

4.2 FATTORI E COMPONENTI AMBIENTALI PERTURBATI DAL PROGETTO NELLE SUE DIVERSE FASI

4.2.1 Atmosfera

4.2.1.1 Situazione ambientale attuale

4.2.1.1.1 *Climatologia e meteorologia*

Climatologia regionale

Le complesse caratteristiche orografiche della Toscana conferiscono alla regione una notevole varietà climatica. In particolare la regione risente della decisa azione mitigatrice esercitata dal mare Tirreno, della sua esposizione complessiva ad occidente e della protezione ad oriente offerta dalla barriera appenninica la quale imbriglia e rallenta le correnti aeree predominanti da occidente e contrasta validamente le correnti nord-orientali, meno frequenti ma abbastanza rigide d'inverno. In particolare l'area in esame rientra tra le aree collinari e di bassa montagna del bacino principale dell'Arno che è caratterizzato da un clima temperato sublitoraneo (di tipo C secondo la classificazione del Koppen) che ha le seguenti caratteristiche:

- temperatura media annua fra 10°C e 14.4°C,
- temperatura media mensile del mese più freddo tra 6°C e 9.9°C,
- tre mesi con temperatura media superiore a 20° C,
- escursione annua tra 16°C e 19°C.

Per le descrizioni dei parametri climatici dell'area si farà riferimento alle stazioni SMAM più vicine all'area in esame (Firenze 40 m s.l.m., Arezzo 248 m s.l.m., Siena 349 m s.l.m. e Radicofani 787 m s.l.m.) e ad altre stazioni presenti nella zona del Valdarno superiore (Vallombrosa 955 m s.l.m., Camaldoli 1111 m s.l.m., Monteverchi 163 m s.l.m., Bibbiena 425 m s.l.m.). Il regime pluviometrico della zona in esame è caratterizzato dalla presenza di un massimo principale di precipitazioni nei mesi di ottobre e novembre e di un massimo secondario nel mese di marzo. Tali caratteristiche sono riscontrabili nella tabella 4.2.1.1.1/I, dove sono presentate per alcune località della zona in esame le medie mensili e annue della quantità di pioggia. Il minimo principale dell'annata cade generalmente nel mese di luglio, con valori compresi tra 25 e 53 mm.

Le caratteristiche dell'andamento termico annuo, evidenziate dai valori delle temperature medie mensili massime e minime che si registrano rispettivamente nei mesi di luglio e gennaio, mostrano condizioni di temperatura mite in tutte le stagioni con valori tra i 4.9 e i 24 °C.

Per quanto riguarda l'umidità relativa si hanno valori moderati e abbastanza uniformi sul territorio della valle dell'Arno. Ad Arezzo si ha un valore medio annuale del 64% e a Firenze del 65%; solo poche stazioni in qualcuno dei mesi invernali registrano valori medi intorno all'80%.

Data la generale complessità orografica della zona in esame il regime anemologico al suolo risulta in larga parte determinato dalle particolari caratteristiche orografiche locali. Si hanno infatti una direzione di provenienza prevalente da N-NE ed una frequenza percentuale di calme di vento pari al 61 per la stazione di Firenze; venti da N-NW e 49% di calme per la stazione di Siena, venti da S-SW e 68% di calme per la stazione di Arezzo ed infine venti da S-SE e 12% di calme per la stazione di Radicofani. Per quanto riguarda i dati in quota si ha, a Firenze, che il vento con frequenza più elevata è decisamente quello che proviene tra N e E. Nei bassi strati è prevalente l'E in estate ed in autunno e il NE in inverno e primavera. Sopra ai 1000 m invece prevale il N nell'autunno e nell'inverno, il NE nella primavera e il SW nell'estate.

La nuvolosità del cielo presenta il massimo nel mese di dicembre ed il minimo nei mesi di luglio e agosto. I giorni nuvolosi e coperti sono molto più numerosi sulle pendici montane e sui rilievi in genere, a causa degli effetti orografici sui movimenti delle masse d'aria. Firenze mostra 121 giorni di sereno contro gli 87 di Arezzo e viceversa Arezzo mostra 109 giorni coperti contro gli 82 di Firenze. I giorni misti sono pressoché gli stessi: 162 a Firenze contro 169 ad Arezzo.

La nebbia per questa zona risulta un fenomeno con estesa variabilità spaziale e temporale, le medie annue per le stazioni di montagna sono abbastanza elevate: 52 giorni a Radicofani e 48 giorni all'Eremo di Camaldoli. Nelle altre stazioni invece si hanno valori di circa 10-30 giorni con nebbia all'anno. Durante l'anno è pressoché sempre possibile il verificarsi del fenomeno: il massimo principale si ha nei mesi da novembre a gennaio e il minimo nei mesi di luglio e agosto.

Le manifestazioni temporalesche sono mediamente elevate nel corso dell'anno. La media annua dei giorni con temporale è pari a 6. Il numero effettivo di temporali in un anno risulta però 3-4 volte maggiore, ciò sta a dimostrare che in diversi casi si hanno più temporali nel corso della stessa giornata.

Per quanto riguarda la neve il numero medio annuo di giorni con caduta di neve per l'intera regione è di 2,8, escludendo la stazione di Camaldoli per la sua rilevante altitudine rispetto alle altre stazioni; comprendendola si raggiungerebbe un valore di 7,25 giorni.

Climatologia locale

Il sito di S. Barbara è posto nella valle del fiume Arno tra Firenze ed Arezzo ad una quota di circa 150 m sul livello del mare e sul lato sinistro del fiume. Il territorio che circonda il sito è sostanzialmente collinare e presenta i maggiori rilievi in direzione SW con le colline del Chianti, che si aggirano sui 700 m, ed in direzione NE con i monti del Pratomagno, di circa 1400 m di altezza. Le caratteristiche orografiche del territorio in

esame sono illustrate nella figura 4.2.1.1.1/I in cui sono riportate le curve altimetriche della zona circostante il sito di S. Barbara.

Le caratteristiche della meteorologia su scala locale vengono di seguito descritte sulla base dei dati raccolti dall'ENEL sul sito in cui è prevista la trasformazione in ciclo combinato della esistente centrale termoelettrica. Dall'analisi dei tracciati della direzione del vento si è ottenuta una valutazione della classe di stabilità atmosferica sulla base dello schema proposto da Singer-Smith (1966).

L'andamento delle precipitazioni nelle tre postazioni prossime alla centrale (Vacchereccia, la Minierina e Poggio al Vento) si presenta, come si rileva dai dati riportati in tabella 4.2.1.1.1/IIa e 4.2.1.1.1/IIb, con un massimo mensile in ottobre o dicembre e un secondo massimo primaverile in maggio. L'andamento è simile a quello delle altre stazioni limitrofe anche se inferiore come piovosità totale.

I valori di temperatura dell'aria riscontrati a Vacchereccia nel periodo '80-'87 e a La Minierina per gli anni 93 e 94, sono riportati in tabella 4.2.1.1.1/III. I valori medi annuali a Vacchereccia sono tra i 12 e i 13 °C, mentre La Minierina, vista la sua posizione a più bassa quota, segna valori più elevati per questi ultimi due anni. Il mese più caldo è luglio con massime medie di 28,3°C e massime assolute di 43,1°C; il mese più freddo è gennaio con media delle minime pari a 1,8°C e minima assoluta di -15,9°C. Dicembre presenta una minima assoluta ancora più bassa legata ad un evento eccezionale riscontrato nel 1981. In generale si osserva una sostanziale congruenza con i dati climatici delle stazioni vicine. Le giornate con valori di temperatura inferiori allo zero, che indicano una elevata probabilità di gelate, sono in media tra 36 e 43 come riportato in tabella 4.2.1.1.1/IV.

I valori di umidità relativa nella stazione di Vacchereccia e di La Minierina sono riportati in tabella 4.2.1.1.1/V calcolati come media diurna e valori caratteristici alle ore 7 e alle ore 13. L'umidità relativa del sito di S. Barbara si attesta su valori mediamente superiori a quelli della zona circostante, come risulta dai dati di La Minierina in particolare alle ore 7. Per Vacchereccia, invece, i valori medi sono inferiori a quelli di Firenze alle ore 7 e superiori a quelli delle ore 13 in particolare d'estate.

Per quanto riguarda le caratteristiche anemologiche, per la postazione di Vacchereccia si può rilevare una sostanziale polarizzazione NW - SE e abbastanza frequenti condizioni di calma di vento. La rosa dei venti annuale (sull'intero periodo '80-'87) è riportata in figura 4.2.1.1.1/II con la doppia rappresentazione per classi di intensità e per velocità media. In figura 4.2.1.1.1/III sono riportate le rose dei venti stagionali. Si conferma per tutte le stagioni un comportamento analogo a quello annuale con l'accentuazione delle provenienze da SE in inverno e da NW in estate. La maggior frequenza dei casi di calma (44.6%) si riscontra in autunno e la minore (25.7%) in primavera.

L'analisi delle rose dei venti mostra l'effetto predominante della conformazione orografica della valle dell'Arno sulle caratteristiche del regime anemologico

confermando l'importanza di utilizzare dati rilevati in loco per la caratterizzazione anemologica di un sito ad orografia complessa.

La distribuzione mensile ed annuale delle categorie di stabilità relativamente alle postazioni di Vacchereccia e La Minierina è presentata nella tabella 4.2.1.1.1/VI, dalla quale si può notare l'ampio prevalere di condizioni di stabilità atmosferica di tipo neutro e stabile (classi D ed F). In particolare la classe neutra (D) è quella più frequente, a Vacchereccia, sia a livello annuale che mensile e stagionale. Le classi instabili (A, B e C) sono più frequenti in primavera ed estate mentre, le classi stabili (E ed F) sono più frequenti in inverno ed autunno. A la Minierina la categoria più frequente è quella più stabile (F) in tutto il periodo dell'anno seguita dalla B in estate o dalla D nelle altre stagioni. La distribuzione oraria delle classi di stabilità, in cui vengono evidenziate le ore di maggiore occorrenza delle varie classi, si presenta con l'andamento tipico giornaliero, che vede l'occorrenza delle categorie instabili nelle ore centrali della giornata e delle categorie stabili nelle ore notturne.

Per la postazione di Vacchereccia i dati di velocità e direzione del vento sono stati elaborati in funzione delle condizioni di stabilità ottenendo le rose di vento e stabilità riportate nelle figure 4.2.1.1.1/IV ÷ VI. Le categorie più instabili (A e B) sono associate a venti deboli (la frequenza delle calme raggiunge il 42% circa per la A) con una certa presenza delle direzioni provenienti dal primo quadrante legate all'effetto di brezza delle colline disposte a SW. In categoria C si riscontra già nettamente la prevalenza delle direzioni parallele alla valle dell'Arno, le intensità ad essa associate sono già più elevate. In Categoria D la percentuale delle calme di vento scende al 23% mentre sono più frequenti le classi di intensità elevata sempre dalle due direzioni citate. La categoria E (stabile) ha un andamento pressoché simile a quello della D forse perché maggiormente presente nei periodi di transizione. La F si presenta invece associata a condizioni di calma di vento (67%) e alle sole direzioni da SE di caduta lungo la valle dell'Arno.

Circolazioni locali e strutture termodinamiche dell'atmosfera

La caratterizzazione della meteorologia del sito ai fini della previsione dell'influenza della centrale sulla qualità dell'aria richiede, oltre all'esame degli andamenti su lungo periodo dei principali parametri meteorologici riportato nei precedenti paragrafi, una compiuta descrizione delle diverse circolazioni e strutture termodinamiche dell'atmosfera che si verificano localmente, in corrispondenza delle diverse situazioni meteorologiche sinottiche.

A tal fine sono state realizzate apposite campagne sperimentali e analizzati i dati per i "tipi di tempo" più rappresentativi.

Le campagne sperimentali svolte sul sito sono state effettuate nelle stagioni invernale ed estiva rispettivamente nei periodi:

dal 12-02 al 04-03-1988 (inverno 87);

dal 29-06 al 25-07-1988 (estate 88).

Durante tali periodi sono state posizionate tre stazioni di misura così strumentate:

- in zona "Vacchereccia", su un pianoro con esposizione a N alla stessa quota della stazione meteorologica fissa di centrale, è stata attivata una stazione meteorologica completa al suolo e una stazione per radiosondaggi in quota di vento, temperatura e umidità.
- in zona "Arno", in prossimità del fiume Arno all'altezza di S. Giovanni Valdarno, è stata attivata una stazione per la misura del profilo verticale di vento.
- in zona "Poggio al Vento", in un'area aperta in prossimità della sede del RIT, è stata attivata una stazione meteorologica completa al suolo e una stazione per la misura del profilo verticale di vento.

Le tecniche di misura utilizzate per le misure in quota sono quella dei radiosondaggi con sonde a perdere e/o con pallone frenato per la misura del profilo verticale di temperatura e vento, e quella dell'inseguimento, mediante singolo teodolite, di un pallone pilota a spinta ascensionale nota per la sola misura del profilo di vento. Tutti i sondaggi sono stati eseguiti con frequenza trioraria dalle ore 4 alle 22 (TMEC) ad esclusione di Poggio al Vento che effettuava il sondaggio con il ritardo di un'ora.

Tale disposizione di strumentazione è risultata adeguata per caratterizzare compiutamente la struttura termodinamica verticale sul sito fino alle quote raggiunte dal sondaggio.

E' stata inoltre effettuata l'analisi meteorologica sinottica dei periodi di campagna per identificare raggruppamenti di periodi omogenei e definire i "tipi di tempo" relativi a tutte le giornate di misura. Le figure 4.2.1.1/VII - VIII riportano gli andamenti temporali dei tipi di tempo, della nuvolosità e della pioggia durante i diversi periodi di misura.

I "tipi di tempo" rappresentano schematizzazioni delle circolazioni ricorrenti, a livello sinottico, derivate dalle carte isobariche a 850 hPa, cui sono state assegnate, (Borghi, Giuliacci, 1979; Giuliacci 1985; ENEL DCO LP, 1994) attraverso un esame empirico su un periodo pluriennale, le frequenze di occorrenza.

Ciascun tipo di tempo induce sul sito determinati andamenti delle circolazioni locali e delle strutture verticali dell'atmosfera, che governano la dispersione degli effluenti aeriformi.

In figura 4.2.1.1/IX sono schematizzate le configurazioni bariche in rapporto ai diversi tipi di tempo e in tabella 4.2.1.1/VII sono illustrate le caratteristiche salienti per ogni configurazione. In tabella 4.2.1.1/VIII sono riportate le frequenze percentuali di occorrenza dei questi tipi di tempo (elaborazione DCO-LP separando il tipo 2 nei 3 sottotipi) a confronto con quelle precedentemente utilizzate e calcolate da Borghi. Pertanto la classificazione suddetta fornisce una guida per una

caratterizzazione meteorologica del sito che consente di valutare le variazioni delle circolazioni locali.

Vengono qui analizzate le rose dei venti per tipo di tempo relative a ciascuna campagna e riportate nelle figure 4.2.1.1.1/X ÷ XXXII.

Nel periodo invernale (Figg. 4.2.1.1.1/X ÷ XXI) sono messe a confronto le stazioni di Vacchereccia e Poggio al Vento con quelle di Arezzo e S. Miniato in Alpe (Vallombrosa) anche se per la loro distanza ed esposizione potranno presentare caratteristiche specifiche. Nel periodo estivo (Figg. 4.2.1.1.1/XXII ÷ XXXII) Vacchereccia e Poggio al Vento sono confrontate con le postazioni di Arno e S. Miniato in Alpe.

La caratteristica bipolarizzazione delle provenienze da NW e da SE mostrata sulla rosa dei venti di lungo periodo è mantenuta pressoché simile nella postazione di Vacchereccia anche nei periodi invernale ed estivo di campagna. La stazione di Arno mostra una leggera rotazione oraria mentre quella di Poggio al Vento mostra una prevalenza delle provenienze da tutti i quadranti occidentali. Nell'analisi per tipo di tempo si riscontra un generale mantenimento di queste condizioni per i tipi con caratteristiche anticicloniche e per quelli ciclonici con debole intensità.

Per i tipi di tempo 1 e 9 a Vacchereccia e ad Arno si riscontra una prevalenza dell'WNW sulla bipolarizzazione NW-SE, mentre la componente da SW riscontrata a Poggio al Vento concorda con la circolazione in quota. Le condizioni di calma sono prevalenti in inverno per entrambi i tipi e in particolare per il 9.

Per tutti i tipi di tempo perturbati (dal 2 al 4) risultano prevalenti le correnti meridionali con prevalenza del SE a Vacchereccia ed Arno e SW a Poggio al Vento. In inverno vi sono alcune particolarità: per i tipi 2c e 3, l'approfondirsi del minimo in zone più meridionali comporta una prevalenza delle componenti settentrionali; le condizioni di calma risultano molto più elevate per i tipi 2a, 2b e 2c.

I tipi 5, 6 e 7 mostrano la prevalenza delle componenti da NW, brezza diurna che risale la valle dell'Arno, nelle postazioni di Vacchereccia ed Arno in estate mentre a Poggio al Vento sono presenti anche il SW ed il NE. In inverno per il tipo 5 si ha un'alta percentuale di variabile a Vacchereccia e NW a Poggio al Vento; per il tipo 6 un'alta percentuale di calme a Poggio al Vento e per il 7 venti da SW sempre a Poggio al Vento.

L'8 e il 10 non presentano quasi mai, sia in estate che in inverno, una decisa componente da NE in nessuna postazione ma solo una rotazione dell'asse di bipolarità che si presenta così da WNW e da E. Per il tipo 8 è più elevata la percentuale di calme.

L'analisi degli andamenti termici verticali rilevati attraverso le misure di campagna ha permesso di identificare gli strati stabili presenti in quota a più livelli in relazione ai diversi tipi di tempo e ora del giorno.

Nelle figure 4.2.1.1.1/XXXIII - XXXIV viene riportata una analisi delle condizioni medie riscontrate nei periodi stagionali in funzione delle ore sinottiche di sondaggio. Sono indicate separatamente le caratteristiche medie dell'inversione con base al suolo, della prima inversione in quota e di quella di subsidenza ad alta quota. I numeri posti al di sopra di ogni pila rappresentano il numero dei sondaggi in cui si è verificata l'inversione e quelli posti di lato indicano il gradiente medio dell'inversione stessa.

L'inversione con base al suolo (Fig. 4.2.1.1.1/XXXIII) è sempre presente dalle ore 19 alle ore 7 sia in estate che in inverno con crescita regolare fino a valori medi di 250 m alle ore 7 del giorno successivo.

La I e la II inversione in quota (Fig. 4.2.1.1.1/XXXIII - XXXIV) risultano pressoché sempre presenti nelle due stagioni per l'effetto sulla circolazione delle masse d'aria delle colline circostanti il sito. Il loro numero diminuisce decisamente nelle ore pomeridiane quando le condizioni di instabilità prevalgono. Nelle ore notturne queste rappresentano una evoluzione della stabilità che fa crescere l'inversione al suolo in presenza di rilievi.

Inversioni in quota da subsidenza (Fig. 4.2.1.1.1/XXXIV) sono state rilevate per alcune giornate prevalentemente nelle ore pomeridiane e serali sempre al di sopra dei 1500 m.

In tabella 4.2.1.1.1/IX sono riportati i valori medi dell'altezza dello strato rimescolato ottenuti come base della prima inversione in quota e/o di quella da subsidenza per le diverse condizioni di stabilità atmosferica.

4.2.1.1.2 *Stato attuale della qualità dell'aria*

La qualità dell'aria attorno all'impianto ENEL è tenuta costantemente sotto controllo mediante una rete di rilevamento che copre sia il fondovalle dell'Arno che le zone collinari ed è in servizio continuo dalla fine del '92. Anteriormente a tale data sono state effettuate estese campagne di misura. Ovviamente l'interpretazione dei dati rilevati, noti i processi di dispersione atmosferica, non può prescindere dalla conoscenza della tipologia e della localizzazione delle fonti di inquinamento presenti. L'esposizione che segue procede pertanto attraverso la descrizione delle sorgenti emittenti locali in grado di influenzare la qualità dell'aria, con una valutazione delle loro emissioni dei principali inquinanti (SO_2 , NO_x , CO, COV, polveri), seguita da un'analisi dei dati rilevati dalla rete di rilevamento citata.

Localizzazione e caratterizzazione delle fonti inquinanti

Le principali fonti di emissione nell'area oggetto di studio sono rappresentate dalla esistente centrale termoelettrica ENEL, dal traffico veicolare e dal riscaldamento degli edifici. In particolare, per quanto concerne il traffico veicolare, l'area è attraversata da una delle più grandi, se non la maggiore in assoluto, arterie di comunicazione nazionali: l'autostrada A1.

La valutazione delle emissioni presentata nel seguito si basa su dati provenienti da diverse fonti: ANAS, ENEL, Agenzia delle fonti di energia, censimento ISTAT '91, ecc.. Poiché in molti casi non sono disponibili rilevamenti diretti delle emissioni (in particolare questo vale per le sorgenti diffuse quali riscaldamento e traffico), ci si è avvalsi di opportuni "fattori di emissione" scelti tra quelli indicati dall'ENEA nell'ambito del progetto europeo CORINAIR (ENEA, 1989) applicati ai parametri disponibili correlati alle emissioni: vendite combustibili, dati su popolazione, dati sulle abitazioni, eccetera.

L'area considerata, con particolare riferimento a traffico veicolare e riscaldamento, si estende per un raggio di 12-13 km dalla centrale ENEL. Entro tale raggio sono stati inclusi anche i comuni il cui territorio è compreso solo parzialmente. I Comuni sono i seguenti: Bucine, Castelfranco di Sopra, Cavriglia, Loro Ciuffenna, Montevarchi, Pian di Sco, S.Giovanni Valdarno, Terranuova Bracciolini (Provincia di Arezzo), Figline Valdarno, Greve in Chianti, Incisa in Val d'Arno, Reggello (Provincia di Firenze), Castelnuovo Berardenga, Gaiole in Chianti, Radda in Chianti (Provincia di Siena).

Per quanto riguarda gli *insediamenti industriali*, includendo in questo settore anche la produzione di energia, la principale fonte di emissione dell'area è senz'altro l'esistente centrale termoelettrica ENEL. Vi sono inoltre alcuni altri insediamenti produttivi per i quali non sono attualmente disponibili informazioni aggiornate, mentre si dispone di dati ricavati da uno studio dell'Università di Firenze relativo alla seconda metà degli anni '80. Nella tabella che segue sono indicate le emissioni annue di SO₂, NO_x e polveri della centrale ENEL (valori medi riferiti agli anni '94-'95) e, a titolo indicativo, le emissioni da altre fonti industriali ricavate dal suddetto studio:

Parametro	centrale ENEL (t/a)	altre industrie (t/a)
SO ₂	5880	415
NO _x	1530	120
Polveri	260	non disp.

Le emissioni da *traffico veicolare* sono state stimate con i seguenti criteri:

- Per il traffico al di fuori della rete autostradale le stime sono state eseguite a partire dalle vendite di combustibile nelle Province di Arezzo, Siena e Firenze nell'anno 1994 e nel primo trimestre 1995 (Staffetta Quotidiana - Agenzia delle fonti di energia); i quantitativi provinciali di combustibile (gasolio, benzine, GPL) sono stati ripartiti tra i Comuni dell'area considerata in funzione del rapporto tra la popolazione dei Comuni stessi e quella della Provincia di appartenenza; ai valori così ottenuti sono stati applicati i fattori di emissione suggeriti da CORINAIR.

- Per il traffico autostradale ci si è avvalsi invece di dati forniti dall'ANAS sul numero di veicoli in transito a Incisa suddivisi per categoria. Nonostante i rilevamenti si riferiscano alla seconda metà degli anni '80, si è ritenuto più corretto utilizzare questi anziché i dati più recenti delle vendite provinciali di combustibile sulla rete autostradale. Infatti, mentre si può ragionevolmente ritenere che il combustibile venduto fuori dalla rete autostradale venga consumato nell'ambito territoriale e sia proporzionale alla popolazione residente, non si può dire lo stesso per quello venduto nella rete autostradale poiché nel caso specifico il traffico è di lunga percorrenza ed inoltre, nelle Province citate, l'A1 non è l'unica autostrada. D'altra parte, anche se non aggiornati, i dati relativi al flusso veicolare si possono ritenere indicativi per gli scopi prefissi, anche se si tratta probabilmente di una sottostima rispetto ai livelli di traffico attuale. A questi dati sono stati applicati i fattori di emissione suggeriti da CORINAIR per le diverse categorie di veicoli per gli spostamenti autostradali, considerando una percorrenza media di 30 km nell'ambito dell'area di interesse.

Nelle tabelle seguenti, oltre alle emissioni da autotrazione compaiono anche quelle derivanti dal consumo di gasolio per usi agricoli. Anche qui per le stime ci si è avvalsi dei valori relativi alle vendite di combustibile nelle tre Province (la fonte ed il periodo sono gli stessi già citati in precedenza) che sono stati ripartiti tra i Comuni dell'area in funzione del rapporto tra il numero di addetti al settore agricoltura dei Comuni stessi e quello della Provincia di appartenenza. Sono stati quindi applicati i fattori suggeriti da CORINAIR.

Fattori di emissione (ENEA-CORINAIR)							
Composto	Emissioni per unità di combustibile consumato g/kg				Emissioni per unità di percorso autostradale g/km		
	gasolio agricolo	autotrazione			auto	autocarri	autotreni
		gasolio	benzina	gpl			
SOx	6.00	6.00	0.40	0	0.024	1.236	1.830
NOx	35.70	47.20	24.60	30.80	2.862	14.400	19.800
CO	43.50	15.00	473.00	41.70	12.524	6.000	7.300
PTS	16.00	11.25	0.90	0.65	0.045	1.800	2.500
COV	19.00	7.20	50.17	23.00	1.044	2.600	5.800

<i>DATI COMBUSTIBILI E ABITANTI dei Comuni considerati</i>		
Abitanti	n°	132.037
Vendite di gasolio motori	t/a	31.894
Vendite di benzina	t/a	42.128
Vendite di GPL	t/a	6.036
Addetti settore agricoltura	n°	3.473
Vendite di gasolio agricolo	t/a	6.093
<i>VEICOLI IN TRANSITO SU A1 A INCISA veicoli/anno</i>		
Auto	Autocarri	Autotreni
7.525.570	1.777.185	1.153.400

<i>EMISSIONI DA TRAFFICO VEICOLARE (t/a)</i>				<i>EMISSIONI DA COMBUSTIBILE PER USI AGRICOLI (t/a)</i>	<i>TOTALE GENERALE (t/a)</i>
composto	extra autostrada	autostrada A1	totale		
SOx	208	135	343	37	380
NOx	2.728	2.099	4.827	218	5.045
CO	20.657	3.400	24.057	265	24.322
PTS	400	193	593	98	691
COV	2.482	575	3.057	116	3.173

Il *riscaldamento domestico* è una fonte di emissioni concentrate nella stagione fredda, derivanti dalla combustione di gasolio e, in misura maggiore per l'area considerata, gas naturale. Per la valutazione delle emissioni ci si è avvalsi dei dati relativi alle vendite di gasolio per riscaldamento per l'anno 1994 e il primo trimestre 1995 nelle tre province già citate. I quantitativi provinciali sono stati ripartiti tra i Comuni interessati in funzione del rapporto tra superficie delle abitazioni occupate di ciascun Comune e superficie delle abitazioni occupate della Provincia di appartenenza (dati ISTAT, censimento '91).

Non disponendo di dati aggiornati relativi alle vendite di metano, i relativi consumi sono stati stimati per differenza tra il fabbisogno calorico totale e la quota parte coperta dal gasolio. Il fabbisogno energetico degli edifici è stato calcolato sulla base del numero e delle superfici medie delle abitazioni indicate nel suddetto censimento ISTAT, delle volumetrie risultanti e dei dati indicati nel DPR n° 412 del 26.8.93 secondo la seguente formula:

$$Q = C_g \cdot V \cdot 24 \cdot GG \cdot \eta^{-1}$$

dove:

Q è il fabbisogno calorico in kJ/anno

C_g è il coefficiente globale di dispersione in kJ/(h · m³ · °C) qui assunto pari a 4,187

V è la volumetria degli edifici in m³

GG sono i gradi giorno in °C, ricavati dall'allegato A del DPR 412 del 26.8.93 e variano per i Comuni considerati tra un minimo di 1925 a Figline ed un massimo di 2363 a Reggello

η è l'efficienza degli impianti di riscaldamento, qui assunta pari a 0,7

Le emissioni sono state calcolate sulla base dei seguenti fattori di emissione (ENEA-CORINAIR) espressi in g/GJ

combustibile	SO _x	NO _x	CO	PTS	COV
gasolio	141	50	17	8	15
metano	0	50	8	0	10

I risultati ottenuti sono mostrati nella seguente tabella:

<i>EMISSIONI DA RISCALDAMENTO DOMESTICO</i>		
Abitazioni occupate	n°	45.120
Superficie totale	m ²	4.559.200
Volumetria totale	m ³	12.993.720
Fabbisogno calorico	GJ/a	3.912.070
Vendite di gasolio da riscaldamento	t/a	6.690
Fabbisogno coperto da gasolio	GJ/a	280.070
Fabbisogno coperto da metano	GJ/a	3.632.000
emissioni di SO _x	t/a	40
emissioni di NO _x	t/a	196
emissioni di CO	t/a	33
emissioni di PTS	t/a	2,5
emissioni di COV	t/a	41

Nel prospetto che segue si presenta un *riepilogo delle emissioni* annue dovute ai diversi contributi per le principali sostanze inquinanti (N.B. i valori indicati sono ripresi dalle tabelle precedenti e arrotondati):

RIEPILOGO EMISSIONI ANNUALI							
Composto	industrie e produzione di energia elettrica		traffico veicolare e combustibile per usi agricoli		riscaldamento domestico		TOTALE t/a
	t/a	%	t/a	%	t/a	%	
SOx	6.300	93,7	380	5,7	40	0,6	6.720
NOx	1.650	23,9	5.050	73,2	200	2,9	6.900
PTS	t/a	> 260		690		3	> 950
CO	t/a	non disp.		24.300		35	> 24.300
COV	t/a	non disp.		3.170		40	> 3.200

Come si può osservare dai dati le fonti principali di emissione sono rappresentate dal settore industriale (ivi comprese le centrali termoelettriche) e dal traffico veicolare.

Per quanto riguarda il biossido di zolfo le emissioni più elevate (oltre il 93%) provengono dal settore industriale, il resto proviene quasi tutto dal traffico veicolare, infatti, essendo largamente metanizzata l'area in studio, l'emissione da riscaldamento è trascurabile (si deve peraltro evidenziare che è concentrata nei soli mesi invernali e nei centri abitati). Anche se le emissioni da traffico e da riscaldamento rappresentano assieme poco più del 6% del totale, possono incidere sensibilmente sulle concentrazioni nell'aria ambiente; infatti le modalità con cui avviene l'emissione (sorgenti diffuse, bassa quota) è generalmente poco favorevole ad una buona dispersione e diluizione degli inquinanti, contrariamente a quanto avviene invece nel caso di sorgenti puntiformi elevate quali possono considerarsi quelle industriali.

Le emissioni di ossidi di azoto da traffico veicolare sono considerevoli e rappresentano quasi i 3/4 delle emissioni totali nell'area considerata. Tenuto conto di questo ed in relazione a quanto già detto per il biossido di zolfo sulle condizioni di dispersione nell'atmosfera si può senz'altro affermare che le concentrazioni di ossidi di azoto nell'aria ambiente del fondovalle dell'Arno e dei centri urbani, risentono quasi esclusivamente delle emissioni da traffico (alle quali in inverno si aggiunge il contributo, anche se di molto inferiore, del riscaldamento). Le emissioni industriali, con particolare riferimento all'esistente centrale termoelettrica che ne rappresenta il contributo dominante, pur rappresentando circa 1/4 delle emissioni totali possono incidere sui valori misurati, e quindi possono essere discriminate, solamente nelle aree di massima ricaduta al suolo e solamente se queste si trovano in zone collinari o montane lontano dai centri abitati.

Il monossido di carbonio proviene essenzialmente dal traffico veicolare. Pur non disponendo di rilevamenti sistematici relativi alle emissioni industriali della zona considerata, si può ugualmente affermare che il contributo è trascurabile rispetto a quello da traffico. Questa affermazione si fonda sul fatto che il CO è emesso dai grandi impianti di combustione in concentrazioni molto basse, infatti concentrazioni elevate di CO sarebbero indice di cattiva combustione e quindi di basso rendimento.

Anche per i Composti Organici Volatili (COV) le emissioni predominanti sono quelle legate all'autotrazione. Nel settore industria in genere le emissioni maggiori derivano dalle aziende chimiche e petrolchimiche che non risultano presenti nell'area considerata.

Le emissioni di particolato indicate in tabella, rappresentano solo una parte del particolato totale che si ritrova nell'aria ambiente, in quanto, in generale un notevole contributo deriva da fenomeni quali l'erosione eolica dei suoli o da attività agricole, ecc. I dati presentati forniscono peraltro un elemento di valutazione dell'incidenza delle diverse fonti considerate e, anche in questo caso, il settore trasporti costituisce la fonte principale. Per il traffico le emissioni stimate sono unicamente quelle derivanti dal processo di combustione interna dei motori, ma naturalmente un fattore di non secondaria importanza è costituito dalla risospensione di pulviscolo stradale da parte delle ruote dei veicoli in movimento.

Analisi dei risultati del rilevamento degli inquinanti atmosferici: Rete di Rilevamento della Qualità dell'Aria (RRQA)

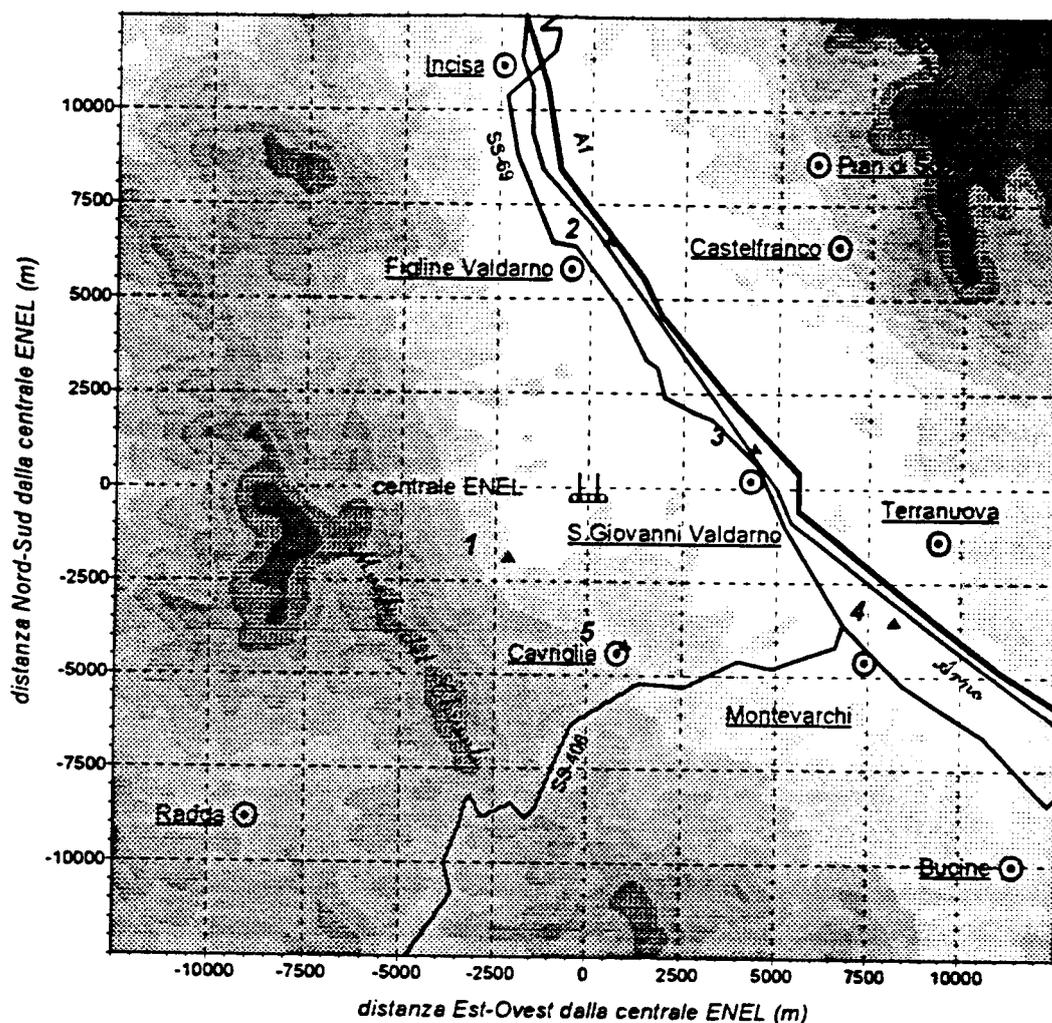
Nell'area di S. Barbara è in funzione dal Settembre del '92 una rete dotata di 5 postazioni per il rilevamento della qualità dell'aria, avente la seguente configurazione:

Postazione		Parametri chimici rilevati		
n°	Località	SO ₂	NO NO ₂	PTS
1	Poggio al Vento	X	X	X
2	Figline Valdarno	X	X	X
3	San Giovanni Valdarno	X	X	X
4	Montevarchi	X	X	X
5	Cavriglia	X	X	X

La collocazione geografica delle postazioni è rappresentata nella figura seguente, in cui il sistema di riferimento ha come origine delle coordinate la esistente centrale ENEL.

Le caratteristiche dei siti di misura sono sintetizzate nella tabella seguente secondo la classificazione prevista dal recente censimento del Ministero dell'Ambiente:

Postazioni della rete di rilevamento della qualità dell'aria attorno alla centrale ENEL di S.Barbara



Caratteristiche dei siti di misura

<i>descrizione del luogo di misura nelle immediate vicinanze (fino a circa 100 m)</i>					
descrizione	postazioni				
	1 Poggio al V.	2 Figline	3 S. Giovanni	4 Montevarchi	5 Cavriglia
piccola strada a medio traffico			X		
piccola strada a scarso traffico	X	X		X	X
posizione a ridosso di palazzi				X	
cortili interni, scuole, ospedali			X		
alberi	X		X		
canali		X			
prati, campi	X	X		X	X
<i>descrizione del luogo di misura da 100 m a qualche chilometro</i>					
urbano residenziale					X
misto tra commerciale, industriale, residenziale		X	X	X	
strada ad alto traffico		X	X	X	
strada a basso traffico	X				X
residenziale (case isolate)	X				
parchi, foreste, campi	X	X	X	X	X

Andamento delle concentrazioni al suolo

Le reti di rilevamento automatiche come quella di S.Barbara, forniscono nel tempo una elevata mole di dati. Per poter valutare l'informazione contenuta in tali dati è necessario procedere ad elaborazioni di sintesi capaci di fornire i corretti elementi di giudizio ed interpretazione. Un primo elemento è fornito dal confronto dei rilevamenti con gli indici statistici previsti dalla normativa vigente. Questo consente di dare un giudizio sullo stato della qualità dell'aria con particolare riferimento a fini igienico-sanitari, ma non è sufficiente a chiarire le cause ed i processi che in diversa misura possono governare l'andamento delle concentrazioni di inquinanti a livello del suolo, per questo si ricorre solitamente ad ulteriori elaborazioni dei dati con l'intento di dare un'informazione quantitativa e qualitativa il più possibile completa.

Gli andamenti delle concentrazioni sono in genere il risultato dell'interazione di fenomeni diversi che possono produrre effetti concordi oppure di segno opposto; nel seguito si descrivono alcuni esempi ed alcune elaborazioni tipiche che possono essere d'aiuto per l'interpretazione dei dati. Innanzi tutto si deve considerare che le concentrazioni degli inquinanti a livello del suolo dipendono essenzialmente dalle caratteristiche delle fonti di emissione (caratteristiche fisiche, tipo e quantità degli inquinanti emessi, ec.) e dalle caratteristiche dispersive dell'atmosfera. Ad esempio si può osservare che gli inquinanti emessi ad alta quota (dove per quota di emissione si intende l'altezza fisica del punto di emissione rispetto al suolo, più l'innalzamento derivante dalla spinta ascensionale dei fumi, a sua volta dominata dalla spinta entalpica nelle emissioni calde) raggiungono il suolo in condizioni di instabilità atmosferica allorquando i moti convettivi trascinano verso il basso le masse d'aria sovrastanti. Tali condizioni si verificano tipicamente nelle ore più calde della giornata o comunque in presenza di forte irraggiamento solare, mentre nelle restanti ore, specialmente in aree come quella considerata, caratterizzate da fenomeni di stagnazione nei bassi strati dell'atmosfera (nel fondovalle dell'Arno e delle valli laterali) associati alla presenza di inversioni termiche notturne con base al suolo, gli inquinanti emessi a quote elevate non raggiungono il suolo. Per contro si verifica un accumulo al suolo degli inquinanti emessi da sorgenti a bassa quota, con un progressivo aumento delle concentrazioni. In questo caso il comportamento è opposto al precedente, infatti le ore con più elevata turbolenza atmosferica provocano una diluizione e quindi una diminuzione delle concentrazioni dovute al contributo delle sorgenti basse. L'elaborazione di andamenti tipici giornalieri delle concentrazioni misurate (medie delle concentrazioni per ogni ora del giorno) annuali e/o stagionali, fornisce un valido strumento di giudizio e di interpretazione del fenomeno, anche se si deve considerare un altro fattore importante che può in diversa misura incidere sugli andamenti descritti: si tratta delle variazioni temporali delle emissioni legati alle diverse attività che possono assumere carattere ciclico, e se il ciclo si chiude anche a livello giornaliero è necessario tenerne conto nella valutazione dei suddetti andamenti. Un altro strumento che spesso fornisce un buon ausilio interpretativo sulle emissioni che influenzano la qualità dell'aria è l'elaborazione di andamenti settimanali delle concentrazioni su lunghe serie di dati. Infatti mentre gli andamenti giornalieri e stagionali possono essere l'effetto di cause diverse (cicli emissivi, condizioni meteorologiche), sul lungo periodo gli andamenti per giorno della

settimana dipendono solo dalle sorgenti di emissione. E' possibile poi considerare le variazioni delle concentrazioni misurate come funzione delle direzioni di provenienza del vento (rose vento-concentrazione) per cercare di individuare le possibili fonti o i maggiori contribuenti ai valori misurati. Questo è uno strumento che deve essere utilizzato con cautela in quanto è strettamente legato alla rappresentatività spaziale dell'informazione anemologica. In aree ad orografia complessa come quella considerata le alterazioni del campo del vento causate dagli ostacoli naturali, gli incanalamenti nelle valli ed i regimi di brezza locali, tale cautela è d'obbligo. Un ulteriore aspetto da considerare sono le trasformazioni chimico-fisiche degli inquinanti nell'atmosfera come nel caso del biossido di azoto che, contenuto in quantitativi limitati rispetto agli ossidi di azoto totali nelle emissioni da processi di combustione, rappresenta il risultato di reazioni di ossidazione del NO ad opera prevalentemente dell'ozono presente nell'atmosfera. Ciò premesso nel seguito si presentano i risultati dei rilevamenti effettuati dalla rete di rilevamento, utilizzando di volta in volta gli strumenti che risultano più idonei per la descrizione e l'interpretazione degli andamenti.

Biossido di zolfo - SO₂

Il biossido di zolfo o anidride solforosa, è misurato in tutte le postazioni mediante strumenti Philips mod. K5020 (principio di misura: fluorescenza pulsata). Tutti gli strumenti sono corredati da apparecchiature per la calibrazione automatica che viene effettuata ogni 24 ore.

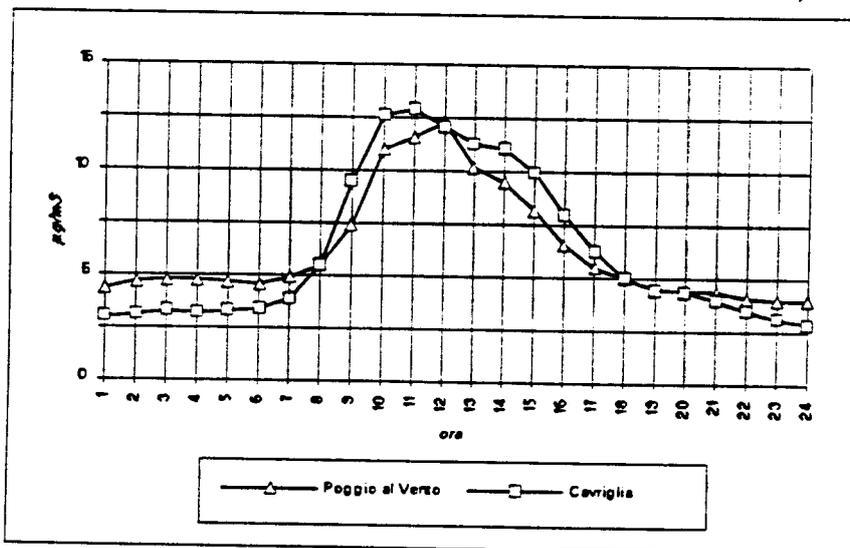
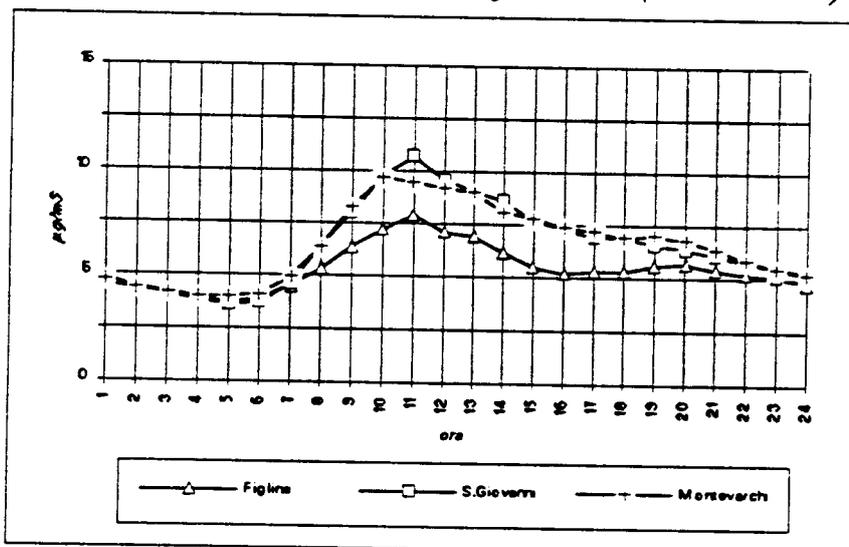
Gli standard di qualità dell'aria previsti dalla normativa vigente (DPCM 28.3.83 e DPR 203/88) per questo inquinante comprendono sia valori limite che valori guida, come riportato nel seguente prospetto:

<i>SO₂ - VALORI LIMITE</i>	
50° percentile delle medie di 24 ore rilevate nell'arco di un anno (aprile÷marzo)	80 µg/m ³
98° percentile delle medie di 24 ore rilevate nell'arco di un anno (aprile÷marzo) (valore da non superare per più di 3 giorni consecutivi)	250 µg/m ³
50° percentile delle medie di 24 ore rilevate durante il semestre invernale (ottobre÷marzo)	130 µg/m ³
<i>SO₂ - VALORI GUIDA</i>	
media di 24 ore	100÷150 µg/m ³
media aritmetica delle medie di 24 ore rilevate nell'arco di un anno (aprile÷marzo)	40÷60 µg/m ³

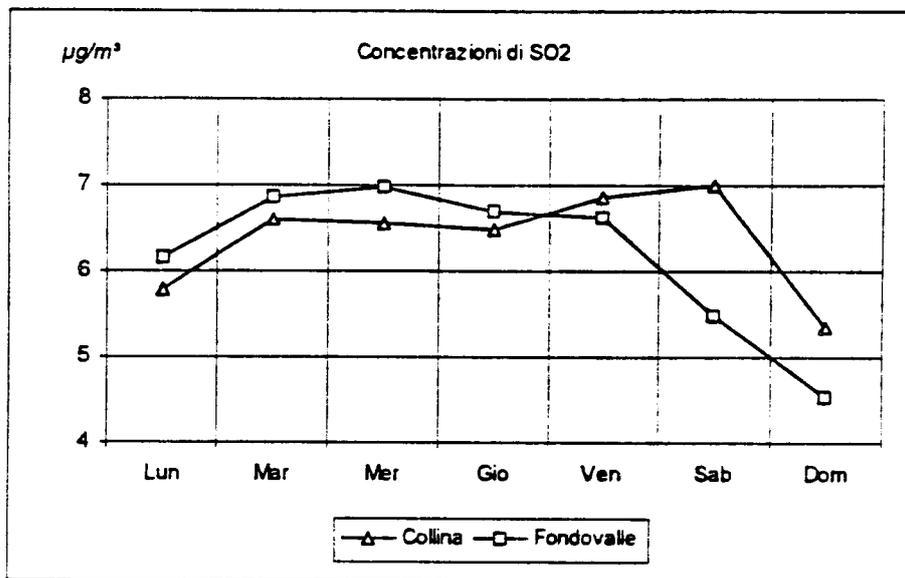
Per tutte le postazioni si riscontrano valori molto bassi e, con riferimento ai suddetti standard, gli andamenti delle concentrazioni misurate nel corso degli anni 93/94 e 94/95 mostrano che vengono ampiamente rispettati sia i valori limite che i valori guida. Nella tabella che segue sono indicati i valori di 50° e 98° percentile delle medie giornaliere.

<i>SO₂ - mediana e 98° percentile delle medie di 24 ore valori in µg/m³</i>					
Postazione		Periodo			
n°	Località	1.4.93 ÷ 31.3.94		1.4.94 ÷ 31.3.95	
		mediana	98° percentile	mediana	98° percentile
1	Poggio al Vento	4	22	4	18
2	Figline Val d'Arno	5	14	1	8
3	San Giovanni Val d'Arno	5	15	4	15
4	Montevarchi	5	16	5	28
5	Cavriglia	4	26	4	20

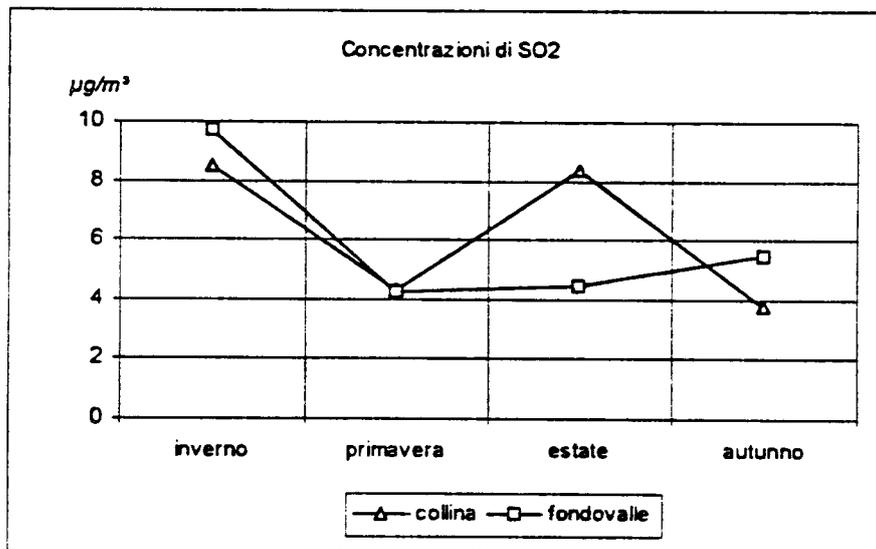
Come si può constatare i valori della mediana si aggirano attorno a circa $\frac{1}{20}$ del limite e sono su livelli prossimi alla soglia di rilevabilità degli strumenti utilizzati (che sono tra i più sensibili presenti sul mercato per questo campo di applicazione), mentre per il 98° percentile si va approssimativamente da $\frac{1}{10}$ a $\frac{1}{20}$ circa del limite. Seppure i valori siano molto bassi, vale la pena di effettuare un esame più dettagliato dei dati; si può infatti constatare che gli andamenti giornalieri tipici (vedi figure seguenti) sono quelli caratteristici derivanti dalla presenza di sorgenti elevate (valori massimi nelle ore centrali della giornata e minimi notturni) per le postazioni di Poggio al Vento e Cavriglia (zona collinare), mentre per le altre stazioni (fondovalle), pur rimanendo evidente, nelle ore con maggiore turbolenza atmosferica, l'apporto da sorgenti elevate (anche se con valori mediamente inferiori alle altre postazioni), compare un andamento influenzato dalla presenza di sorgenti basse e diffuse con valori che tardano a decrescere nelle ore serali. Se si considerano i valori stagionali si ha una ulteriore conferma di questa differenza di comportamento, infatti le concentrazioni del fondovalle presentano un massimo invernale, mentre i valori estivi non si discostano da quelli delle stagioni intermedie, contrariamente a quanto invece accade per le stazioni collinari, per le quali in estate si presenta un altro massimo, di entità pari all'invernale, dovuto all'apporto da sorgenti elevate. L'andamento settimanale pone in evidenza anche un calo domenicale delle concentrazioni sia per le stazioni del fondovalle che per quelle collinari. Nelle stazioni del fondovalle, contrariamente alle altre, il calo domenicale è preceduto da una diminuzione delle concentrazioni già nella giornata di sabato.

SO₂ - giorno tipico - postazioni in collina (media '93-'94)*SO₂ - giorno tipico - postazioni del fondovalle (media '93-'94)*

SO₂ - concentrazioni per giorno della settimana (media '93÷'94)



SO₂ - andamenti stagionali



Particolato aerodisperso - PTS

Il particolato aerodisperso è misurato in tutte le postazioni mediante strumenti Philips mod. MPSI 100 (principio di misura radiometrico: campionamento del particolato su filtro a nastro e misura dell'assorbimento di radiazione β). Tutti gli strumenti effettuano l'autocalibrazione di zero all'inizio di ciascun campionamento, periodicamente viene eseguita una verifica sul decadimento della sorgente β .

Si osserva che la normativa vigente prescrive il metodo gravimetrico al fine della verifica del rispetto dei valori limite ed il metodo dei fumi neri per il confronto con i valori guida. Allo stato attuale non vi sono sistemi di misura completamente automatizzati inseribili nelle reti di rilevamento della qualità dell'aria che sfruttino i metodi richiesti. E' prassi comune, sia in reti di amministrazioni pubbliche che di aziende private, l'utilizzo di strumentazione di tipo radiometrico che, oltre a fornire valori ben correlati con il metodo gravimetrico, permettono una gestione automatizzata e forniscono una risposta praticamente in tempo reale.

Gli standard di qualità dell'aria previsti dalla normativa (DPCM 28.3.83 e DPR 203/88) per questo inquinante comprendono sia valori limite che valori guida riassunti nel seguente prospetto.

<i>PTS - VALORI LIMITE</i>	
media aritmetica delle medie di 24 ore rilevate nell'arco di un anno (aprile-marzo)	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
95° percentile delle medie di 24 ore rilevate nell'arco di un anno (aprile-marzo)	300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
<i>PTS - VALORI GUIDA</i>	
media di 24 ore	100÷150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
media aritmetica delle medie di 24 ore rilevate nell'arco di un anno (aprile-marzo)	40÷60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

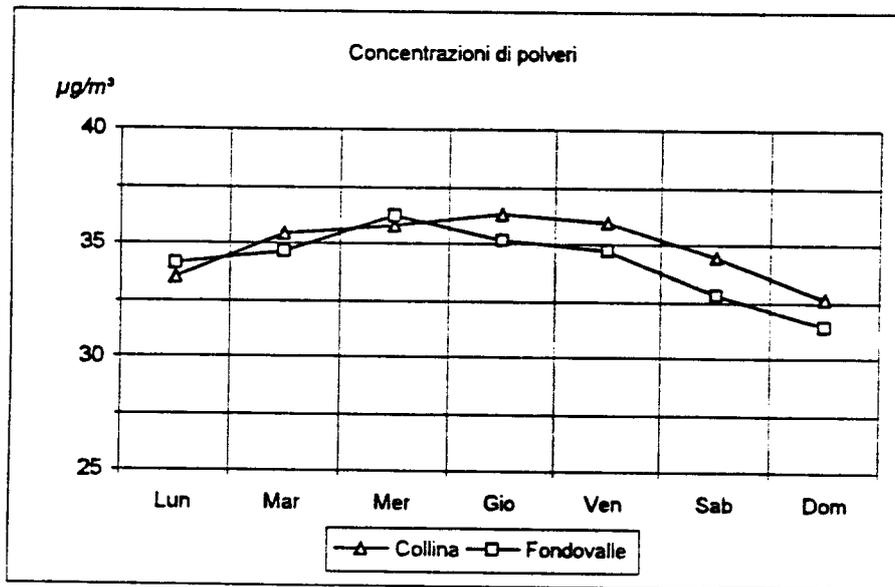
Nella tabella che segue sono indicati i valori misurati. Come si può vedere i valori limite sono ampiamente rispettati. Per i valori guida si riscontra un generale rispetto delle medie annuali ed un solo superamento del valore giornaliero di 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ nella postazione 2.

<i>Polveri - media e 95° percentile delle medie di 24 ore valori in $\mu\text{g}/\text{m}^3$</i>					
Postazione		Periodo			
n°	Località	1.4.93 ÷ 31.3.94		1.4.94 ÷ 31.3.95	
		media	95° percentile	media	95° percentile
1	Poggio al Vento	39	60	33	68
2	Figline Valdarno	36	65	35	71
3	San Giovanni Valdarno	30	52	30	46
4	Montevarchi	36	62	26	43
5	Cavriglia	34	77	25	43

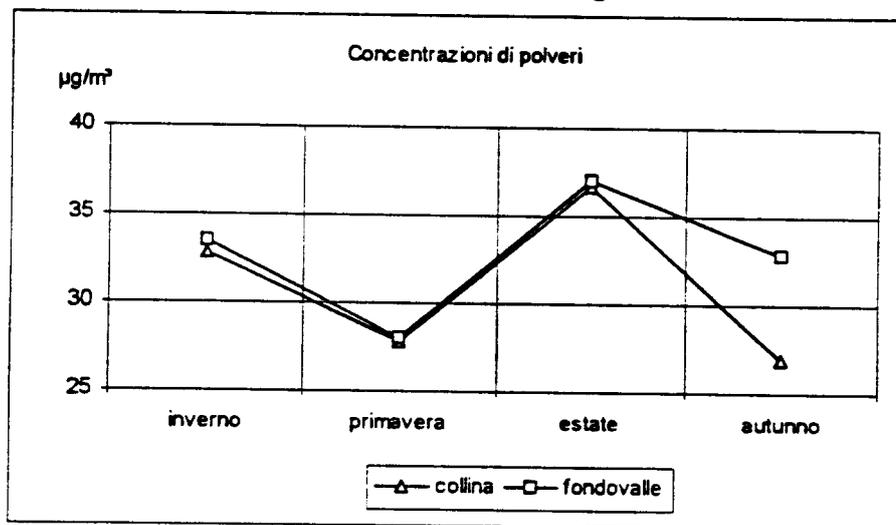
Per il particolato sospeso comunque risulta difficile una accurata individuazione delle fonti di inquinamento in quanto i valori misurati risentono largamente di fattori legati alle condizioni meteorologiche, alla topografia ed alle attività antropiche più disparate. Pertanto fonti importanti di polverosità ambientale sono rappresentate dall'erosione eolica dei suoli, dalle attività agricole, dalla risospensione del pulviscolo da parte delle ruote degli autoveicoli, ecc., che in genere mascherano gli eventuali apporti da attività industriali.

Le figure che seguono rappresentano gli andamenti medi settimanali e stagionali (i valori rappresentano la media tra le postazioni 1 e 5 per la collina e le postazioni 2, 3 e 4 per il fondovalle). Nel primo caso si nota la tendenza ad un modesto aumento delle concentrazioni nei giorni centrali della settimana con valori del 10÷15 % superiori rispetto alla domenica, giorno in cui la maggior parte delle attività antropiche subisce una pausa. A livello stagionale invece si osserva un aumento generalizzato delle concentrazioni estive, a causa delle condizioni meteorologiche che favoriscono una maggiore polverosità ambientale (elevata turbolenza atmosferica, tempo secco per lunghi periodi).

Particolato - concentrazioni per giorno della settimana (media '93-'94)



Particolato - andamenti stagionali



Ossidi di azoto - NO₂

Il biossido di azoto è misurato mediante strumenti Philips mod. K5023 che come principio di misura sfruttano la chemiluminescenza ed effettuano contemporaneamente la misura di NO (monossido di azoto) la misura di NO_x (monossido+biossido) e per differenza tra i due la misura di NO₂ (biossido). Tutti gli strumenti sono corredati da apparecchiature per la calibrazione automatica che viene effettuata ogni 24 ore. I dati della stazione di Figline sono relativi ai rilevamenti effettuati durante le campagne sperimentali di rilevamento del 1988, in quanto le misure di NO_x della postazione non sono risultate attendibili

Gli standard di qualità dell'aria previsti dalla normativa vigente (DPCM 28.3.83 e DPR 203/88) prendono in considerazione il solo biossido di azoto. Anche per questo inquinante sono previsti sia valori limite che valori guida come riportato nel seguente prospetto:

<i>NO₂ - VALORI LIMITE</i>	
98° percentile delle medie di 1 ora rilevate nell'arco di un anno (gennaio-dicembre)	200 µg/m ³
<i>NO₂ - VALORI GUIDA</i>	
50° percentile delle medie di 1 ora rilevate nell'arco di un anno (gennaio-dicembre)	50 µg/m ³
98° percentile delle medie di 1 ora rilevate nell'arco di un anno (gennaio-dicembre)	135 µg/m ³

Con riferimento agli standard, i valori misurati sono i seguenti:

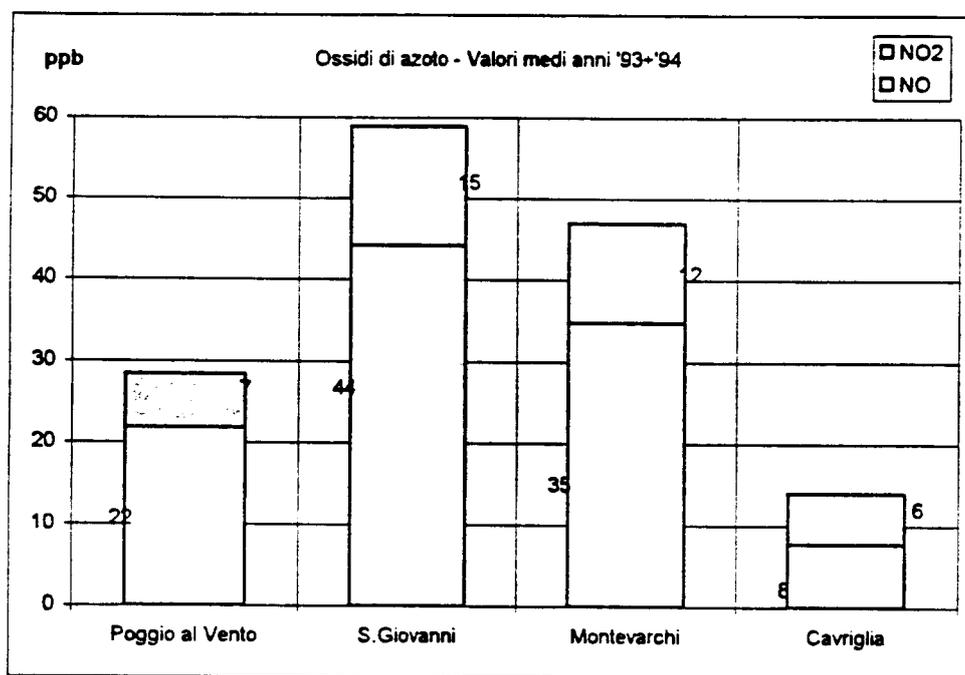
<i>NO₂ - 98° e 50° percentile delle medie di 1 ora - valori in µg/m³</i>					
Postazione		98° percentile		50° percentile	
n°	Località	1993	1994	1993	1994
1	Poggio al Vento	70	54	9	3
2	Figline Valdarno	107 (*)	107 (*)	---	---
3	San Giovanni Valdarno	90	92	24	25
4	Montevarchi	73	56	24	18
5	Cavriglia	86	35	8	3

(*) dati 1988

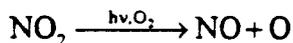
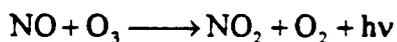
Le misure indicano un ampio rispetto sia dei valori limite che dei valori guida con valori mediamente più elevati nelle stazioni di fondovalle rispetto a quelle in collina.

I valori misurati nelle postazioni in collina sono mediamente più bassi rispetto a quelli misurati nel fondovalle che risentono fortemente della presenza dell'autostrada e della statale. Nelle postazioni situate lungo la valle dell'Arno inoltre c'è un progressivo aumento delle concentrazioni da sud verso nord, con valori più elevati a Figline. Ciò è dovuto all'addensarsi in questa direzione delle emissioni civili e industriali a bassa quota. Questa tendenza si riscontra sia sul biossido di azoto che, in misura anche più accentuata sul NO e quindi sugli NOx (NO+NO₂) come dimostra la figura che segue nella quale i valori di concentrazione sono espressi in ppb (parti per miliardo in volume) al fine di rappresentare correttamente i rapporti molari tra i composti. Le equivalenze con le concentrazioni in peso a 25 °C e 101,3 kPa sono le seguenti:

- 1 ppb NO = 1,23 µg/m³
- 1 ppb NO₂ = 1,88 µg/m³



Dalla figura suddetta risulta altresì evidente che l'interpretazione dei dati di NO₂ non può prescindere dall'analisi dei dati di NO/NOx. Gli ossidi di azoto emessi dai grandi impianti di combustione, dal riscaldamento o dai veicoli a motore sono formati in massima parte da NO; il NO₂ rappresenta generalmente una frazione inferiore al 5% del totale degli ossidi di azoto emessi dai grandi impianti di combustione, mentre per gli autoveicoli la frazione di NO₂ si attesta tipicamente intorno al 5-10%. Il monossido di azoto (NO) emesso in atmosfera subisce trasformazioni ad opera dell'ozono (O₃), in assenza di altri ossidanti fotochimici si sviluppano le seguenti reazioni:



la seconda reazione si sviluppa in presenza di radiazione ultravioletta ($\lambda < 420$ nm) e, in assenza di emissioni locali, le reazioni indicate raggiungono rapidamente l'equilibrio fotostazionario.

I valori di NO_2 misurati dipendono quindi oltre che dalle emissioni presenti nell'area, anche dalle concentrazioni di ozono che possono rappresentare un fattore limitante alla formazione del NO_2 stesso. Se si osservano i rapporti molari tra il NO_2 e gli NO_x totali si può constatare che, in termini di valori medi annuali, a Cavriglia è poco meno della metà mentre nelle altre postazioni il NO_2 rappresenta circa $\frac{1}{4}$ del totale.

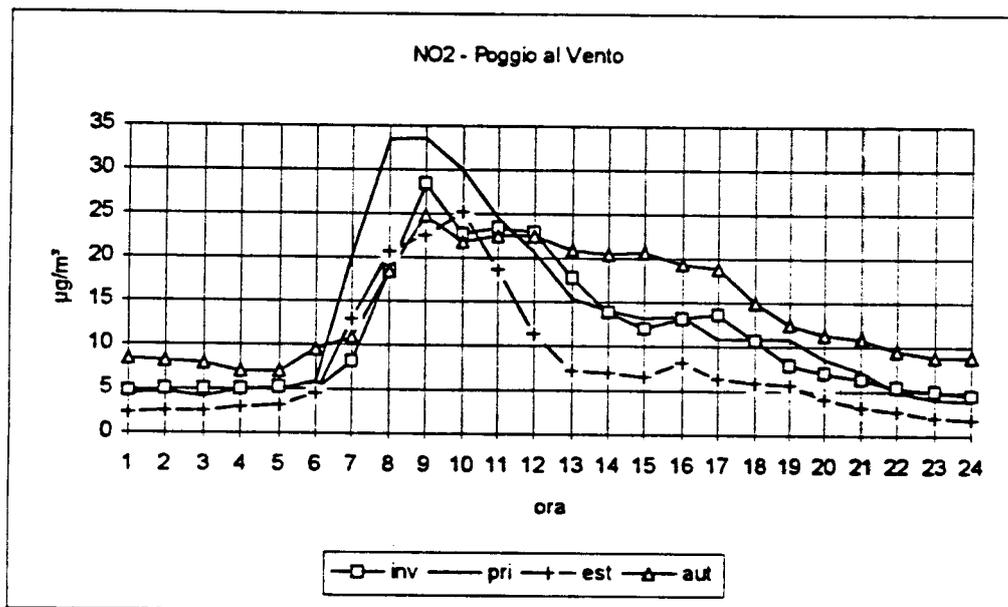
Esaminando gli andamenti giornalieri stagionali di NO_2 riportati nelle figure seguenti si vede che le stazioni di misura del fondovalle presentano un andamento tipico riconducibile a sorgenti basse e diffuse (si consideri che le emissioni di NO_x da traffico nell'area rappresentano oltre il 70% del totale) con valori minimi nelle ore centrali della giornata (tra le 13 e le 16), due massimi uno intorno alle 8 ed uno intorno alle 19-20 (con piccoli spostamenti avanti o indietro nelle diverse stagioni) e valori che permangono elevati nelle ore notturne. I valori più alti si raggiungono in inverno. Nelle ore centrali della giornata, i valori della stagione calda sono sempre i più bassi per effetto della maggiore turbolenza atmosferica.

A Poggio al Vento il picco serale scompare o si riduce sensibilmente e, in estate, la concentrazione più elevata si ha in tarda mattinata, inoltre le concentrazioni raggiungono i valori minimi dopo le 18 e vi si mantengono sino alle 6 del mattino. Questi andamenti sono da attribuirsi a più fattori: la postazione è più influenzata da sorgenti elevate (Poggio al Vento tra le postazioni della rete è quella maggiormente interessata dal contributo della centrale ENEL) piuttosto che da sorgenti diffuse. Questo è evidente in tarda mattinata e nelle ore centrali della giornata, ma nelle prime ore del mattino prevalgono fenomeni di accumulo dovuto alla presenza di sorgenti basse e non è da escludere anche un trasporto dal fondovalle per effetto delle circolazioni locali. Per quanto concerne l'influenza di sorgenti elevate, questa appare più marcata nel periodo estivo quando le concentrazioni più elevate di NO_2 si verificano intorno alle 10 del mattino. In ogni caso il rapporto SO_2/NO_x si mantiene sempre su valori molto bassi passando da un minimo di 1:10 (0,1) circa alle 8 del mattino ad un massimo di 1:2 (0,5) alle 12, mentre alle 10 (concentrazione massima di SO_2 e NO_2 ma non di NO_x) tale rapporto si attesta sul valore di circa 1:3 (0,35). Questo andamento sta ad indicare un contributo prevalente da emissioni prive o con basso contenuto di SO_2 , infatti fonti di emissione quale può essere l'esistente centrale ENEL sono caratterizzate da valori del rapporto molto più elevati (da 2:1 a 4:1 circa, in funzione del tenore di zolfo nel combustibile). E' possibile stimare in via approssimativa e cautelativa il contributo medio della centrale alle concentrazioni di NO_x nel seguente modo: si assume che la SO_2 misurata sia dovuta interamente al contributo della centrale, si assume altrettanto cautelativamente un rapporto SO_2/NO_x pari a 1:1 il che significa un valore di NO_x pari a quello di SO_2 . Considerando che la media di SO_2 negli anni '93-'94 è stata pari a $6,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e che quella di NO_x per lo stesso periodo è stata di $53,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, si può affermare che il contributo della esistente centrale ENEL alle concentrazioni medie di NO_x misurate a Poggio al Vento rappresenta al massimo il 12%.

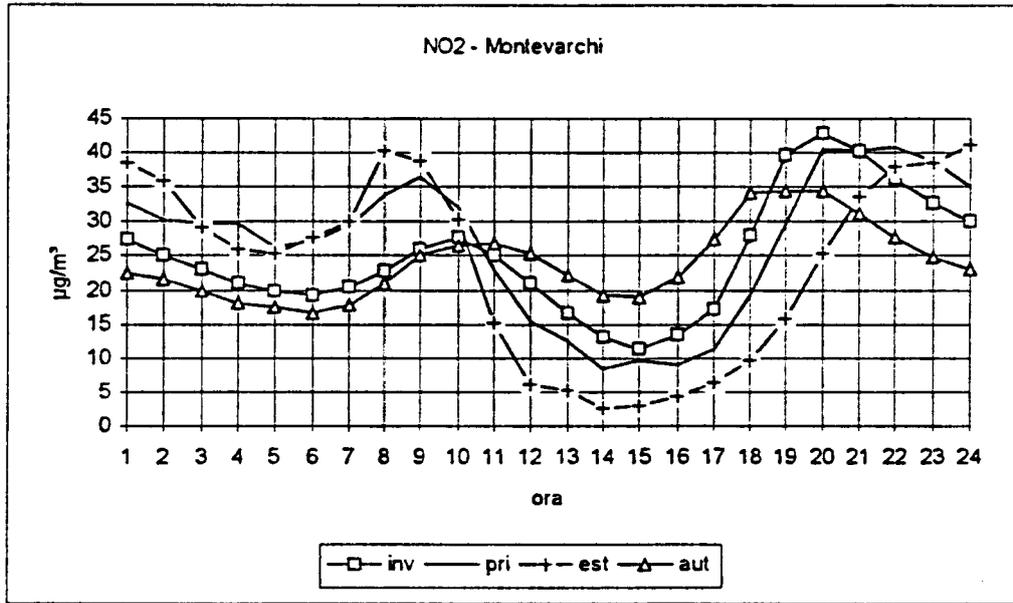
Per quanto riguarda la postazione di Cavriglia, si riscontra un andamento intermedio tra quello delle stazioni del fondovalle e Poggio al Vento, con valori comunque più bassi rispetto a quest'ultima. Oltre alle caratteristiche della postazione collinare compaiono evidenti i segni di un inquinamento, seppure di modesta entità, da traffico e da riscaldamento, infatti Cavriglia oltre ad essere un piccolo centro abitato è probabilmente influenzata dalla presenza della statale 408.

Nell'ultima figura relativa agli ossidi di azoto è rappresentato l'andamento delle concentrazioni nei diversi giorni della settimana per le 4 postazioni. Risulta evidente una riduzione generalizzata delle concentrazioni durante il fine settimana. Tale riduzione è più marcata per le postazioni del fondovalle nelle quali le concentrazioni domenicali sono circa la metà rispetto ai massimi che si raggiungono il martedì/mercoledì. La diminuzione peraltro avviene progressivamente dal valore massimo di metà settimana al minimo domenicale.

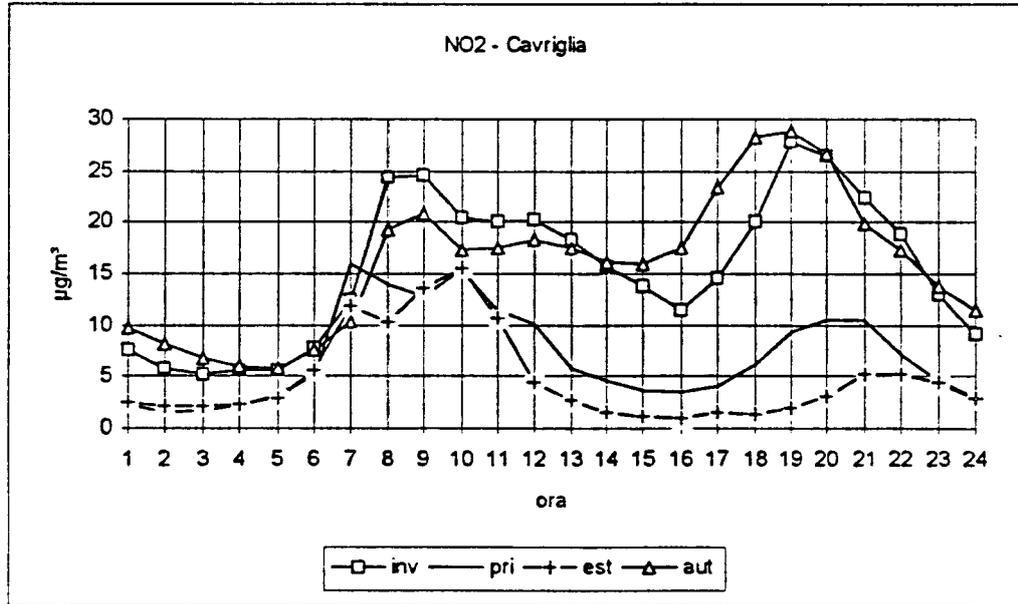
Postazione di Poggio al Vento - Andamenti giornalieri tipici stagionali di NO₂



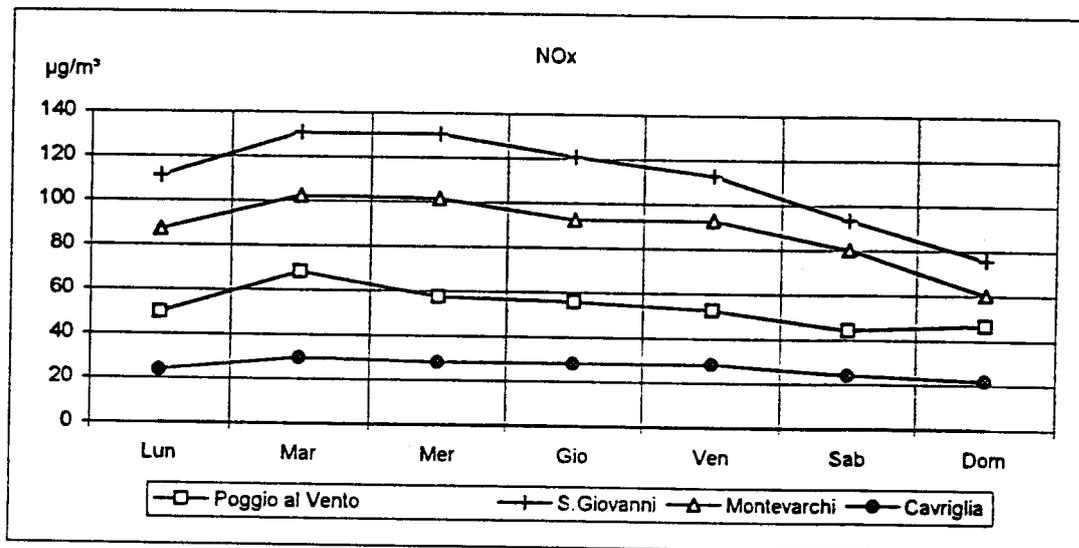
Postazione di Montevarchi - Andamenti giornalieri tipici stagionali di NO₂



Postazione di Caviglia - Andamenti giornalieri tipici stagionali di NO₂



Andamenti settimanali delle concentrazioni di NO_x

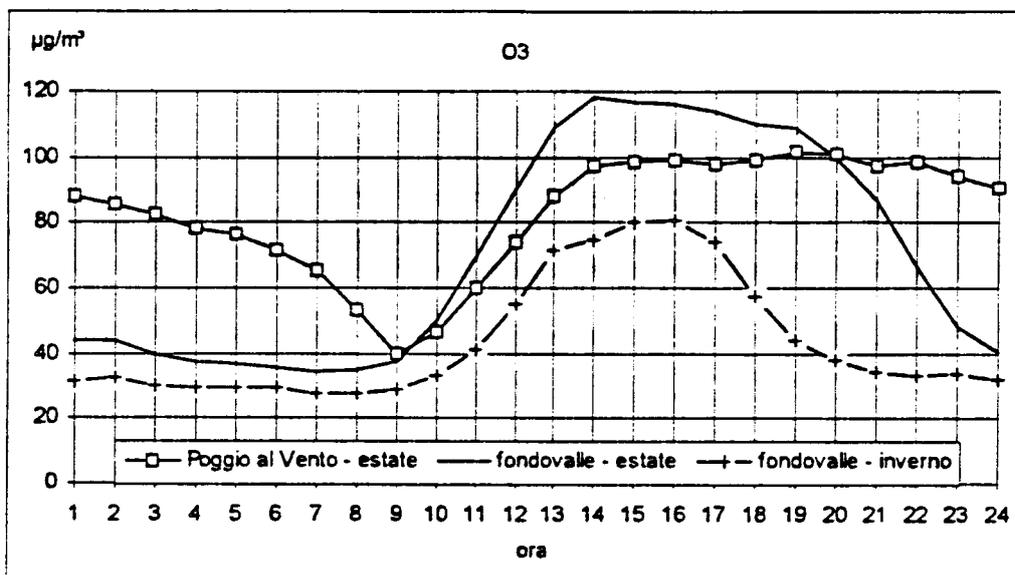


Ozono - O₃

Per questo composto non è previsto il monitoraggio continuo, sono però disponibili dati di campagne di misura eseguite in periodo estivo ed invernale nel 1988. In estate i rilevamenti sono stati eseguiti a Figline Val d'Arno in prossimità dell'acquedotto, nei pressi di S. Giovanni Val d'Arno in corrispondenza della foce del Vacchereccia e a Poggio al Vento. In inverno sono disponibili solo i dati delle due postazioni del fondovalle.

La figura che segue mostra gli andamenti giornalieri tipici estivi ed invernali medi delle due stazioni del fondovalle e l'andamento estivo a Poggio al Vento. Gli andamenti delle postazioni del fondovalle sono quelli caratteristici di questo inquinante con valori minimi notturni e massimi nelle ore di forte insolazione dovuti sia alla fotodissociazione del NO₂ sia al trasporto al suolo dell'ozono presente in quota per effetto della più elevata turbolenza atmosferica. A Poggio al Vento invece si riscontrano valori elevati anche di notte (in concomitanza dei minimi di NO_x) con un brusco calo tra le 8 e le 10. Questo calo si verifica in corrispondenza del picco delle concentrazioni di ossidi di azoto quando l'immissione di NO provoca il consumo dell'ozono presente.

Andamenti giornalieri tipici di O₃ rilevati durante le campagne di indagine del 1988



4.2.1.2 Analisi previsiva dell'impatto con la trasformazione dell'impianto

4.2.1.2.1 *Stima degli effetti dell'impianto*

Approccio metodologico

Nel presente studio si è considerato l'impatto sulla qualità dell'aria relativo alle fasi di costruzione e di esercizio dei nuovi gruppi turbogas per la trasformazione in ciclo combinato della centrale di Santa Barbara. A tal fine si fa ricorso a modelli previsionali "provati" e/o a considerazioni basate sull'esperienza di impianti analoghi.

Il funzionamento della centrale comporta emissioni di inquinanti aerodispersi di tipo convogliato, attraverso il camino.

La scelta del modello di calcolo da utilizzare nello studio della dispersione degli inquinanti emessi dal camino è principalmente condizionata dalle caratteristiche del periodo temporale di simulazione da assumere per verificare la rispondenza ai limiti di legge. In particolare l'esigenza di determinare i percentili delle medie orarie delle concentrazioni di NO_2 richiede l'adozione di un modello di tipo short-term, che consenta di valutare i valori medi orari delle concentrazioni.

La complessità orografica del territorio in esame (Fig. 4.2.1.2/I) suggerisce inoltre l'utilizzo di un modello in grado di considerare siti orograficamente complessi in alternativa ai modelli di tipo gaussiano tradizionale. Tra i modelli indicati dall'EPA (U.S. - Environmental Protection Agency) è stato scelto il modello COMPLEX-1, che risulta conforme alle caratteristiche richieste dall'applicazione in esame. Tale modello di tipo gaussiano stazionario, utilizza per la descrizione del sovrinnalzamento del pennacchio (plume rise) le formule di Briggs (1975). La velocità del vento necessaria al calcolo del plume rise è estrapolata alla quota di emissione con leggi di potenza. Per quanto riguarda i parametri di diffusione il modello utilizza le funzioni di Pasquill-Gifford per la dispersione verticale mentre è assunta una dispersione laterale uniforme entro un settore di 22.5° . Inoltre si assume una completa riflessione del pennacchio al suolo.

La complessità del terreno è considerata facendo variare la distanza del centro del pennacchio dal suolo. L'entità di questa variazione dipende dalle condizioni di stabilità atmosferica e può essere variata dall'utente. In particolare si assume che in condizioni di instabilità atmosferica la complessità del terreno ed il susseguente generarsi di vortici termici sia in grado di influenzare la quota di livellamento del pennacchio, che quindi viene modificata tendendo a seguire il profilo del terreno. In condizioni di stabilità atmosferica l'effetto dell'orografia è più limitato e quindi l'altezza di livellamento del pennacchio è modificata leggermente o non modificata come illustrato in figura 4.2.1.2/II.

I parametri che regolano la variazione della distanza tra il centro del pennacchio e il terreno sono stati scelti facendo riferimento ad una applicazione del modello in terreno

orograficamente complesso e determinati sulla base di considerazioni teoriche e di confronti con misure sperimentali (Hanna e al. 1984). Tale applicazione è relativa ad una specifica procedura di valutazione di impatto ambientale (Regulatory Applications) richiesta dall'EPA.

Al fine di ottenere valutazioni più cautelative, sulla base delle considerazioni esposte nel precedente paragrafo 4.2.1.1.1, l'altezza efficace (H_{eff} = altezza camino + innalzamento del pennacchio) viene limitata a 1000 metri, vale a dire che nei casi in cui H_{eff} calcolata dal modello risulta superiore a 1000 metri, H_{eff} è forzata a 1000 metri.

Fase di costruzione

L'impatto sulla qualità dell'aria delle attività di costruzione della centrale consiste essenzialmente in un aumento della polverosità di natura sedimentabile nelle immediate vicinanze del cantiere. Tale aumento di polverosità è dovuto soprattutto alla dispersione di particolato grossolano causata dalle operazioni delle macchine di movimentazione della terra e dalla risospensione di polvere da piazzali e strade non pavimentati, dovuta al movimento dei mezzi di cantiere.

Come risulta dall'esperienza di cantieri ENEL anche di maggiori dimensioni, non sono mai sorti né sono prevedibili particolari problemi, come anche si è dedotto dall'osservazione della vegetazione presente nell'area circostante i cantieri stessi. La soddisfacente situazione rappresenta anche il risultato degli accorgimenti messi in atto ai fini della salvaguardia dell'ambiente di lavoro (bagnatura frequente dei tratti sterrati, limitazione di velocità dei mezzi, ecc.).

Fase di esercizio

In fase di esercizio, l'impatto sulla qualità dell'aria deriva essenzialmente dalle emissioni dei prodotti della combustione attraverso i camini. La centrale a ciclo combinato di Santa Barbara sarà normalmente alimentata con gas naturale, mentre è previsto l'utilizzo di gasolio esclusivamente quale combustibile di riserva. Il funzionamento annuo è previsto in circa 6000 ore.

L'emissione dei gas in atmosfera della nuova centrale a ciclo combinato di potenza elettrica complessiva lorda di 670 MW avviene attraverso 2 camini aventi ciascuno le seguenti caratteristiche fisiche:

- altezza del camino: 90 m;
- diametro del camino: 6 m;

Le condizioni di emissione dell'impianto proposto con alimentazione a gas naturale sono le seguenti:

- portata fumi tal quali: 2x2.000.000 Nm³/h;
- portata fumi secchi, 15% O₂: 2x1.850.000 Nm³/h;

- temperatura dei fumi: 175 °C;
- velocità dei fumi: 32,2 m/s;
- concentrazione di NO_x nei fumi: 150 mg/Nm³.

La concentrazione di NO_x nei fumi è stata cautelativamente assunta pari a 150 mg/Nm³ anche se il valore previsto è di 100 mg/Nm³ (§ 3.4.2.).

Con riferimento al combustibile di riserva (gasolio), è prevista anche un'emissione di SO₂ che dipende dal tenore di zolfo nel combustibile. Per il gasolio è ammesso un tenore massimo di 0.2% che corrisponde ad una concentrazione di SO₂ all'emissione di circa 100 mg/Nm³.

a) Descrizione delle simulazioni effettuate e analisi dei risultati

L'insieme delle informazioni sopra illustrate consente la definizione dei dati di sorgente richiesti in input dal modello di diffusione. Il modello COMPLEX-1 richiede in input valori medi orari di velocità e direzione del vento, classe di stabilità atmosferica, temperatura ambiente ed altezza di rimescolamento.

Tale input meteorologico è stato ottenuto, come accennato, a partire dai dati rilevati presso la postazione di Vacchereccia nel periodo 1979/86 dal quale sono stati estratti circa 3 anni di dati. Al fine di ottenere previsioni più cautelative le simulazioni sono state eseguite considerando la presenza di uno strato di rimescolamento (mixing layer) illimitato pur disponendo, per tale parametro, di valori sperimentali.

Come noto, infatti per sorgenti puntiformi elevate, quali quella in esame, la presenza del mixing layer limitato comporta l'azzeramento delle concentrazioni al suolo in tutte le condizioni per le quali il pennacchio ha una quota di livellamento superiore allo spessore dello strato di rimescolamento. e nel caso in esame, come risulta dai dati sperimentali, lo spessore dello strato di rimescolamento risulta sempre essere di modesta entità.

Il dominio di calcolo, scelto in base alle caratteristiche del sito ed al tipo di emissione, è costituito da un quadrato, di lato 25 km sia in direzione E-O che in direzione N-S. I punti ricettori sono stati disposti su una griglia quadrata con un passo variabile tra i 750 e 250 metri con griglia più fitta all'aumentare della quota. La posizione dell'impianto coincide con il centro del dominio di calcolo. La disposizione del dominio di calcolo (e quindi delle figure contenenti i risultati delle simulazioni) è tale da far coincidere il nord geografico con la direzione verticale.

Nelle simulazioni l'impianto è stato considerato funzionante in continuo alla massima potenza, mentre il funzionamento realmente previsto è di circa 6000 ore/anno. Questa ulteriore ipotesi cautelativa è stata adottata allo scopo di valutare il contributo della centrale all'inquinamento atmosferico tenuto conto della formulazione degli standard di qualità dell'aria riportata nel DPCM del 28.3.1983 e nel D.P.R. 203/1988. Tali decreti fissano valori limite per i diversi inquinanti e per diversi indici statistici tra cui i percentili delle concentrazioni medie orarie o giornaliere, vale a dire il numero massimo

di ore o giorni durante i quali le concentrazioni possono superare determinati valori di soglia. Pertanto i contributi dell'impianto dovrebbero essere determinati in base alle condizioni meteorologiche coincidenti con l'effettivo periodo di funzionamento. Non potendo però predeterminare l'effettivo periodo di funzionamento, l'assunzione di un'emissione continua è necessaria in quanto non si può escludere a priori che il funzionamento dell'impianto coincida con le condizioni meteorologiche più sfavorevoli alla dispersione degli inquinanti.

Nel seguito sono presentati i risultati delle simulazioni relative al 98° percentile delle medie orarie di NO₂.

A tal fine è stata eseguita sui valori orari e per ogni punto ricettore, la valutazione dell'entità della trasformazione del monossido di azoto (NO) in biossido di azoto (NO₂). Ciò si rende necessario per la verifica della rispondenza agli standard di qualità dell'aria; infatti le emissioni della sorgente considerata sono costituite prevalentemente da NO, mentre la normativa vigente prevede un limite sul 98° percentile annuale dei valori orari di NO₂. Per una descrizione dettagliata di ipotesi e criteri adottati per valutare questa trasformazione si rimanda al successivo punto b).

Il contributo dell'impianto alle concentrazioni di biossido di zolfo (SO₂) deriva dalla combustione del gasolio. Poiché come già detto questo combustibile verrà utilizzato solo come riserva, non risulta significativo il calcolo degli indici statistici previsti dalla normativa vigente per il SO₂ (50° e 98° percentile delle medie giornaliere). Si è peraltro calcolata la massima concentrazione giornaliera di SO₂ prevedibile che risulta pari a 25 µg/m³ a circa 6.5 km a nord ovest della centrale. Tale valore rappresenta un massimo assoluto sia in termini temporali (è stato considerato tutto l'input meteorologico corrispondente a circa 3 anni) che spaziali (massimo su tutto il dominio); inoltre è stato ottenuto con l'impianto a pieno carico funzionante a gasolio.

98° percentile delle medie orarie di NO₂: I risultati delle simulazioni per il biossido di azoto sono rappresentate in forma grafica (isolinee di concentrazione) nella figura 4.2.1.2/III. Dall'esame di questa figura, si evidenzia che le aree interessate dalla massima ricaduta dei fumi dell'impianto si collocano a nord-ovest e a sud-est dello stesso, con valori modesti intorno ai 10-20 µg/m³. Il massimo assoluto pari a 38 µg/m³ è a circa 6 km. Tale valore rappresenta circa il 19 % del limite previsto dalla normativa vigente (200 µg/m³).

Valore medio annuale di NO_x: I risultati sono riportati in figura 4.2.1.2/IV. Le aree interessate maggiormente sono, come per il caso precedente, quelle a nord-ovest e sud-est. Il valore più elevato è risultato di 4,3 µg/m³. Tale valore è da ritenere estremamente contenuto rispetto ai valori di fondo esistenti nell'area.

b) Trasformazioni fisico-chimiche degli effluenti

Generalità

Le emissioni gassose primarie delle centrali nell'atmosfera libera vanno incontro a diversi processi fisici e chimici tra loro interagenti in modo complesso e non ancora del tutto definito dalla ricerca mondiale. Questi processi sono:

- dispersione (diffusione e trasporto avvevativo);
- trasformazioni chimiche, con produzione di specie ossidate;
- incorporazione nelle nubi;
- deposizione secca e umida.

Le caratteristiche di questi processi dipendono fortemente dai fattori meteorologici, che influenzano la dispersione degli inquinanti primari e di quelli da essi derivati, nonché dai fattori di inquinamento quali in particolare le emissioni di idrocarburi reattivi (RH) (da fonti diverse dalle centrali), che influenzano le concentrazioni di ossidanti e le cinetiche delle diverse reazioni chimiche; la dispersione è a sua volta influenzata dall'entità delle trasformazioni chimiche stesse, a causa del diverso comportamento delle specie primarie e secondarie nei processi di formazione delle nubi e nei riguardi della velocità di deposizione al suolo.

Le specie risultanti dalle suddette trasformazioni possono influenzare l'acidità dell'atmosfera e delle precipitazioni secche e umide nonché, direttamente, la qualità dell'aria con riguardo alle concentrazioni di specie inquinanti, in particolare dell'ozono.

Ossidanti forti presenti nell'atmosfera, di tipo molecolare, quali l'ozono e il perossido di idrogeno, o radicalico, quali l'idrossile OH, l'idroperossile HO₂ e radicali idrocarburi R-O₂, svolgono un ruolo cruciale nel governare le trasformazioni chimiche degli inquinanti.

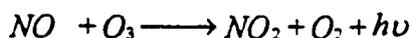
Alcuni ossidanti, come l'ozono, presentano effetti ambientali negativi di per sé; essi comunque governano la velocità di produzione di specie acide a partire dal biossido di zolfo e dagli NO_x. L'ozono è prodotto naturalmente nella stratosfera e può essere trasportato sporadicamente nella troposfera. La sua concentrazione è comunque fortemente influenzata dalle emissioni antropiche industriali e civili.

Formazione del biossido di azoto e valutazione della sua concentrazione al suolo

Le emissioni di impianti di combustione contengono principalmente ossido nitrico, NO, mentre l'emissione primaria di NO₂ è limitata a qualche percento del totale degli NO_x.

Poiché gli standard di qualità dell'aria riguardano però il solo NO₂ è necessario fornire una valutazione dell'entità della formazione di questo ossido nelle zone circostanti l'impianto.

Le principali reazioni chimiche interessanti gli ossidi di azoto all'interno del pennacchio sono le seguenti:



A titolo conservativo, si può assumere che le reazioni citate pervengano entro il pennacchio istante per istante all'equilibrio fotostazionario (cioè la velocità di formazione del NO₂ è pari a quella di fotodissociazione):

$$\frac{d[NO_2]}{dt} = 0, \text{ cioè } \frac{k[NO][O_3]}{J[NO_2]} = 1 \tag{3}$$

(concentrazioni in volume)

Il valore della costante cinetica k di ossidazione di NO da parte dell'ozono è fornito dalla seguente espressione (Stevens C.S., 1987):

$$k = 22,5 + 0,2 (t-21,5) \text{ ppm}^{-1} \text{ min}^{-1}$$

dove t = temperatura dell'aria in °C.

Il valore della costante cinetica di fotodissociazione, J, è calcolabile dalla:

$$J = J_{teor} \cdot R_{effettiva} / R_{massima}$$

dove:

$$J_{teor} = 0,01305 \cdot 60 \cdot \exp\left[-0,360 \frac{1}{\cos \alpha}\right] F(\alpha) \text{ in min}^{-1} \tag{D.D.Parrish et al., 1983}$$

$$\cos(\alpha) = \sin \lambda \cdot \sin \beta + \cos \lambda \cdot \cos \beta \cos [\pi (h-12)/12]$$

F(α) = fattore di correzione per l'elevazione, assunto pari a 1 in quanto l'errore sistematico indotto è piccolo rispetto ad altre fonti di errore

α = angolo del sole rispetto allo zenit

λ = latitudine

β = declinazione solare = 23 sen [2π /365(g-82)] (gradi sessagesimali)

g = giorno dell'anno contato dal 1 gennaio (giorno giuliano)

h = ora locale

Reff = radiazione effettiva, cioè quella misurata localmente
 Rmax = radiazione massima, per la stessa ora del giorno, corrispondente a cielo sereno.

Il rapporto J/K varia quindi in funzione dell'ora del giorno, per la variazione di K con la temperatura e di J con l'intensità della radiazione ultravioletta (290-420 nm).

Assumendo che l'ozono venga prodotto e consumato solo dalle reazioni sopra indicate, vale la relazione (bilancio dell'ossidante durante la diluizione del pennacchio):

$$\{[NO_2] + [O_3]\}_{\text{pennacchio}} = \{[NO_2] + [O_3]\}_{\text{aria diluizione}} + p[NO_x] \quad (4)$$

dove p è uguale al rapporto $[NO_2]/[NO_x]$ all'emissione; tale valore nelle emissioni dell'impianto considerato è variabile intorno a qualche percento ed è qui assunto pari al 2%.

Si pone inoltre per definizione:

$$[NO_x] = [NO] + [NO_2] \quad (5)$$

Con queste ipotesi, assumendo di conoscere dal modello di dispersione la concentrazione di $[NO_x]$ nel pennacchio e da misure sperimentali la concentrazione $\{[NO_2] + [O_3]\}$ nell'aria di diluizione, si può calcolare in ogni punto del pennacchio, e in particolare nelle zone di ricaduta, il rapporto:

$$f = \frac{[NO_2]}{[NO_x]}, \text{ cioè la frazione di } NO_2 \text{ sul totale degli } NO_x$$

Infatti, risolvendo il sistema formato dalle equazioni (3), (4) e (5), si ha:

$$f = \frac{1}{2} \left[b - \sqrt{b^2 - 4(p+r)} \right] \quad (6)$$

dove:

$$b = \frac{J}{k[NO_x]} + p + r + 1$$

$$p = \frac{[NO_2]_{\text{emissione}}}{[NO_x]_{\text{emissione}}}$$

$$r = \frac{[O_3]_{\text{aria diluizione}}}{[NO_x]}$$

La stima così ottenuta è conservativa in quanto sia il non raggiungimento della fotostazionarietà, sia l'ulteriore ossidazione di NO_2 in HNO_3 , tendono a far diminuire la concentrazione di NO_2 .

Di notte si ha $J=0$, per cui è attiva la sola reazione di ossidazione di NO ad NO_2 , che porta alla sparizione dell'NO o dell' O_3 a seconda delle concentrazioni relative; la (6) risulta pertanto così semplificata:

$$\begin{aligned} f &= p + r & \text{se } p + r &\leq 1 \\ f &= 1 & \text{se } p + r &> 1 \end{aligned} \quad (7)$$

A partire dal calcolo modellistico di $[\text{NO}_x]$ è stata quindi calcolata, per ogni ora e per ogni punto ricettore, la concentrazione di NO_2 dalla:

$$[\text{NO}_2]_{\text{ricettore}} = f_{\text{ricettore}} \cdot [\text{NO}_x]_{\text{ricettore}}$$

dove il fattore di trasformazione $f_{\text{ricettore}}$ è calcolato secondo la (6) o la (7) in funzione dell'ora del giorno e del giorno giuliano corrispondenti all'input meteo orario al modello COMPLEX-1, ed in funzione della concentrazione $[\text{NO}_x]_{\text{ricettore}}$ ottenuta in output dal modello stesso per quell'ora e quel ricettore.

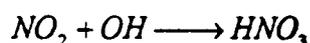
I parametri meteorologici necessari per poter eseguire sui valori orari il calcolo dell'entità della trasformazione, cioè temperatura ambiente e rapporto tra radiazione effettiva e radiazione massima teorica del sito sono stati ricavati dai dati descritti nel precedente § 4.2.1.1.1.

Per quanto attiene invece ai valori di ozono, per il sito in esame sono disponibili dati di campagne di misura eseguite nel periodo estivo ed invernale nel 1988 dai quali sono stati ricavati gli andamenti giornalieri tipici per stagione come già accennato nel precedente 4.2.1.1.2 al quale si rimanda. Il calcolo viene quindi eseguito selezionando la concentrazione di ozono in funzione dell'ora del giorno e della stagione.

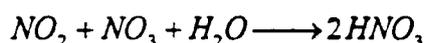
Produzione di specie acide

Le centrali del tipo proposto emettono quantitativi trascurabili di specie fortemente acide di per sé, ma solo precursori di specie acide, in pratica gli NO_x .

Nelle ore di insolazione, la principale via di formazione di acido nitrico è la reazione del biossido di azoto con il radicale OH



Di notte, invece, è prevalente la reazione di NO_2 con ozono che forma il radicale NO_3 , seguito da un'ulteriore reazione con NO_2 per formare ancora acido nitrico:



Entro i primi 10-15 km dall'emissione queste reazioni sono però inibite dalla carenza di ossidanti dovuta alla presenza di NO, pertanto entro queste distanze la concentrazione di HNO_3 è sostanzialmente indipendente da quella degli NO_x in emissione. A distanze

maggiori il tasso di trasformazione complessivo (da NO ad HNO₃) in condizioni estive è assunto conservativamente pari al 10%/h.

In condizioni di tempo umido, gli inquinanti atmosferici sono incorporati nelle goccioline d'acqua durante la formazione e l'evoluzione delle nubi. Il nitrato preformatosi agisce come efficiente nucleo di condensazione e si scioglie nelle goccioline delle nubi.

Tipicamente, quindi, l'acidità delle goccioline è limitata dalla disponibilità di ossidanti, specie l'H₂O₂, e quindi, in pratica, dalle concentrazioni di idrocarburi reattivi che sono emessi da fonti diverse rispetto alle centrali.

Poiché sia l'NO che l'NO₂ sono scarsamente solubili in acqua, non intervengono significativamente reazioni chimiche di ossidazione eterogenee con la formazione di acido nitrico. Si può assumere quindi che solo l'acido nitrico preformatosi venga catturato prontamente dalle nubi o dilavato dalle precipitazioni.

Deposizione secca e umida

La deposizione al suolo degli inquinanti atmosferici primari e secondari segue due vie principali, quella "secca" e quella "umida". La prima rappresenta un processo di trasferimento diretto dall'aria al suolo ed è assunta proporzionale (con costanti di proporzionalità funzione della specie chimica, della natura del terreno e delle condizioni meteorologiche) alle concentrazioni al suolo. La seconda implica la precipitazione o, almeno, la presenza di acqua nello strato liquido o solido. L'importanza relativa dei due flussi varia fortemente nel tempo e nello spazio.

La deposizione secca è generalmente il flusso più importante in termini quantitativi nelle vicinanze delle sorgenti di emissione, sino ad alcune decine di chilometri; nei climi secchi o in aree forestali in cui la chioma degli alberi cattura efficacemente gas e aerosoli, la prevalenza della deposizione secca può estendersi per distanze molto maggiori.

La deposizione umida prevale nei climi umidi e in regioni remote.

I meccanismi di produzione di specie acide in fase omogenea gassosa e di deposizioni al suolo sono stati incorporati entro grandi modelli numerici quali l'europeo PHOXA (PHotochemical OXidant in the Atmosphere), e nei moduli chimici di modelli generali di deposizione quali il RADM ("Regional Air Deposition Model" EPA-NCAR), CALGRID (CALifornia GRIDded model).

Per gli scopi di interesse in questa sede tutti i suddetti grandi modelli devono essere riguardati, al presente, come strumenti di ricerca; non se ne ritiene quindi realisticamente possibile ed utile un'applicazione pratica in questa sede.

Peraltro modelli semplificati sono largamente dimostrati come non realistici e pertanto non in grado di fornire previsioni più utili di quelle delle semplici valutazioni qualitative che seguono.

La deposizione secca è stimabile in via cautelativa mediante la seguente relazione: (si ricorda che il calcolo della concentrazione è fatto assumendo la riflessione totale degli inquinanti al suolo).

$$\phi = c \cdot V_d$$

Il parametro V_d , velocità di deposizione, nonostante la variabilità sopra accennata, è qui assunto pari ai valori massimi che sono intorno al cm/s per il biossido di azoto, e intorno a 0,1 cm/s per l'ossido nitrico e gli aerosoli secondari quali l'acido nitrico e relativi sali.

A titolo di esempio è stata valutata la distribuzione al suolo della deposizione totale annua di NO_x nell'assunzione cautelativa di $V_d = 1$ cm/s. Dall'esame di tale distribuzione risulta che le aree interessate dalla deposizione sono circa le stesse descritte in precedenza per il 98° percentile delle concentrazioni medie orarie e sono caratterizzate da un valore massimo della concentrazione media annua di $4,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ che equivale a circa $29 \text{ meq}/\text{m}^2/\text{anno}$ in direzione nord-ovest a circa 6-7 km dall'impianto. La deposizione umida degli inquinanti emessi dall'impianto entro l'ambito indagato può essere trascurata in quanto non si è verificata significativamente l'ossidazione di inquinanti primari e non sono presenti in zona rilievi tali da provocare piogge orografiche inglobanti il pennacchio.

c) *Qualità dell'aria complessiva con impianto in esercizio*

La qualità dell'aria complessiva, descritta nei termini statistici dalla normativa (98° percentile delle medie orarie o giornaliere rispettivamente per NO_x e SO_2) è la risultante della sovrapposizione del contributo della centrale e dei contributi di molteplici sorgenti eterogenee dal punto di vista delle caratteristiche di emissione (diverse altezze, temperature, dislocazione spaziale, durata di emissione, ecc.).

Per le suddette diversità i diversi contributi sono spazialmente e temporalmente scorrelati tra di loro; da un punto di vista teorico quindi, una previsione modellistica sarebbe possibile solo se si conoscessero con esattezza tutti i dati delle diverse sorgenti.

Una stima è però possibile basandosi sulla caratterizzazione della qualità dell'aria attuale e sulle valutazioni modellistiche della variazione del contributo della centrale dopo l'intervento proposto.

Si è quindi proceduto alla valutazione del contributo della centrale nell'assetto attuale e nell'assetto futuro prendendo in considerazione il 98° percentile delle medie orarie di NO_2 e il 98° percentile delle medie giornaliere di SO_2 utilizzando i dati sulle emissioni e sugli altri parametri indicati nel prospetto seguente:

Sorg.	Pot.	Camino				Portata fumi		Concentrazioni		
		Alt.	Diam.	Temp.	Veloc.	tal quale	secchi	SO ₂	NO _x	Polveri
Nome	MW	m	m	°C	m/s	Nm ³ /h	Nm ³ /h	mg/Nm ³	mg/Nm ³	mg/Nm ³

Centrale di Santa Barbara - SITUAZIONE ATTUALE

SEZ.1	125	100	5.8	150	6.8	420000	378000	3400	1000	150
SEZ.2	125	100	5.8	150	6.8	420000	378000	3400	1000	150

Centrale di Santa Barbara - SITUAZIONE FUTURA

TG1	335	90	6	175	32.2	2000000	1850000	0	150	0
TG2	335	90	6	175	32.2	2000000	1850000	0	150	0

I risultati di tali valutazioni sono rappresentati in forma grafica nelle figure 4.2.1.2/III - V - VI.

Dal confronto si ricava che il punto di massima ricaduta, che coincide per entrambe le situazioni, è situato a circa 6 km dalla centrale in direzione Nord-Ovest. Di seguito sono riportati in dettaglio i risultati ottenuti:

PARAMETRO	CONTRIBUTO CENTRALE ATTUALE ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	CONTRIBUTO CENTRALE DOPO L'INTERVENTO PROPOSTO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
MAX NO ₂ 98°percentile delle medie orarie	46	38
MAX SO ₂ 98° percentile medie delle 24 ore	149	----

In conclusione si può pertanto ritenere che:

- la trasformazione in ciclo combinato della centrale pur conseguendo un incremento della potenza darà luogo all'eliminazione delle emissioni di SO₂ e polveri ed alla riduzione del 20% delle emissioni di NO_x. Ciò comporterà di conseguenza l'annullamento del contributo della centrale alle concentrazioni al suolo per SO₂ e polveri e la riduzione del 20% del corrispondente contributo di NO₂

- la qualità dell'aria complessiva della zona, ove è più elevato il contributo della centrale e che attualmente rispetta con ampio margine i valori stabiliti dalla vigente normativa, subirà un miglioramento per effetto dell'intervento proposto.

4.2.1.2.2. Effetti sul microclima

L'unica azione connessa alla realizzazione del progetto che, in linea di principio, può provocare effetti sul microclima è il funzionamento delle torri evaporative di raffreddamento. L'impatto climatico che le torri evaporative possono esercitare può essere valutato, mediante modelli matematici e/o per analogia sulla base delle esperienze acquisite in vari paesi del mondo per installazioni analoghe in contesti ambientali simili.

Gli aspetti climatici oggetto di attenzione sono:

- diffusione e concentrazione al suolo del vapor d'acqua (effetto sull'umidità relativa);
- regioni di effluente condensato (emissioni visibili e proiezione al suolo delle ombre dei pennacchi);
- riduzione della radiazione solare diretta al suolo;
- ricaduta al suolo delle gocce di trascinamento ("drift");
- variazione di temperatura, umidità e acqua liquida in superficie;
- incrementi di nebbie, foschie e ghiaccio al suolo;
- influenze sulla nuvolosità e sul regime delle precipitazioni.

I risultati di modellazioni matematiche eseguite su installazioni di maggiore potenza nello stesso sito (S.I.A. Centrale Policombustibile di S. Barbara 2x320 MW -1991) dimostrano che lo smaltimento con torri a umido del calore residuo non è tale da determinare variazioni o influenze apprezzabili in nessuno degli aspetti climatici sopra elencati, tranne per quanto riguarda la visibilità degli effluenti.

A titolo di esempio l'influenza delle torri sulla concentrazione al suolo dell'umidità è limitata a pochi chilometri e raggiunge valori massimi del 2 per mille, cioè risulterebbe difficilmente misurabile con la consueta strumentazione di misura.

La parte visibile delle emissioni (e quindi la zona per cui viene modificata l'insolazione) è contenuta entro una breve distanza sottovento di 1 km dalle torri.

In generale, sulla base della modellazione matematica, si può affermare che l'influenza sulle condizioni climatiche, con riguardo alle alterazioni termiche, dei regimi di ghiacciamento al suolo, delle nebbie, delle precipitazioni piovose e nevose, ecc. risulta

esigua anche per torri evaporative di potenza nettamente superiore a quella delle torri di S. Barbara.

Da un punto di vista empirico le osservazioni sperimentali condotte in tutto il mondo evidenziano effetti in prossimità del suolo (ghiaccio, nebbia, umidità, temperatura) tanto piccoli da essere non solo trascurabili, ma neppure rilevabili rispetto al cosiddetto "rumore di fondo". La temperatura dell'aria appare talora aumentata (di alcuni decimi di grado) nelle vicinanze sottovento agli impianti (soprattutto di notte), ma più per effetto della dispersione di calore dagli edifici caldaia che non delle torri; prova di ciò è che si vede l'umidità relativa decrescere nelle medesime ore. Ciò sembra addirittura portare ad una piccola riduzione dei periodi di tempo in cui può sussistere lo stato di rugiada sulle foglie.

In quota, i processi che possono essere alterati dalle torri evaporative sono essenzialmente lo stato di copertura nuvoloso e il regime delle precipitazioni. Su questo punto le osservazioni sperimentali, che si riferiscono in genere a torri singole di potenza dell'ordine del migliaio di MW, concordano nel concludere che, a parte la formazione di piccoli cumuli in situazioni particolari, non si producono mai condizioni di precipitazioni addizionali.

Venendo, infine, alla ricaduta al suolo delle gocce di trascinamento ("drift"), si è visto che, grazie all'eccellente grado di separazione ottenuto con i moderni separatori di gocce, gli eventuali effetti di bagnatura del suolo o di ghiacciamento sono limitati, nel peggiore dei casi, ad un'area di raggio dell'ordine di poche centinaia di metri.