

**Valutazione delle ricadute di SO₂ in
aria ambiente dovute dalle
operazioni di riavvio degli impianti di
raffineria dello stabilimento ENI di
Collesalveti, in seguito ad una
fermata interna di alcuni impianti, nel
periodo 23-30 dicembre 2014**

A cura del *Settore Modellistica previsionale*
Marzo 2015



Valutazione delle ricadute di SO₂ in aria ambiente dovute dalle operazioni di riavvio degli impianti di raffineria dello stabilimento ENI di Collesalvetti, in seguito ad una fermata interna di alcuni impianti, nel periodo 23-30 dicembre 2014

Marzo 2015

A cura di: *Andrea Lupi*
Settore Modellistica previsionale

Collaborazione di: *Franco Giovannini*
Settore Modellistica previsionale

Supervisione di: *Antongiulio Barbaro*
Responsabile Settore Modellistica previsionale

Hanno contribuito: *Antonio Spinazzola, Francesca Andreis e Diana Gambicorti*
Dipartimento di Livorno

Si ringrazia per il supporto: *Massimiliano Burlando*
Dipartimento di Ingegneria civile, chimica e ambientale dell'Università di Genova

Valutazione delle ricadute di SO₂ in aria ambiente dovute dalle operazioni di riavvio degli impianti di raffineria dello stabilimento ENI di Collesalveti, in seguito ad una fermata interna di alcuni impianti, nel periodo 23-30 dicembre 2014

Premessa

In seguito ad una serie di episodi di maleodoranza segnalati presso l'abitato di Stagno (Collesalveti), in data 27 dicembre 2014 il Dipartimento ARPAT di Livorno ha condotto alcuni accertamenti finalizzati ad individuare le cause di tale problematica¹.

Durante il periodo in cui sono stati segnalati fenomeni di maleodoranza risultavano in corso le operazioni di riavvio degli impianti di raffineria dello stabilimento ENI di Collesalveti, in seguito di una fermata interna². In corrispondenza delle citate operazioni, i sistemi di monitoraggio in continuo delle emissioni degli impianti del settore carburanti hanno in particolare registrato valori di ossidi di zolfo (SO_x) superiori a quelli tipici del periodo di normale funzionamento degli impianti.

Alla luce di quanto sopra, il Dipartimento ARPAT di Livorno ha ritenuto opportuno chiedere l'effettuazione di "una stima, con idoneo modello di dispersione degli inquinanti in atmosfera, dell'impatto sulla qualità dell'aria di alcune emissioni convogliate attive presso lo stabilimento" in modo tale da ottenere "informazioni circa i livelli di ossidi di zolfo in aria ambiente, dovuti a tali emissioni, limitatamente al periodo 20-30 dicembre 2014, presso i punti recettori collocati nell'area più prossima allo stabilimento, con specifica attenzione alle zone residenziali"³.

Strumenti e dati utilizzati

Con l'obiettivo di rispondere alle citate esigenze di approfondimento, il Settore Modellistica previsionale ha effettuato una serie di simulazioni con idoneo codice di calcolo al fine di stimare le concentrazioni di biossido di zolfo (SO₂) in aria ambiente nel periodo 23-30 dicembre 2014, tenuto conto dei livelli emissivi misurati presso lo stabilimento ENI di Collesalveti e delle condizioni meteorologiche dell'area.

Per la redazione del presente studio è stata impiegata la versione 4.3 del codice di calcolo WinDimula, che simula la dispersione degli inquinanti in atmosfera in base alla soluzione gaussiana dell'equazione di trasporto e diffusione⁴.

Nelle Figure 1 e 2 è riportata l'area oggetto dell'indagine: oltre ai limiti del dominio di calcolo (12 km x 12 km, comprendente l'abitato di Stagno e la città di Livorno; in tale area è stato disposto un reticolo 61 x 61 recettori con risoluzione pari a 200 m, ognuno alla propria quota orografica s.l.m.), sono riportate anche altre informazioni significative:

- la posizione dei punti di emissione E1 "topping", E4 "plat" e E7 "lube" dello stabilimento ENI di Collesalveti, in cui sono stati registrati i valori di ossidi di zolfo (SO_x) superiori alla normalità durante le operazioni di riavvio;

¹ Nota del Dipartimento ARPAT di Livorno del 8/1/2015 (LI.01.17.06/2.101, prot. n. 2015/0000509), "Intervento per chiamata in pronta disponibilità 26-27 dicembre 2014 per segnalazioni di maleodoranze presso l'abitato di Stagno".

² Nota ENI del 20/12/2014 (RAFLI DIR 61/324-2014 AB/fm), "Fermata impianti raffineria a seguito disservizio centrale Enipower"; nota ENI del 30/12/2014 (RAFLI DIR 61/328-2014 AB/fm), "Fermata impianti raffineria a seguito disservizio centrale Enipower".

³ Nota del Dipartimento ARPAT di Livorno del 28/1/2015 (LI.01.17.06/2.101, prot. n. 2015/0005852): "Stima dell'impatto sulla qualità dell'aria delle emissioni di SO_x rilasciate dallo stabilimento ENI di Collesalveti nel periodo 20-30 dicembre 2014".

⁴ Si tratta di un modello di calcolo, sviluppato dall'ENEA in collaborazione con MAIND S.p.A. che lo commercializza. La forma della soluzione è di tipo gaussiano [MAIND, 2011] ed è controllata da una serie di parametri che riguardano sia l'altezza effettiva del rilascio per sorgenti calde, calcolata come somma dell'altezza del camino più il sovralzato termico dei fumi, che la dispersione laterale e verticale del pennacchio calcolata utilizzando formulazioni che variano al variare della stabilità atmosferica, descritta utilizzando le sei classi di stabilità introdotte da Pasquill-Turner. Per la descrizione del codice di calcolo si veda <http://www.maind.it/contents/soft.aspx?page=windimula>.

- la posizione di una stazione privata di misura della qualità dell'aria - a suo tempo gestita dall'associazione ARIAL⁵, attualmente non più operativa -, sita nell'abitato di Stagno (via Carlo Marx) e indicata come QA1;
- le posizioni di tre stazioni pubbliche facenti parte della Rete regionale di monitoraggio della qualità dell'aria site nel comune di Livorno:
 - via La Pira, indicata come QA2;
 - via Carducci, indicata come QA3;
 - piazza Cappelletto, indicata come QA4;
- la posizione in cui ARPAT ha effettuato alcune campagne di misura⁶ di vari inquinanti (tra cui il biossido di zolfo) mediante mezzo mobile, per conto della Provincia di Livorno (via Costituzione, presso la scuola primaria "Gianni Rodari", Stagno), indicata come M1;
- la posizione della stazione meteo attiva presso lo stabilimento ENI e delle due attive presso il porto di Livorno. Gli anemometri installati presso queste stazioni sono risultati attivi nel periodo di interesse;
- le posizioni di una serie di punti recettori corrispondenti ad edifici ad uso abitativo di cui i primi sei (da R1 a R6) siti nelle vicinanze (2-3 km) delle emissioni di interesse, mentre i rimanenti (R7 e R8) collocati a distanze maggiori.



Figura 1 - Immagine satellitare (da Google Earth ©). Sono riportati: il dominio di calcolo utilizzato (12 km x 12 km, riquadro rosso); la posizione dei punti di emissione di interesse (E1 "topping", E4 "plat", E7 "lube") dello stabilimento ENI di Collesalveti (cerchi gialli); le posizioni delle otto abitazioni scelte come recettori puntuali (circonferenze verdi: R1 – R8).

⁵ "Associazione per il Rilevamento degli Inquinanti Atmosferici nel comune di Livorno" di cui faceva parte anche ENI.

⁶ Sono state effettuate: una campagna della durata di 35 giorni dal 3 ottobre al 6 novembre 2012 [ARPAT, 2013], ed una serie di quattro campagne quindicinali (una per stagione) dall'estate 2013 alla primavera 2014 [ARPAT, 2014 b].

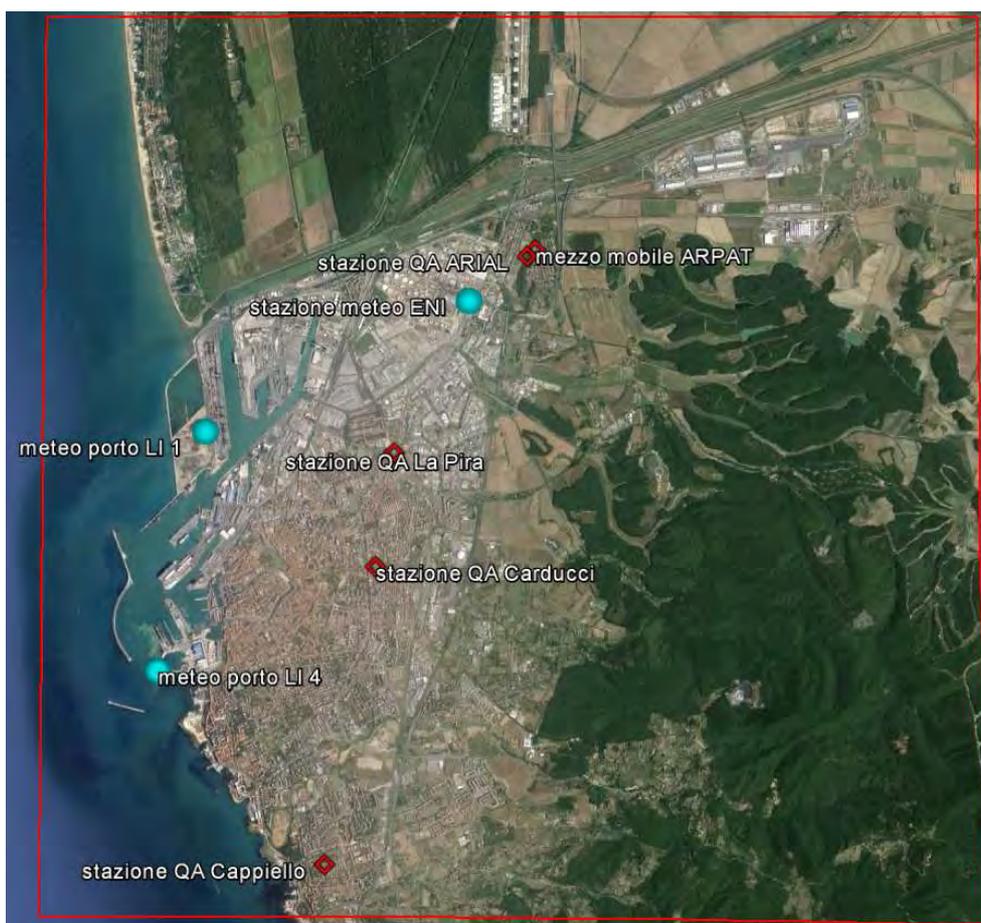


Figura 2 - Immagine satellitare (da Google Earth ©). Sono riportati: il dominio di calcolo utilizzato (12 km x 12 km, riquadro rosso); la posizione delle tre stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria presenti all'interno del citato dominio di calcolo, nonché la posizione in cui sono state effettuate alcune campagne di misura degli inquinanti mediante mezzo mobile (rombi rossi); la stazione meteo attiva presso lo stabilimento ENI e quelle presenti all'interno del porto di Livorno (cerchi azzurri).

Per quanto riguarda le caratteristiche delle emissioni E1, E4, E7 la Tabelle 1 e 2 ne riepilogano i dati significativi.

Tabella 1 - Dati caratteristici delle emissioni E1, E4 e E7 nel periodo 23-30 dicembre 2014 (dati ENI; in corsivo i parametri stimati da ARPAT).

Emissione	Altezza del camino (m)	Sezione di sbocco del camino (m ²)	Diametro di sbocco del camino (m)	Temperatura media di uscita dei fumi (K)	Portata media dei fumi (Nm ³ /h)	Velocità di uscita dei fumi (m/s)
E1 "topping"	80	8.97	3.38	475	53100	1.7-4.2
E4 "plat"	90	5.56	2.66	452	63294	0.66-7.82
E7 "lube"	100	12.57	4.00	452	118000	3.9-5.3

In Tabella 1 sono riportati i valori medi orari di temperatura e di portata ricavati dai dati restituiti dal sistema automatico di monitoraggio delle emissioni (SME). Sono riportati anche i valori minimi e massimi delle velocità medie orarie di uscita dei fumi dal camino, relativi al periodo di interesse (23-30 dicembre 2014).

In Tabella 2 sono invece riportati i valori medi giornalieri di velocità e temperatura dei fumi in uscita.

Tabella 2 - Dati medi giornalieri di velocità e temperatura media di uscita dei fumi relativi alle emissioni E1, E4, E7 nel periodo 23-30 dicembre 2014.

Data	E1 "topping"		E4 "plat"		E7 "lube"	
	Velocità media di uscita dei fumi (m/s)	Temperatura media di uscita dei fumi (K)	Velocità media di uscita dei fumi (m/s)	Temperatura media di uscita dei fumi (K)	Velocità media di uscita dei fumi (m/s)	Temperatura media di uscita dei fumi (K)
23/12/14	2.83	469	4.52	344	4.63	452
24/12/14	1.98	453	3.53	464	4.66	452
25/12/14	2.91	478	5.77	491	4.74	453
26/12/14	3.61	488	6.14	492	4.74	452
27/12/14	3.78	483	6.07	495	4.83	449
28/12/14	3.67	472	5.82	484	5.04	454
29/12/14	3.65	476	6.14	487	5.08	456
30/12/14	3.92	490	6.24	481	5.17	450

Corre l'obbligo di segnalare i seguenti comportamenti anomali, in particolare relativamente all'emissione E4, riscontrati in sede di analisi preliminare dei dati restituiti dal sistema SME. Nella Figura 3 sono riportati i valori orari delle portate dei fumi relative ai singoli punti emissivi per tutto il periodo considerato.

Si rileva in data 23/12/2014 alle ore 19:00 un evidente gradino verso il basso della portata dei fumi relativa alla sorgente emissiva E4 "plat"; alla repentina diminuzione della portata, peraltro, corrisponde un altrettanto repentino aumento della concentrazione di monossido di carbonio (CO) nei fumi in uscita (che passa da 36 a 180 mg/Nm³)⁷.

Sembrerebbe logico associare un simile comportamento ad un arresto o comunque ad un brusco calo di regime dell'attività collegata all'emissione E4; peraltro un elevato tenore di CO nei fumi è normalmente indice di combustione incompleta.

Si evidenzia come, in corrispondenza della brusca diminuzione di portata di E4, si verifichi anche un calo della portata dei fumi dell'emissione E1 "topping", anche se molto più graduale e contenuta.

Si rileva un picco orario anomalo della portata alle ore 12:00 del giorno 23/12/2014 dell'emissione E7 "lube" (cerchiato in rosso nella Figura 3). Tale fenomeno si è verificato in corrispondenza di un allarme "manutenzione in corso"⁸: pertanto si ritiene di poterlo considerare come dato non valido. Ai fini delle simulazioni, la portata associata all'ora in oggetto è stata posta pari alla media fra il valore relativo all'ora precedente e quello relativo all'ora successiva.

Nella Figura 4 sono riportati i valori orari delle emissioni di SO_x (espresse in g/s) ricavati dai dati forniti dal sistema SME, relativi ai singoli punti emissivi, per tutto il periodo 23-30 dicembre 2014.

In corrispondenza del citato evento relativo alle portate (23/12/2014, ore 19:00) si nota un gradino verso il basso del rateo emissivo di SO_x della sorgente E4. Si rilevano inoltre, sempre in relazione alla stessa sorgente, due periodi rispettivamente di 13 e 16 ore caratterizzati da evidenti emissioni anomale (di due ordini di grandezza superiori alle emissioni rilevate normalmente), presumibilmente collegabili con le operazioni di riavvio dell'attività connessa all'emissione E4, occorsi nei giorni 25, 26 e 27 dicembre 2014.

Anche al fine di meglio evidenziare il comportamento degli inquinanti nei giorni di emissione anomala della sorgente E4, le simulazioni sono state effettuate separatamente per ognuno dei giorni compresi nell'intervallo dal 23 al 30 dicembre 2014. I ratei emissivi orari utilizzati come input per il modello di calcolo sono stati elaborati a partire dai dati restituiti dal sistema SME.

⁷ Come si può desumere dall'esame dei dati riassuntivi forniti da ENI S.p.A. su foglio di lavoro Excel (file: G231214).

⁸ Come si può desumere dall'esame dei dati riassuntivi forniti da ENI S.p.A. su foglio di lavoro Excel (file: G231214).

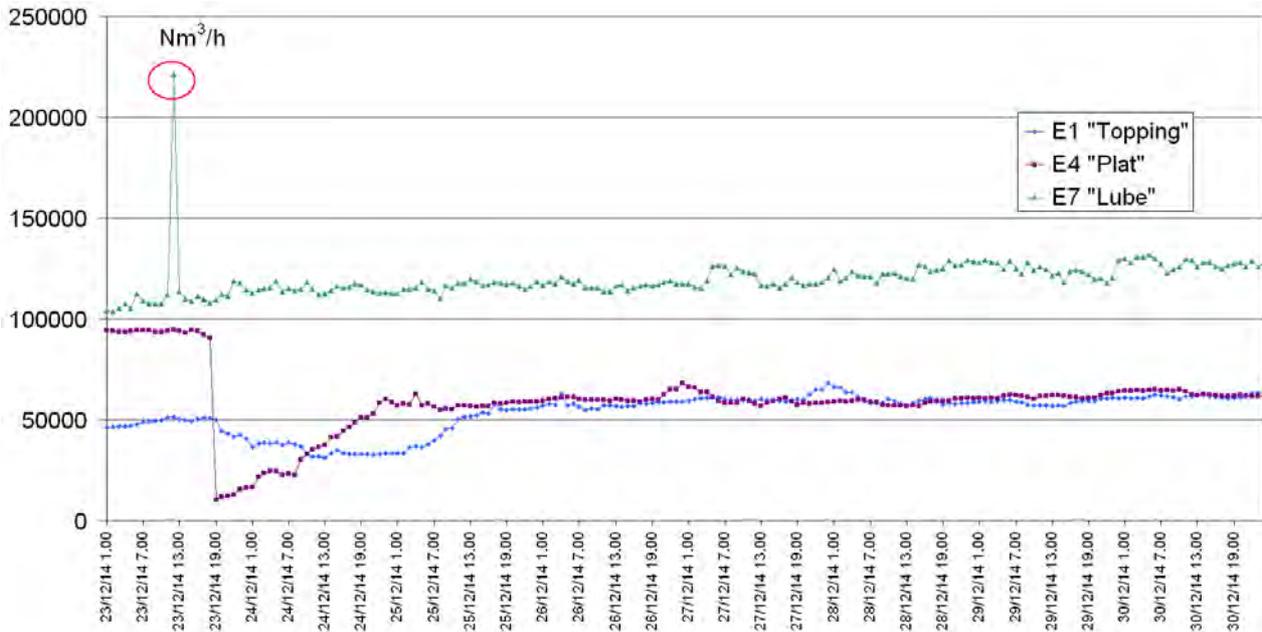


Figura 3 - Valori orari delle portate dei fumi relative alle emissioni E1, E4, E7 (esprese in Nm³/h) dello stabilimento ENI di Collesalveti, nel periodo 23-30 dicembre 2014.

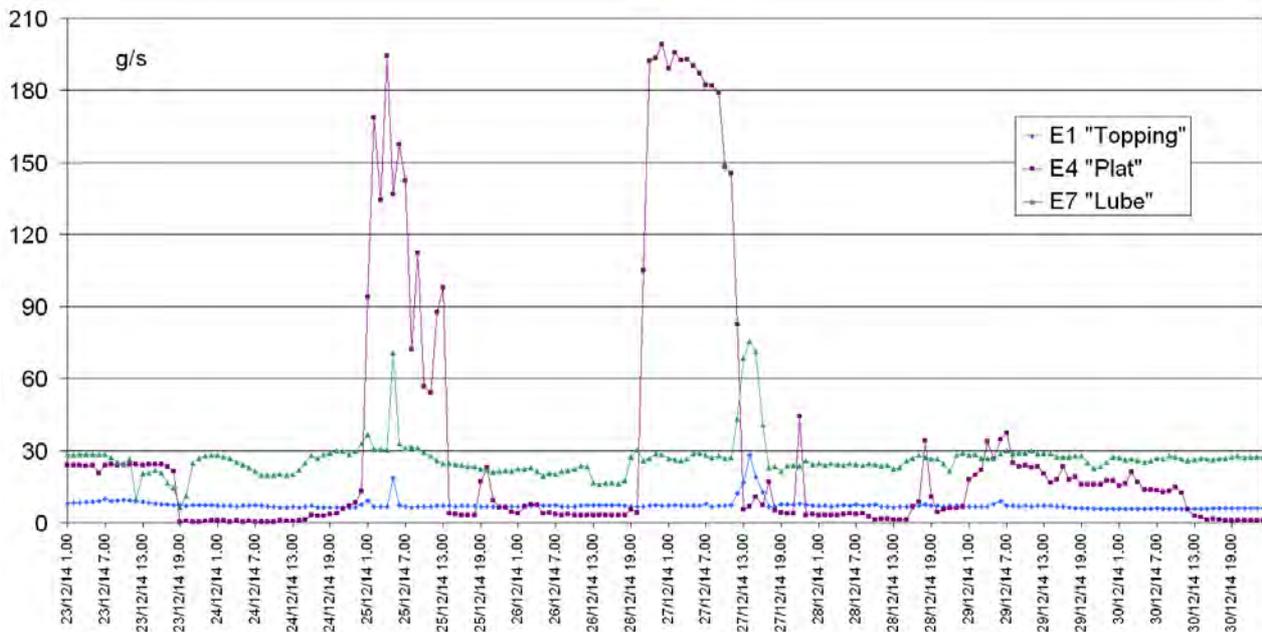


Figura 4 - Valori orari delle emissioni di SOx (esprese in g/s) associate alle sorgenti E1, E4, E7 dello stabilimento ENI di Collesalveti, nel periodo 23-30 dicembre 2014.

Per quanto riguarda i dati meteorologici, all'interno e nelle vicinanze dell'area di interesse sono attive quattro stazioni:

- la stazione "Bocca d'Arno" gestita dal Servizio idrologico della Regione Toscana, posta a 11.5 km NW dallo stabilimento ENI di Collesalveti. In tale stazione l'anemometro in esercizio risulta installato a 10 m di altezza ed i dati anemologici (direzione e intensità del vento) vengono restituiti come medie su 15 minuti;
- la stazione gestita da ENI presso lo stesso stabilimento di Collesalveti. Nell'estate 2014 vi è stato

effettuato un sopralluogo da parte di ARPAT⁹ durante il quale sono emersi alcuni dubbi sull'utilizzabilità dei dati restituiti per fini differenti dalla "sorveglianza interna" allo stabilimento. Infatti, mentre le caratteristiche tecniche dei sensori sembrano in linea con gli standard richiesti, la loro collocazione non è del tutto accettabile: in particolare l'anemometro risulta essere posizionato su un palo di altezza insufficiente (2 m) collocato a sua volta sul lastrico solare di una palazzina direzionale interna allo stabilimento avente altezza circa 9 m sul piano di campagna: vi sono perciò dubbi circa i dati anemologici restituiti (forniti come medie orarie);

- le stazioni presso il porto di Livorno (denominate LI 1, a 3.5 km W dallo stabilimento ENI; e LI 4, a 6 km SW dallo stabilimento ENI), di proprietà dell'Autorità portuale e gestite dall'Università di Genova. Gli anemometri in esercizio presso tali stazioni sono situati a 20 m di altezza; i dati anemologici (direzione e intensità del vento) vengono restituiti come medie su 10 minuti.

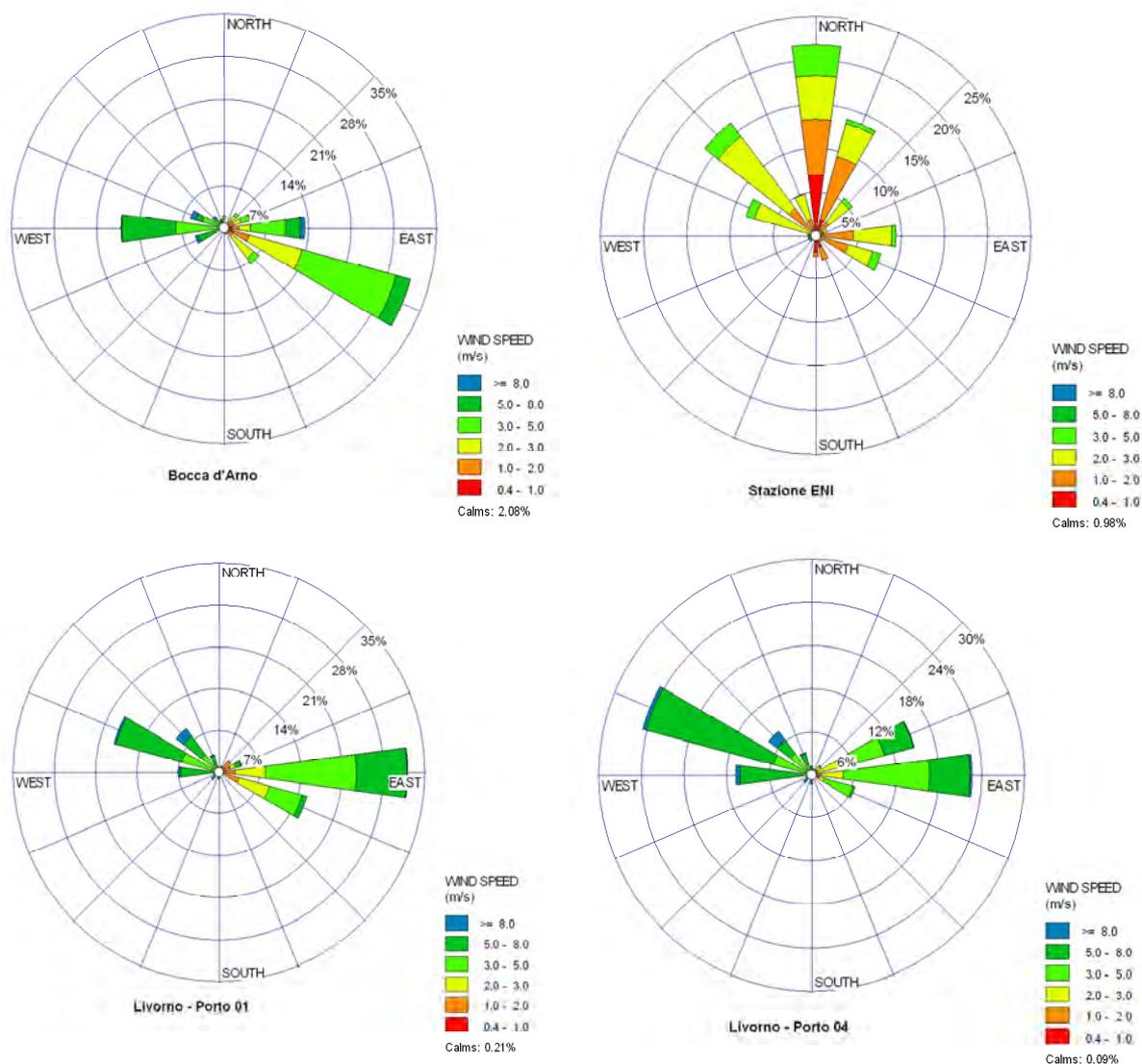


Figura 5 – Rose dei venti (direzione di provenienza) nel periodo 23-30 dicembre 2014 rilevate presso le stazioni meteo “Bocca d’Arno” (in alto a sinistra), ENI (in alto a destra), e del porto di Livorno LI 1 (in basso a sinistra) e LI 4 (in basso a destra).

⁹ Si veda la nota ARPAT del 4/9/2014 (prot. n. 2014/0059247) recante la relazione “Sopralluogo presso lo stabilimento ENI di Collesalveti: valutazione della stazione meteorologica” del 28/8/2014 (DV.05.01/141.6).

Emerge, come logico attendersi, che le rose dei venti relative alle due stazioni presso il porto di Livorno sono pressoché sovrapponibili l'una all'altra, mentre quella relativa alla stazione "Bocca d'Arno", anche se leggermente diversa, appare compatibile con le altre due. La rosa dei venti relativa alla stazione ENI restituisce invece una situazione anemologica macroscopicamente differente dalle altre, presumibilmente anche a causa della già menzionata collocazione non corretta della strumentazione. Per tali motivi si è ritenuto di non avvalersi dei dati anemologici restituiti dalla stazione ENI, utilizzando di questa stazione solo i dati della temperatura.

Dalla disamina dei dati anemologici restituiti dalle stazioni presso il porto di Livorno (Figura 6), emerge la mancanza di dati per circa 17 ore consecutive nella stazione di LI 1, a partire dalle ore 16:20 del giorno 24/12/2014, e per circa 28 ore consecutive in entrambe le stazioni a partire dalle ore 1:10 del giorno 28/12/2014.

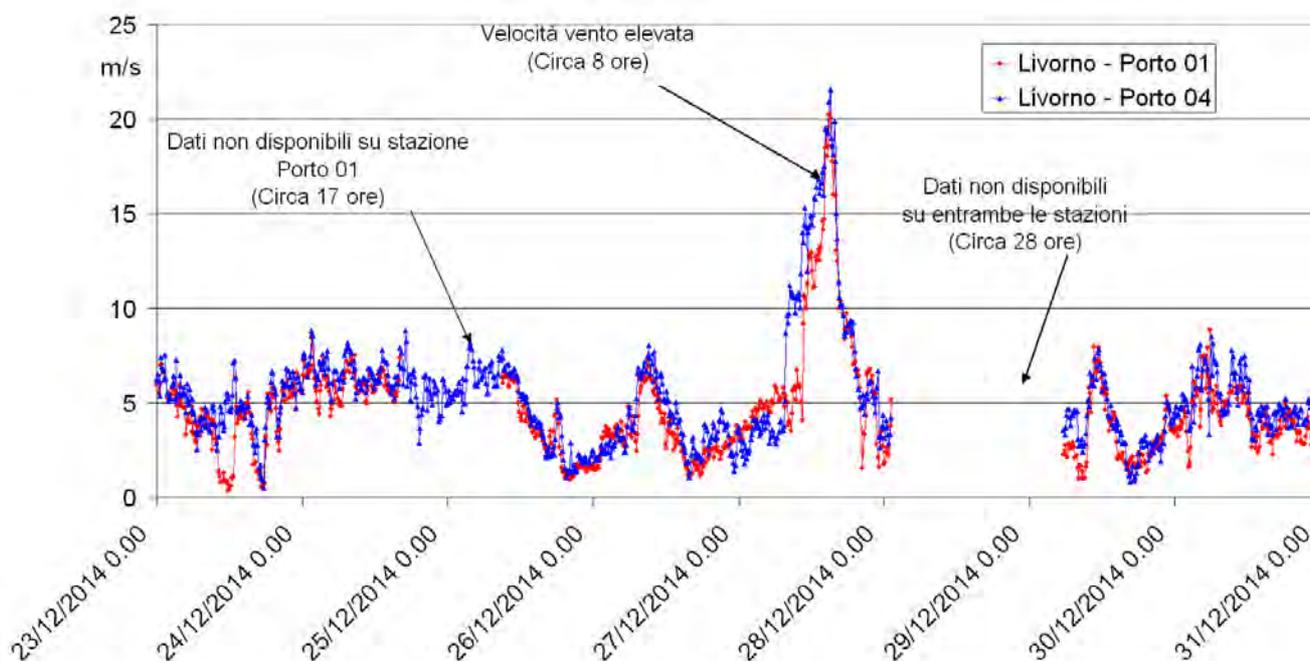


Figura 6 - Andamento della media di 10 minuti dell'intensità del vento rilevata presso le stazioni LI 1 e LI 4, nel periodo 23-30 dicembre 2014.

L'esame del grafico conferma quanto già desunto dal confronto delle rose dei venti: gli andamenti dei valori misurati sono pressoché sovrapponibili. Si rileva come la stazione di LI 4 tenda a registrare gli aumenti di velocità del vento con un leggero anticipo rispetto all'altra stazione. In generale, comunque, la corrispondenza fra i dati appare buona, come mostrato anche nella Figura 7, in cui è riportato lo *scatterplot* dei valori di velocità delle due stazioni.

I valori della velocità del vento sono risultati inferiori a 8 m/s, anche se occorre segnalare un periodo di circa 8 ore in cui la velocità del vento ha superato questa soglia (a partire alle ore 8:00 del 27/12/2014), in particolare raggiungendo un massimo pari a 21.6 m/s presso LI 4 e pari a 20.3 m/s presso LI 1 (Figura 6). Per quanto riguarda, infine, i dati anemologici restituiti dalla stazione "Bocca d'Arno" questi ultimi risultano completi nell'arco del periodo d'interesse. Tali dati possono essere considerati meno rappresentativi della situazione presso la zona dello stabilimento ENI data la sua distanza dalla stazione di misura (11.5 km, Figura 8).

Al fine di renderli utilizzabili per le simulazioni, i dati anemologici delle stazioni sono stati tutti elaborati in modo tale riportarli a valori medi orari. In particolare è stato calcolato il vettore somma dei singoli vettori (velocità - direzione vento) relativi alla frazioni orarie su cui i dati sono mediati; di tale vettore vengono utilizzati direzione e modulo come grandezze rappresentative della direzione e della velocità

media del vento.

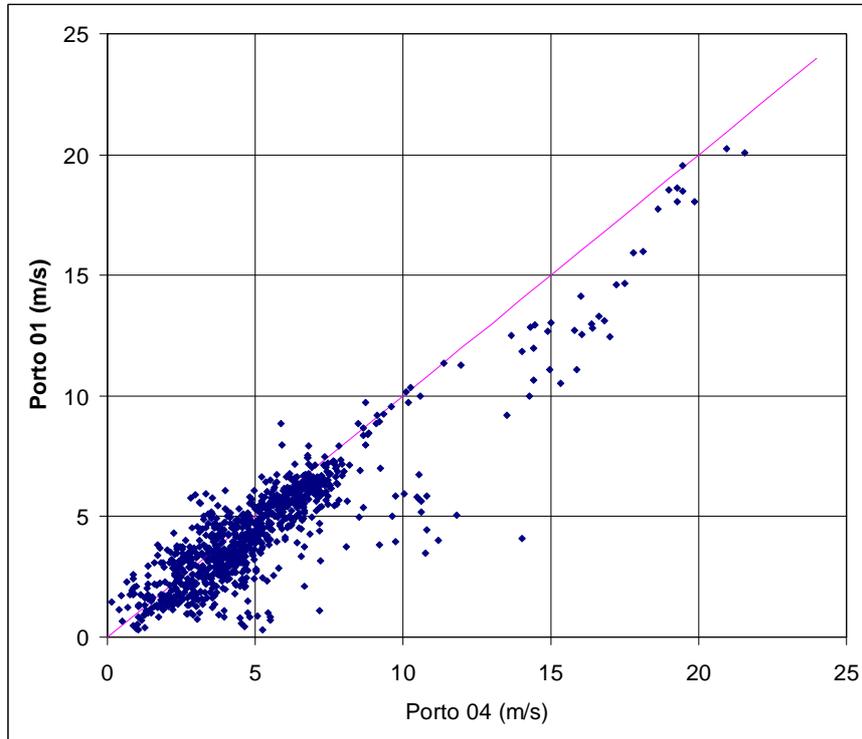


Figura 7 - Scatterplot delle medie di 10 minuti delle velocità del vento registrate presso le stazioni LI 1 e LI 4, nel periodo 23-30 dicembre 2014.

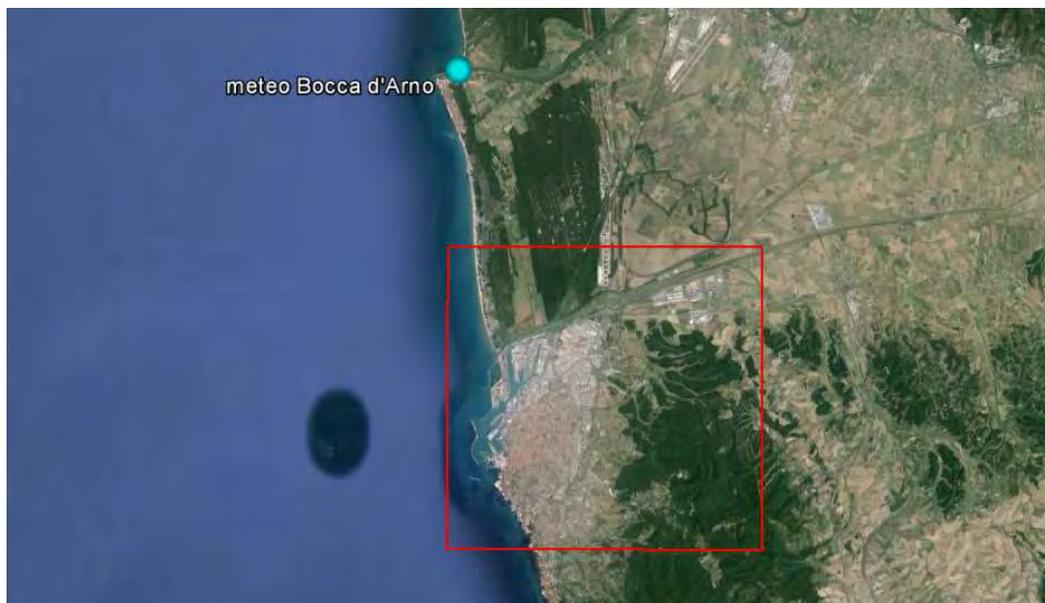


Figura 8 - Immagine satellitare (da Google Earth ©), in cui sono riportati: il dominio di calcolo utilizzato (12 km x 12 km, riquadro rosso) e la posizione della stazione meteo “Bocca d’Arno” (cerchio azzurro).

Per stimare la classe di stabilità atmosferica sono stati impiegati i dati della copertura nuvolosa ricavati dalle osservazioni effettuate presso la stazione dell’aeroporto di Pisa gestita dal Servizio meteorologico dell’Aeronautica militare. La stima è stata effettuata seguendo il metodo illustrato in [US-EPA, 1992], imponendo comunque che nelle ore caratterizzate da precipitazione la classe di stabilità sia quella neutra

(D). Poiché la classe di stabilità dipende dall'intensità del vento, la stima è stata ripetuta per i due insiemi di dati anemologici disponibili (stazioni presso il porto di Livorno e "Bocca d'Arno").

Per quanto riguarda l'altezza dello strato di rimescolamento è stata seguita la tecnica riportata in [US-EPA, 1992], secondo la quale in presenza di condizioni instabili (classi di stabilità A, B, C) o neutre (classe D) l'altezza di rimescolamento viene cautelativamente stimata come dovuta alla sola componente di turbolenza di origine meccanica; trascurando così la componente di origine termica spesso preponderante in tali condizioni. Viceversa in condizioni stabili (classi di stabilità E ed F) viene ipotizzata la presenza di un gradiente di temperatura corrispondente a tali condizioni a qualunque quota: in questo caso l'altezza dello strato di rimescolamento è posta pari a 10000 m. In ogni caso è stata imposta una quota minima di 400 m, appena superiore alle quote di innalzamento degli effluenti dai camini E1, E4, E7.

Infine, in tutte le simulazioni si è cautelativamente assunto che presso i punti recettori gli ossidi di zolfo emessi siano tutti convertiti in biossido di zolfo ($SO_2 = SO_x$).

Risultati delle simulazioni

In base alle impostazioni ed ai dati sopra illustrati sono state effettuate due serie distinte di simulazioni giornaliere, per ciascuna delle quali sono stati implementati i ratei emissivi per le tre sorgenti considerate (E1, E4, E7) in ognuna delle 24 ore dei giorni compresi nel periodo 23-30 dicembre 2014:

- una serie di simulazioni effettuate utilizzando il regime anemologico della stazione LI 1, quella più vicina alla zona di interesse. Quando possibile le lacune nella serie dei dati della stazione LI 1 sono state colmate utilizzando i dati della stazione LI 4, giacché presenta un andamento molto simile;
- una serie di simulazioni effettuate utilizzando il regime anemologico della stazione "Bocca d'Arno", sia al fine di evidenziare eventuali discrepanze con l'altra serie, sia al fine di ricavare indicazioni nel periodo di 28 ore in cui non sono disponibili i dati relativi ad entrambe le stazioni meteo presso il porto di Livorno.

Il calcolo delle concentrazioni è stato effettuato in tutti i 3721 punti recettori collocati all'interno del dominio di calcolo di 12 km x 12 km, ed in alcuni punti di interesse particolare già evidenziati nelle Figure 1 e 2 (coordinate UTM WGS84):

- M1: sito di ubicazione del mezzo mobile durante le campagne di misura 2013-2014 (609320.60 m E, 4827337.87 m N);
- QA1: stazione privata di monitoraggio della qualità dell'aria ARIAL a Collesalveti in via Carlo Marx (609218.44 m E, 4827251.61 m N);
- QA2: stazione pubblica di monitoraggio della qualità dell'aria sita a Livorno in via La Pira (607536.00 m E, 4824652.00 m N);
- QA3: stazione pubblica di monitoraggio della qualità dell'aria sita a Livorno in via Carducci (607325.00 m E, 4823165.00 m N);
- QA4: stazione pubblica di monitoraggio della qualità dell'aria sita a Livorno in via Cappiello (606741.00 m E, 4819290.00 m N);
- otto recettori sensibili (edifici ad uso abitativo):
 - o R1 - via Dante Alighieri 6, Collesalveti (608967.00 m E, 4827519.00 m N);
 - o R2 - via Curiel 53, Collesalveti (608929.00 m E, 4827194.00 m N);
 - o R3 - via Romita 93, Collesalveti (609369.00 m E, 4826989.00 m N);
 - o R4 - via Aiaccia 19, Collesalveti (608854.00 m E, 4826276.00 m N);
 - o R5 - corso Italia 64, Collesalveti (609102.00 m E, 4827863.00 m N);
 - o R6 - via Provinciale Pisana 559, Livorno (607903.00 m E, 4825421.00 m N);
 - o R7 - Campo al Melo, Livorno (611009.00 m E, 4825447.00 m N);
 - o R8 - via Grocco 11, Collesalveti (613585.00 m E, 4828199.00 m N).

I punti sopra elencati sono stati scelti al fine di ottenere un quadro il più possibile esaustivo, sia nell'abitato di Stagno che nel tessuto urbano della città di Livorno, delle ricadute di SO_2 presso i recettori

sensibili attribuibili alle emissioni E1, E4, E7 dello stabilimento ENI.

Per ciascuna delle due simulazioni e per ognuno dei giorni di interesse sono state stimate la media massima oraria e la media giornaliera delle concentrazioni di SO₂ in aria ambiente presso ciascuno dei recettori di interesse. Inoltre, sono state individuate per ciascun giorno il valore orario e la media giornaliera più elevate delle concentrazioni di SO₂ stimate in tutti i 3721 punti del reticolo di calcolo. I dati ricavati sono riportati nelle Tabelle 3 e 4.

Tabella 3 - Dati riassuntivi delle concentrazioni di SO₂ in aria ambiente ottenute utilizzando il regime anemologico delle stazioni LI 1/LI 4 (23-30 dicembre 2014).

Giorni	SO ₂ (µg/m ³)	Recettori di interesse												max*	
		M1	QA1	QA2	QA3	QA4	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7		R8
23	massimo	12	13	16	9	4	13	14	12	39	11	19	23	3	133
	media	0	1	1	0	0	1	1	1	3	0	1	4	0	12
24	massimo	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	10	0	28
	media	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	5	0	6
25	massimo	0	0	0.4	2	4	0	0	0	9	0	0	53	0	71
	media	0	0	0	0.1	0.2	0	0	0	2	0	0	13	0	20
26	massimo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18
	media	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
27	massimo	10	7	0	0	0	10	5	4	0	16	0	0	3	47
	media	0.7	0.5	0	0	0	0.7	0.6	0.4	0	1	0	0	0	15
28	massimo	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	media	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
29	massimo	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	media	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
30	massimo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20
	media	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
Periodo 23-30	massimo	12	13	16	9	4	13	14	12	39	16	19	53	3	
	media +	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2	0	

* max indica la media oraria massima e la media giornaliera massima stimate presso i 3721 recettori nel dominio di calcolo
+ media complessiva del periodo 23-30 dicembre 2014

Tabella 4 - Dati riassuntivi delle concentrazioni di SO₂ in aria ambiente ottenute utilizzando il regime anemologico della stazione "Bocca d'Arno" (23-30 dicembre 2014).

Giorni	SO ₂ (µg/m ³)	Recettori di interesse												max*	
		M1	QA1	QA2	QA3	QA4	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7		R8
23	massimo	15	16	57	53	26	19	20	16	22	17	49	6	5	64
	media	1	1	5	4	2	1	1	1	2	1	4	1	1	7
24	massimo	0	0	0	0	0	0	0	4	11	0	0	4	8	19
	media	0	0	0	0	0	0	0	1	0.5	0	0	1	3	7
25	massimo	24	20	0	2	3	0	0	30	5	0	0	42	38	138
	media	1	1	0	0	0	0	0	5	0.4	0	0	2	6	17
26	massimo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44
	media	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
27	massimo	3	2	0	0	0	5	3	4	0	5	0	7	3	92
	media	0.2	0.2	0	0	0	0.2	0.2	0.2	0	0.2	0	0.6	0	14
28	massimo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18
	media	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
29	massimo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	37
	media	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
30	massimo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18
	media	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
Periodo 23-30	massimo	24	20	57	53	26	19	19	30	22	17	49	43	38	
	media +	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	

* max indica la media oraria massima e la media giornaliera massima stimate presso i 3721 recettori nel dominio di calcolo
+ media complessiva del periodo 23-30 dicembre 2014

Le concentrazioni massime orarie assolute di SO₂ ottenute in ciascuna simulazione sono pari a:

- 133 µg/m³ (evento in data 23/12/2014), utilizzando i dati anemologici della stazione LI 1/LI 4. La posizione di tale valore massimo è a circa 1.6 km dallo stabilimento in direzione SW;
- 138 µg/m³ (evento in data 25/12/2014), utilizzando i dati anemologici della stazione “Bocca d’Arno”. La posizione di tale valore massimo è a circa 6.4 km dallo stabilimento in direzione SE.

Nella Figura 9 sono indicate le posizioni dei citati punti di massimo, rispetto alle tre sorgenti emmissive E1, E4, E7 dello stabilimento ENI.

Come era da attendersi, in ragione delle elevate quote di rilascio in atmosfera i livelli più elevati delle concentrazioni di SO₂ in aria ambiente dovute alle tre emissioni non tendono a verificarsi nelle immediate vicinanze delle sorgenti emmissive, bensì a partire da una certa distanza (dell’ordine di 1 km). Tale osservazione conferma quanto già emerso nell’analisi ambientale finalizzata all’installazione di una nuova stazione di rilevamento della qualità dell’aria nella zona di Stagno [ARPAT, 2014 a]¹⁰.

Si evidenzia inoltre come a partire dal giorno 26/12/2014 i valori stimati presso i recettori discreti risultano essere estremamente contenuti – se non nulli – sia come medie giornaliere sia come massimi orari. Tale comportamento deriva dal fatto che a partire dal giorno indicato i venti tendono a provenire esclusivamente dai quadranti orientali (vento di terra) e pertanto gli inquinanti sono sospinti in direzione del mare. Le concentrazioni di SO₂ in aria ambiente ottenute utilizzando i dati anemologici della stazione “Bocca d’Arno” confermano che tale tendenza rimane invariata anche durante le 28 ore in cui non sono disponibili i dati anemologici in entrambe le stazioni LI 1 e LI 4.

Si rileva inoltre che:

- le concentrazioni orarie massime di SO₂ stimate nell’arco temporale in oggetto presso i recettori di interesse tendono a variare all’interno di un intervallo di valori piuttosto ampio (toccando anche livelli dell’ordine di grandezza di 40-60 µg/m³) in entrambe le simulazioni;
- le concentrazioni medie giornaliere di SO₂ stimate presso i recettori di interesse appaiono invece molto più uniformi, comunque inferiori a 10 µg/m³: nella maggioranza dei casi pari a nulle oppure attorno ad 1 µg/m³;
- il 23/12/2014 è il giorno che presenta in genere le concentrazioni di SO₂ più elevate presso i recettori di interesse.

In Figura 10 e 11 sono rappresentate, a titolo esemplificativo, le stime delle distribuzioni sul territorio delle concentrazioni medie giornaliere di SO₂ in aria ambiente dovute alle emissioni E1, E4, E7 dello stabilimento ENI, nei giorni 23 e 30 dicembre rispettivamente. Ovviamente tali distribuzioni risentono dell’andamento dei venti (intensità e direzione) spirati durante i due giorni in questione, che nelle due figure sono quelli rilevati dalla stazione LI 1/LI 4.

¹⁰ Si veda il particolare il paragrafo “Valutazione complessiva delle informazioni raccolte”, pagg. 21-22.

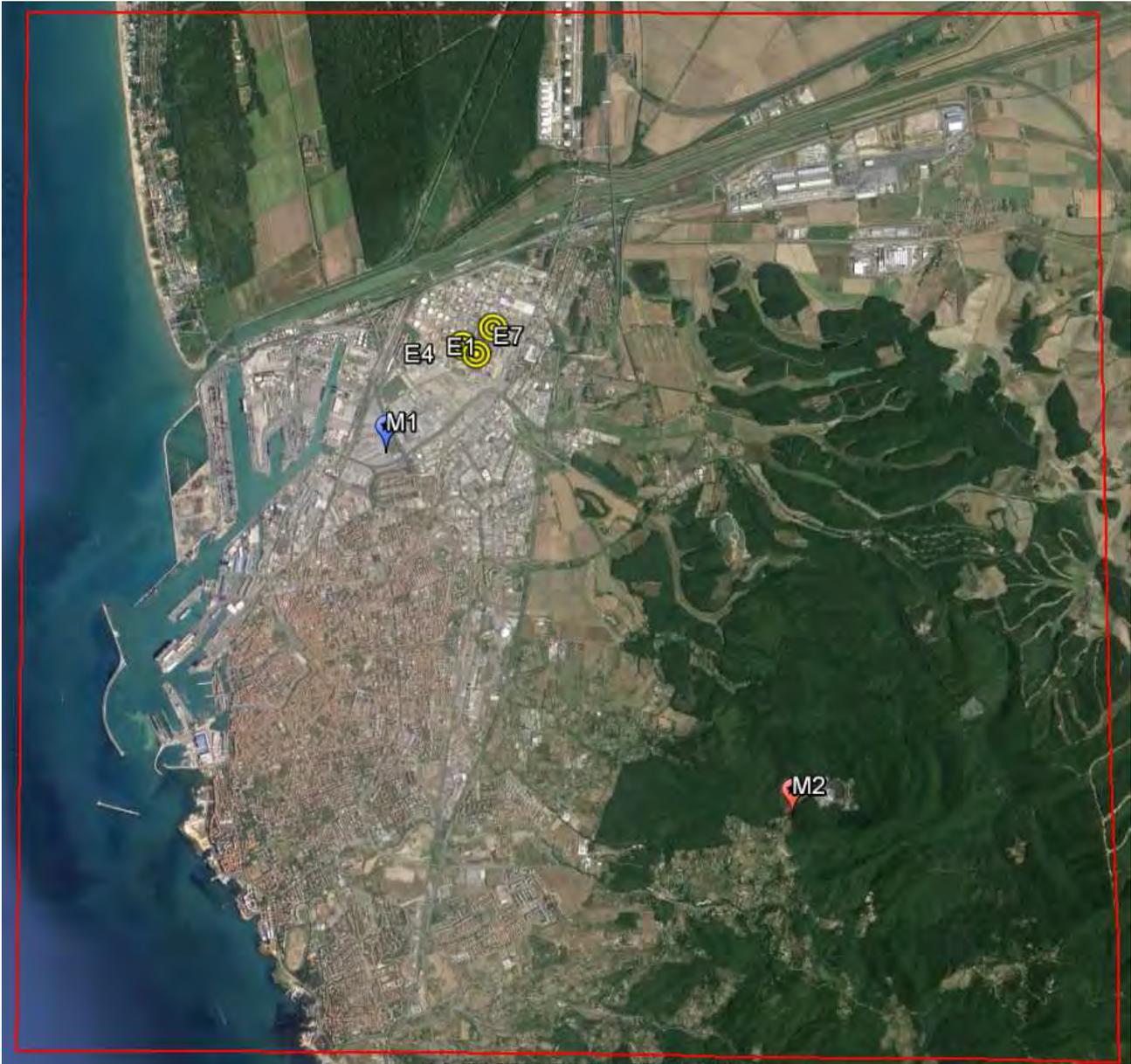


Figura 9 - Immagine satellitare (da Google Earth ©). Sono riportati: il dominio di calcolo utilizzato (12 km x 12 km, riquadro rosso); la posizione dei punti di emissione di interesse (E1 “topping”, E4 “plat”, E7 “lube”) dello stabilimento ENI di Collesalvetti (cerchi gialli); la posizione dei punti in cui sono stimate le massime concentrazioni orarie di SO₂ in aria ambiente, rispettivamente utilizzando i dati anemologici delle stazioni LI 1/LI 4 (M1) e quelli della stazione “Bocca d'Arno” (M2).



Figura 10 - Immagine satellitare (da Google Earth ©) dell'area di interesse. Sono riportati: il dominio di calcolo utilizzato (12 km x 12 km, riquadro rosso); la posizione dei punti di emissione di interesse (E1 “topping”, E4 “plat”, E7 “lube”) dello stabilimento ENI di Collesalveti (cerchi gialli); la posizione delle otto abitazioni scelte come recettori sensibili (circonferenze verdi: R1 – R8). Le isolinee rappresentate sono ottenute utilizzando le concentrazioni medie giornaliere di SO₂ in aria ambiente dovute alle fonti emissive citate, relativamente al giorno 23/12/2014. La legenda è espressa in µg/m³.



Figura 11 - Immagine satellitare (da Google Earth ©) dell'area di interesse. Sono riportati: il dominio di calcolo utilizzato (12 km x 12 km, riquadro rosso); la posizione dei punti di emissione di interesse (E1 “topping”, E4 “plat”, E7 “lube”) dello stabilimento ENI di Collesalveti (cerchi gialli); la posizione delle otto abitazioni scelte come recettori sensibili (circonferenze verdi: R1 – R8). Le isolinee rappresentate sono ottenute utilizzando le concentrazioni medie giornaliere di SO₂ in aria ambiente dovute alle fonti emissive citate, relativamente al giorno 30/12/2014. La legenda è espressa in µg/m³.

Confronto con i limiti di legge

I limiti di riferimento “per la protezione della salute umana” relativi agli inquinanti gassosi sono stati stabiliti dalla normativa europea e recepiti in Italia con D.Lgs. n. 155 del 13 agosto 2010 [DLgs 155/2010]. In particolare nella Tabella 5 sono riportati i limiti relativi al biossido di zolfo.

Tabella 5 – Biossido di zolfo (SO₂): limiti fissati dalla normativa vigente in materia di qualità dell’aria (D.Lgs. n. 155/2010: Allegato XI e Allegato XII).

	Periodo di mediazione	Valore
Limite orario per la protezione della salute umana.	1 ora	350 µg/ m ³ da non superare più di 24 volte per anno civile
Limite di 24 ore per la protezione della salute umana	24 ore	125 µg/ m ³ da non superare più di 3 volte per anno civile
Soglia di Allarme	1 ora	500 µg/ m ³ da non superare più di 2 ore consecutive

Occorre tenere presente, che i risultati ottenuti con le simulazioni costituiscono il solo contributo alle concentrazioni di SO₂ in aria ambiente dovuto alle emissioni E1, E4, E7, i cui ratei emissivi sono stati utilizzati come input per il modello di dispersione.

E’ pacifico che esistano altre sorgenti emissive all’interno e nelle vicinanze del dominio di calcolo considerato (altre emissioni industriali, emissioni da impianti termici civili, emissioni da traffico), il cui contributo costituisce un “fondo” di concentrazione di SO₂ in aria ambiente di cui deve essere tenuto conto in sede di confronto con i limiti normativi. Per stimare l’ordine di grandezza del “fondo” sono stati esaminati i dati rilevati dalla stazione di monitoraggio della qualità dell’aria sita a Livorno, in via La Pira (classificata come “urbana-fondo”), attiva durante il periodo 23-30 dicembre 2014 (Figura 12).

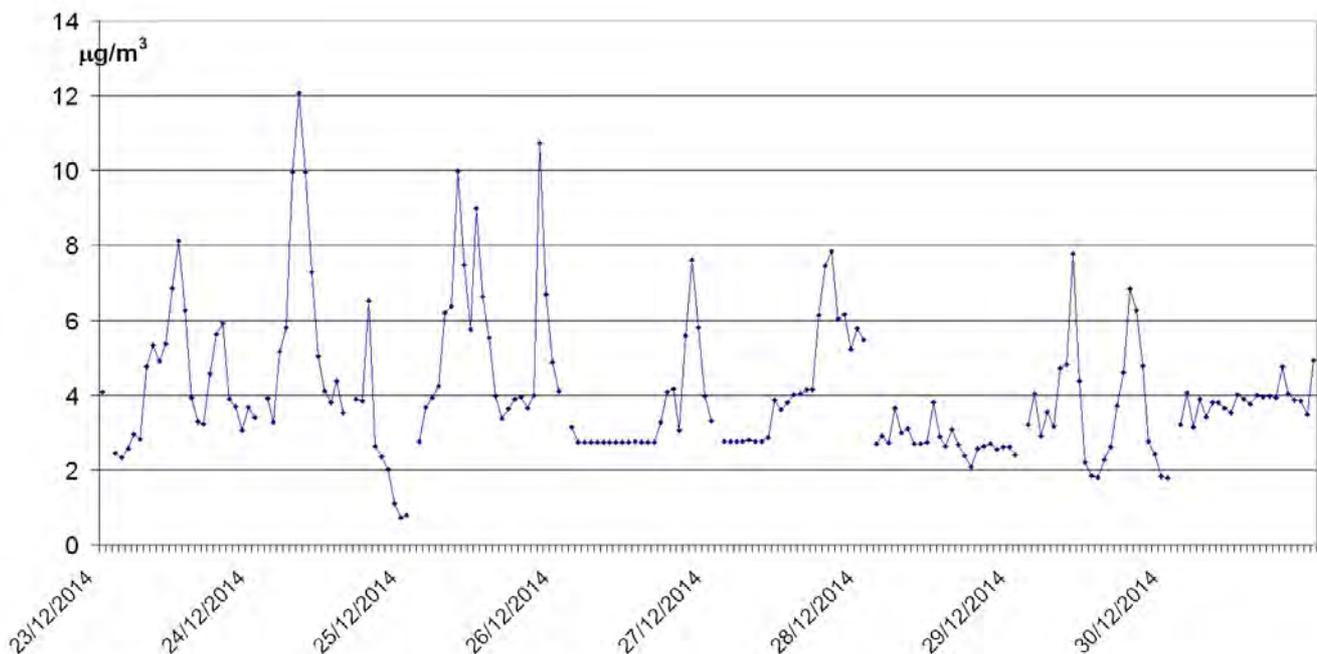


Figura 12 - Andamento delle concentrazioni orarie di SO₂ in aria ambiente registrate presso la stazione di Livorno-La Pira nel periodo 23-30 dicembre 2014.

Nella Tabella 6 si riportano le medie e i massimi giornalieri rilevati presso la stazione Livorno-La Pira durante il periodo 23-30 dicembre 2014.

Tabella 6 – Concentrazioni di SO₂ in aria ambiente rilevate presso la stazione di Livorno-La Pira nel periodo 23-30 dicembre 2014.

Giorno	Media giornaliera (µg/m ³)	Massimo orario (µg/m ³)
23/12/2014	4.3	8.1
24/12/2014	4.8	12.1
25/12/2014	5.3	10.7
26/12/2014	3.5	7.6
27/12/2014	4.3	7.8
28/12/2014	2.9	5.5
29/12/2014	3.7	7.8
30/12/2014	3.8	4.9

Nella Tabella 7 sono riportati i valori massimi delle concentrazioni di SO₂ in aria ambiente (Tabelle 3 e 4) stimati con le simulazioni effettuate, utilizzando i regimi anemologici ricavati rispettivamente dalla stazione LI 1/LI 4 e “Bocca d’Arno”. A tali concentrazioni vengono aggiunti i valori rilevati negli stessi giorni presso la stazione di Livorno-La Pira (Tabella 6), assunta come rappresentativa del “fondo”, e quindi confrontati con i valori limite fissati dalla normativa.

Tabella 7 - Confronto fra le stime delle concentrazioni di SO₂ in aria ambiente dovute alle emissioni E1, E4, E7 dello stabilimento ENI di Collesalveti, maggiorate con il valore di “fondo” rilevato presso la stazione di Livorno-La Pira, ed i limiti di legge vigenti.

	Concentrazione di SO ₂ in aria ambiente (µg/m ³)			Limiti di legge (µg/m ³)
	Contributo emissioni E1, E4, E7	Valore di “fondo”	Totale	
Simulazione con dati anemologici rilevati presso il porto di Livorno (LI 1/LI 4)				
Media giornaliera più elevata presso i recettori discreti (25/12/2015)	13	5.3	18.3	125
Media giornaliera più elevata nel dominio di calcolo (25/12/2015)	20	5.3	23.3	
Media oraria più elevata presso i recettori discreti (25/12/2015)	53	10.7	63.7	350
Media oraria più elevata nel dominio di calcolo (23/12/2015)	133	8.1	141.1	
Simulazione con dati anemologici rilevati presso “Bocca d’Arno”				
Media giornaliera più elevata presso i recettori discreti (25/12/2015)	6	5.3	11.3	125
Media giornaliera più elevata nel dominio di calcolo (25/12/2015)	17	5.3	22.3	
Media oraria più elevata presso i recettori discreti (23/12/2015)	57	8.1	65.1	350
Media oraria più elevata nel dominio di calcolo (25/12/2015)	138	10.7	148.7	

Dalla Tabella 7 si rileva che il contributo delle sorgenti emmissive E1, E4, E7 dello stabilimento ENI stimato con il codice WinDimula non appare sufficiente a determinare il superamento dei limiti di legge

in alcun punto del dominio di calcolo¹¹.

Sintesi conclusiva

Con il presente studio sono state stimate, per mezzo di idoneo codice di calcolo (WinDimula), le concentrazioni di SO₂ in aria ambiente sulla città di Livorno e sull'abitato di Stagno (Collesalvetti) attribuibili alle emissioni E1, E4, E7 dello stabilimento ENI durante il periodo 23-30 dicembre 2014.

E' stato effettuato un confronto con i limiti di legge sommando i valori massimi stimati con WinDimula al "fondo" dovuto alle altre sorgenti attive nella zona, rappresentato dalle concentrazioni in aria ambiente rilevate presso la stazione di monitoraggio della qualità dell'aria Livorno-La Pira durante il periodo di interesse.

Dai dati stimati e dai confronti effettuati emergono le seguenti conclusioni essenziali:

- 1) nei giorni 25, 26 e 27 dicembre 2014, si sono rilevate due serie, rispettivamente di 13 e 16 ore, di emissioni anomale di SO_x (tali da superare in alcuni casi il rateo di 150 g/s) dalla sorgente E4 "plat", presumibilmente associabili con le operazioni di ravvio degli impianti;
- 2) il contributo alle concentrazioni di SO₂ in aria ambiente attribuibile alle emissioni delle sorgenti E1, E4, E7 dello stabilimento ENI di Collesalvetti durante il periodo 23-30 dicembre 2014 non appare comunque tale da determinare superamenti dei limiti stabiliti dalla normativa vigente. Stante la quota di sbocco delle emissioni considerate, i livelli più elevati delle concentrazioni di SO₂ in aria ambiente dovute alle tre emissioni in questione non tendono a verificarsi nelle immediate vicinanze delle sorgenti emmissive, bensì a partire da una certa distanza (dell'ordine di 1 km);
- 3) in generale, i contributi stimati appaiono avere una qualche rilevanza sull'abitato di Stagno e sul tessuto urbano livornese solamente nei primi tre giorni del periodo di interesse. Nei giorni successivi, a causa del regime anemologico caratterizzato da venti prevalenti spiranti dai quadranti orientali, le stime delle ricadute sulle zone abitate risultano essere nulle o trascurabili.

Dott. Ing. *Andrea Lupi*
Settore Modellistica previsionale
Area Vasta Centro

Dott. *Antongiulio Barbaro*
Responsabile Settore Modellistica previsionale
Area Vasta Centro

Firenze, 6 marzo 2015

¹¹ I dati restituiti dalle ultime campagne di misura svolte con il mezzo mobile presso l'abitato di Stagno [ARPAT, 2014 b] sono relativi a periodi di tempo differenti da quello di interesse e pertanto il loro utilizzo in questo caso come "fondo" per il confronto con i limiti di legge non appare corretto, giacché non essendovi coincidenza temporale sono diverse le condizioni meteo verificatesi durante le campagne di misura da quelle del periodo 23-30 dicembre 2014. Si segnala comunque che anche le concentrazioni di SO₂ massime per la media giornaliera e per la media oraria misurate durante tali campagne (rispettivamente 11 µg/m³ e 38 µg/m³) non costituirebbero comunque un "fondo" sufficiente a determinare il superamento dei limiti di legge.

Bibliografia

[ARPAT, 2014 a]: ARPAT, “Monitoraggio della qualità dell’aria nella zona di Stagno: analisi preliminare del contesto ambientale”, aprile 2014 (trasmessa alla Regione Toscana con nota ARPAT del 8/5/2014, prot. n. 2014/0030906).

[ARPAT, 2014 b]: ARPAT, “Campagna di rilevamento con mezzo mobile presso via Costituzione, Stagno, Comune di Collesalveti (LI), giugno 2013 – aprile 2014”, 2014
(<http://www.arpat.toscana.it/documentazione/report/campagna-di-misurazione-della-qualita-dell-aria-con-laboratorio-mobile-in-via-costituzione-a-stagno-comune-di-collesalveti-li-anni-2013-2014>).

[ARPAT, 2013]: ARPAT, “Campagna di rilevamento con mezzo mobile presso via Costituzione, Stagno, Comune di Collesalveti (LI), 3 ottobre – 6 novembre 2012”, 2013
(<http://www.arpat.toscana.it/documentazione/report/campagna-di-rilevamento-con-mezzo-mobile-presso-via-costituzione-stagno-comune-di-collesalveti-li>).

[DLgs 155/2010]: Decreto Legislativo 13 agosto 2010, n. 155, “Attuazione della direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell’aria ambiente e per un’aria più pulita in Europa” (GU n. 216 del 15/9/2010, Suppl. Ordinario n. 217)
(<http://www.normattiva.it/uri-res/N2Ls?urn:nir:stato:decreto.legge:2010-08-13;155!vig=06-03-2015>).

[MAIND, 2011]: Maind srl, “WinDimula 3.0 – Descrizione delle equazioni utilizzate dal modello WD3”, 2011
(http://www.maind.it/document/windimula_equazioni.pdf).

[US-EPA, 1992]: US-EPA, “Screening Procedures for Estimating the Air Quality Impact of Stationary Sources, Revised”, EPA-454/R-92-019, 1992
(http://www.epa.gov/ttn/scram/guidance/guide/EPA-454R-92-019_OCR.pdf).