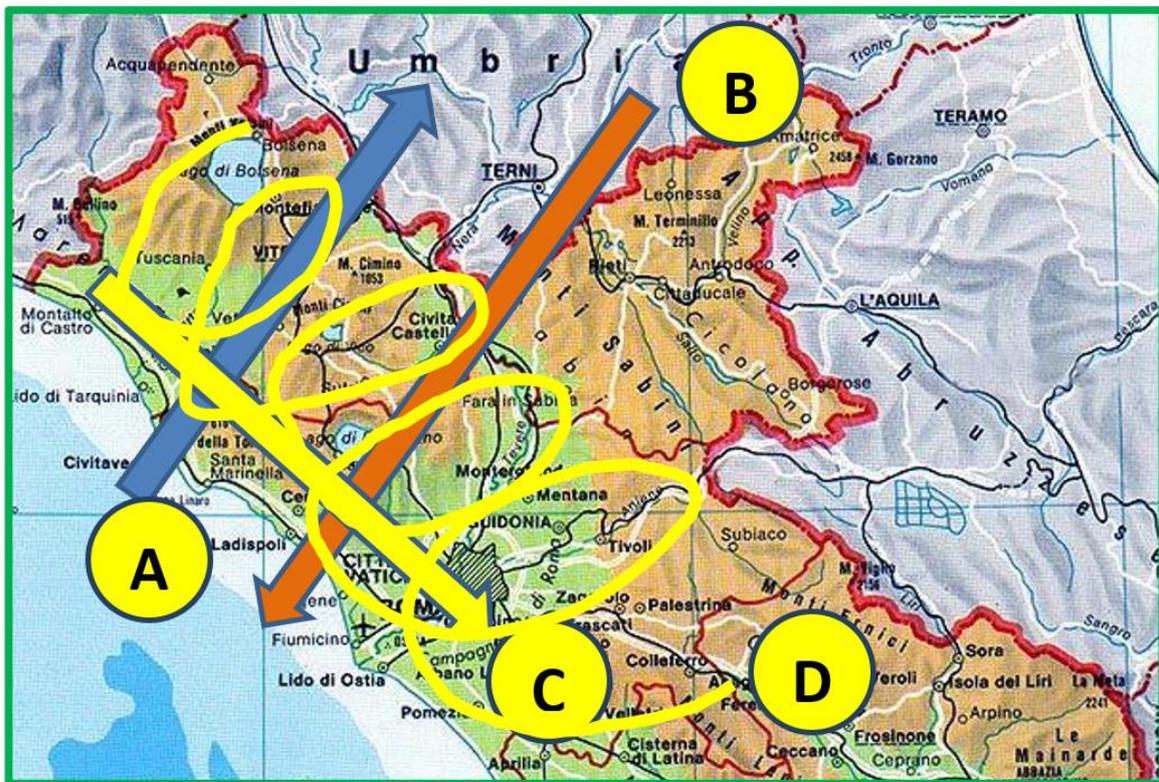


Figura C2. Schema dei fenomeni meteorologici delle brezze

L'immissione di ozono negli strati superiori della troposfera libera determina anche il suo trasporto a terra, dove reagisce con gli ossidi di azoto generando biossido di azoto. È facilmente dimostrabile che il processo genera concentrazioni di ozono e biossido di azoto che sono anticorrelate. L'ozono mostra massimi nelle ore centrali della giornata, mentre il biossido di azoto assume i valori più elevati al mattino e nelle ore serali, mentre durante il giorno assume valori bassi grazie al trasferimento verticale di masse d'aria dalla troposfera libera. La stretta relazione tra questi due inquinanti determina la definizione della loro somma chiamata "ossidanti totali".

Le dinamiche della formazione e della rimozione dell'ozono sono tali da far prevedere una stabilizzazione oppure un aumento della concentrazione a quote elevate, mentre a quote più basse, le reazioni chimiche che coinvolgono ozono portano a limitare i livelli fino a zero nel caso in cui lo strato limite sia molto basso (caso di inversione notturna). Per questo motivo, le concentrazioni più alte di ozono si riscontrano in località caratterizzate da elevate emissioni locali ed elevate altitudini.

Come già accennato in precedenza, i processi che determinano i livelli di ozono osservati sono essenzialmente due:

- reazioni fotochimiche che coinvolgono i precursori (ossidi di azoto e idrocarburi reattivi) in prossimità delle fonti di emissione. Tali reazioni danno luogo alla formazione di ozono che viene quindi trasportato dal vento verso i recettori;
- trasporto verticale di ozono presente nella troposfera libera (ove i livelli sono stabili poiché in tali strati non avvengono reazioni chimiche che ne possono causare la rimozione) verso il suolo a seguito di fumigazione turbolenta.

Già dalle prime misure effettuate in Italia, precisamente ad Ispra (VA) nel Centro Comune Ricerche negli anni 80', si era notato che le concentrazioni locali di ozono erano relativamente basse (circa $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$), mentre aumentavano fino a $80\text{-}100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in presenza di eventi di favonio (detto anche Föhn). Durante questi episodi, le masse d'aria sono trasportate dalla media e alta troposfera fino al suolo provocando elevate concentrazioni di ozono.

Dunque, al fine di quantificare l'esposizione di ozono dovuta alle sorgenti locali, e programmare conseguentemente azioni di contenimento, è necessario distinguere la quantità di ozono proveniente dalle sorgenti sopravvento al recettore (trasporto orizzontale) e dalla troposfera libera (trasporto verticale). Misure di questo tipo sono possibili tenendo conto del fatto che il tempo di vita media dell'ozono nella troposfera, una volta formato dai processi fotochimici, è di circa 23 giorni. Altre sostanze presenti nei fenomeni di inquinamento fotochimico sono invece molto meno stabili. Tra questi, assume importanza il PAN (PerossiAcetilNitrito) che appunto si forma insieme all'ozono, ma ha un tempo di vita media di circa 2 ore (alla temperatura di 20°C). Quindi, misurando simultaneamente ozono e PAN è possibile stabilire quale frazione di ozono è attribuibile ai fenomeni fotochimici a livello del suolo e quale al trasferimento diretto dalla troposfera libera.

Sebbene queste misure non siano state eseguite nell'area di Civitavecchia, è possibile fare riferimento ad un gran numero di misure che sono state effettuate in area Tirrenica nella stazione del Consiglio Nazionale delle Ricerche a Montelibretti, posta a circa 25 Km in direzione N-E dalla città di Roma. La situazione meteorologica in questo sito non è poi così dissimile da quella osservata nell'area della centrale ENEL, per cui alcune osservazioni effettuate a Montelibretti possono essere estese senza problemi ad altre aree tirreniche.

Nella figura successiva (Figura C3) si riportano i risultati di rilevazioni simultanee di ozono e PAN effettuate nel periodo estivo 24-28 giugno 2002 a Montelibretti. Come si può notare dall'esame di tale figura, i picchi di ozono sono molto più estesi di quelli relativi al PAN, segno evidente che la presenza di ozono nelle prime fasi del fenomeno (tarda mattinata) è dovuta al trasporto orizzontale, dovuto alla brezza di mare, da Roma fino al sito di misura, mentre per il restante periodo prevale il trasporto verticale dalla troposfera libera. Infatti, nelle giornate del 24 e 28 Giugno si notano segnali di ozono a concentrazione $100\text{-}150 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mentre il livello di PAN è quasi nullo. È quindi evidente che in queste due giornate, la quasi totalità dell'ozono proviene dalla troposfera libera mentre nelle altre tre giornate, la quantità di ozono presente sul sito di misura è dovuta alle due componenti (trasporto orizzontale e verticale). Il grafico sottostante di radioattività naturale costituisce una misura proxy dello stato di stabilità atmosferica: valori elevati sono tipici di stabilità che, infatti, si riscontra nelle ore notturne, mentre valori molto bassi sono tipici della presenza di rimescolamento verticale dovuto a turbolenza nelle ore diurne.

Da un punto di vista quantitativo, si può stimare che le concentrazioni di ozono dovuto a trasferimento dalla troposfera, riferite al periodo di misura, sono dell'ordine di $120\text{-}140 \mu\text{g}/\text{m}^3$ che si presentano durante tutti i giorni caratterizzati da instabilità atmosferica. A queste concentrazioni, si aggiungono quelle portate dal trasporto orizzontale da Roma portando i livelli sopra i $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Molto verosimilmente, gli stessi processi avvengono nell'area di Civitavecchia e nel suo entroterra dove, però, le emissioni dei precursori di ozono sono indubbiamente più contenute di quelle emesse dalla città di Roma.

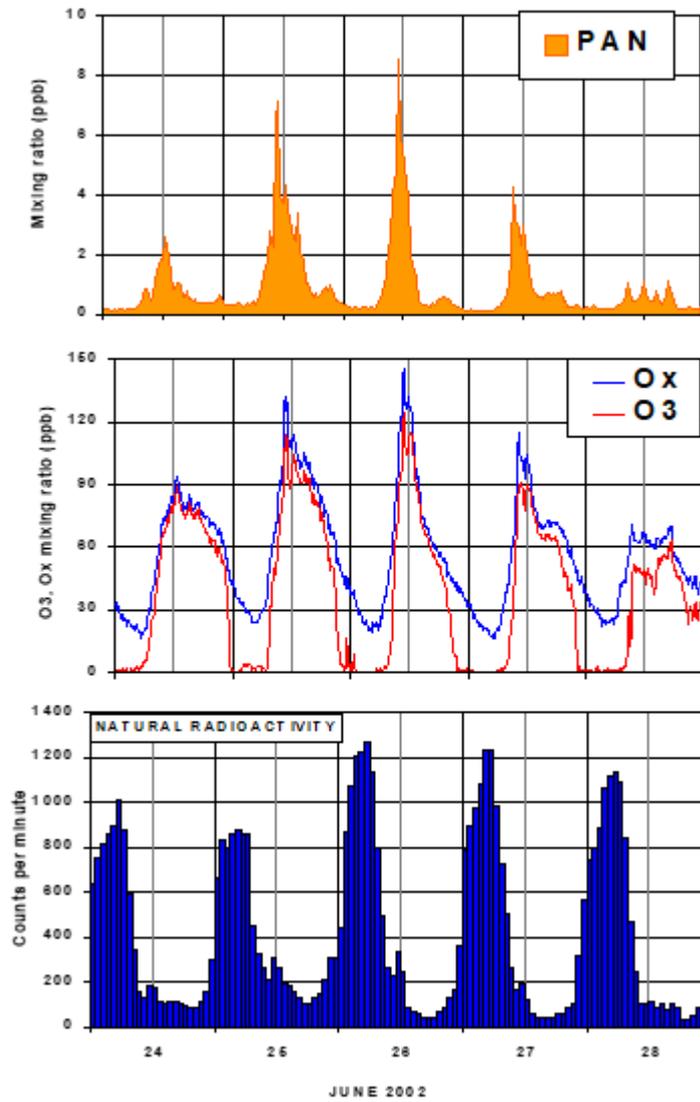


Figura C3. Misure congiunte di ozono e PAN a Montelibretti nel 2002