



ANPA

Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente

**LINEE GUIDA PER LA SELEZIONE E L'APPLICAZIONE DEI
MODELLI DI DISPERSIONE ATMOSFERICA PER LA
VALUTAZIONE DELLA QUALITÀ DELL'ARIA**

RTI CTN_ ACE 4/2001

ANPA

Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente

Dipartimento Stato dell'Ambiente, Controlli e Sistemi Informativi

**Linee guida per la selezione e l'applicazione dei modelli di
dispersione atmosferica per la valutazione della qualità
dell'aria**

Francesco Lollobrigida, ARPA Piemonte
Giuseppe Brusasca, CESI
Monica Clemente, ARPA Piemonte
Roberta De Maria, ARPA Piemonte
Marco Deserti, ARPA Emilia - Romagna
Franco Desiato, ANPA
Francesca Lena, ANPA
Gianni Tinarelli, CESI
Gabriele Zanini, ENEA

Responsabile di progetto
ANPA
Franco Desiato



Responsabile CTN_ ACE
Gianfranca Galliani

Informazioni legali

L'Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente o le persone che agiscono per conto dell'Agenzia stessa non sono responsabili per l'uso che può essere fatto delle informazioni contenute in questo rapporto.

Supervisione editoriale a cura di:

Daniele Violetti, in collaborazione con Francesca Fini (ARPA Emilia - Romagna)

Riproduzione autorizzata citando la fonte

Stampato in Italia

Stampato su carta ecologica

Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente
Dipartimento Stato dell'Ambiente, Controlli e Sistemi Informativi
Via Vitaliano Brancati, 48
00144 Roma

Centro Tematico Nazionale – Aria Clima Emissioni
c/o ARPA Emilia Romagna
Via Malvasia, 6
40124 Bologna

Indice

1	INTRODUZIONE	1
2	SCENARIO 1 – DISPERSIONE DI INQUINANTI RILASCIATI DA SORGENTI LINEARI, AREALI, PUNTIIFORMI NON ISOLATE, DI CUI SI VOGLIANO DETERMINARE LE CONCENTRAZIONI MEDIE ORARIE E LE DEPOSIZIONI AL SUOLO A BREVE E LUNGO TERMINE	2
2.1	TIPOLOGIE DEI MODELLI APPLICABILI.....	3
2.1.1	<i>Modelli di screening</i>	4
2.1.2	<i>Modelli di complessità superiore</i>	4
2.2	DATI DI INGRESSO PRINCIPALI	5
2.2.1	<i>Dati meteorologici</i>	5
2.2.2	<i>Rappresentatività spaziale</i>	6
2.2.3	<i>Rappresentatività temporale</i>	6
2.2.4	<i>Dati emissivi e chimici</i>	7
2.2.5	<i>Dati territoriali</i>	7
2.2.6	<i>Condizioni al contorno</i>	8
2.3	MODULI SPECIFICI	8
2.4	RISORSE DI CALCOLO.....	9
2.5	DATI IN USCITA.....	9
2.6	ASPETTI CRITICI.....	9
3	SCENARIO 2 – DISPERSIONE DI INQUINANTI RILASCIATI DA SORGENTI PUNTIIFORMI ANCHE ISOLATE, AREALI, LINEARI IN RELAZIONE AL TRAFFICO EXTRAURBANO.....	10
3.1	TIPOLOGIE DI MODELLI APPLICABILI.....	11
3.1.1	<i>A) Modelli analitici stazionari a pennacchio, Gaussiani e non</i>	11
3.1.2	<i>B) Modelli non stazionari a puffo a segmenti</i>	12
3.1.3	<i>C) Modelli 3D Lagrangiani ed Euleriani</i>	12
3.2	DATI DI INGRESSO PRINCIPALI	13
3.2.1	<i>Dati meteorologici</i>	13
3.2.2	<i>Rappresentatività spaziale</i>	14
3.2.3	<i>Rappresentatività temporale</i>	15
3.2.4	<i>Dati emissivi e chimici</i>	15
3.2.5	<i>Dati territoriali</i>	15
3.2.6	<i>Condizioni al contorno</i>	15
3.3	MODULI SPECIFICI	16
3.4	RISORSE DI CALCOLO.....	16
3.5	DATI IN USCITA.....	16
3.6	ASPETTI CRITICI.....	17
4	SCENARIO 3 – FORMAZIONE E DISPERSIONE DI INQUINANTI SECONDARI	17
4.1	TIPOLOGIE DI MODELLI APPLICABILI.....	19
4.2	DATI DI INGRESSO PRINCIPALI	19
4.2.1	<i>Dati meteorologici</i>	19
4.2.2	<i>Dati emissivi e chimici</i>	20
4.2.3	<i>Dati territoriali</i>	21
4.2.4	<i>Condizioni al contorno</i>	21
4.3	MODULI SPECIFICI	22
4.3.1	<i>Il modulo chimico</i>	22
4.4	RISORSE DI CALCOLO.....	22
4.5	DATI IN USCITA.....	23

4.6	ASPETTI CRITICI.....	23
5	RAPPRESENTAZIONE GRAFICA DEI RISULTATI DEI MODELLI DI DISPERSIONE	23
5.1	CASO 1	26
5.2	CASO 2	27
	BIBLIOGRAFIA	31
	APPENDICE	33
	ALLEGATI	35
	ALLEGATO A - ELEMENTI CHE CONCORRONO ALLA DEFINIZIONE DEGLI SCENARI.....	35
	ALLEGATO B	36
	LIMITI DI LEGGE ATTUALMENTE VIGENTI	36
	LIMITI DI LEGGE RIPORTATI NELLE DIRETTIVE E PROPOSTE DI DIRETTIVE COMUNITARIE	40

1 INTRODUZIONE

Il presente documento contiene i risultati delle attività svolte da un gruppo di lavoro del Centro Tematico Nazionale Atmosfera Clima Emissioni in aria (CTN-ACE) nel corso del 2000, anche come proseguimento e approfondimento di attività, inerenti allo sviluppo di linee guida per la selezione dei modelli di dispersione atmosferica, già iniziate nel corso del 1999.

In particolare, si è proceduto ad una rivisitazione e all'approfondimento di alcuni elementi della norma UNI "Valutazione della dispersione in atmosfera di effluenti aeriformi - guida ai criteri di selezione dei modelli matematici" (Anfossi *et al.*, 2000), dal punto di vista:

- delle procedure di valutazione della qualità dell'aria ambiente previste dal D.lgs n. 351/99 (Attuazione della Direttiva 96/62/CE in materia di valutazione e di gestione della qualità dell'aria ambiente) e dal D.M. 163/1999 (Regolamento recante norme per l'individuazione dei criteri ambientali e sanitari in base ai quali i sindaci adottano le misure di limitazione della circolazione);
- delle valutazioni di impatto sull'aria ambiente generato dalle emissioni di una o più fonti inquinanti.

Con l'obiettivo di semplificare e di rendere più chiara l'articolazione delle possibili applicazioni dei modelli nell'ottica considerata, sono stati presi in considerazione e analizzati tre scenari così caratterizzati:

- *scenario 1* - Dispersione di inquinanti rilasciati da sorgenti lineari, sorgenti areali, sorgenti puntiformi non isolate (microscala e scala locale);
- *scenario 2* - Dispersione di inquinanti rilasciati da sorgenti puntiformi anche isolate, areali e lineari relative al traffico extraurbano (scala locale e mesoscala);
- *scenario 3* - Formazione e dispersione di inquinanti secondari (mesoscala).

La suddivisione proposta si presta, come tutte, a una parziale sovrapposizione degli scenari che la compongono, ma è stata preferita ad altre in quanto ogni scenario è relativo ad una delle situazioni che coloro che operano nel campo dell'inquinamento atmosferico si trovano ad affrontare con più frequenza: la valutazione dell'aria ambiente su un'area urbana anche di dimensioni estese (scenario 1), la valutazione di impatto sull'aria ambiente di un'emissione industriale o di una infrastruttura viaria (scenario 2), la valutazione dell'inquinamento da ozono troposferico sul territorio di una o più regioni confinanti (scenario 3).

È da sottolineare inoltre che le indicazioni relative agli scenari 2 e 3, nel loro insieme, forniscono l'inquadramento metodologico utile all'utilizzo dei modelli all'interno della valutazione dell'aria ambiente in ambito regionale, prevista dal D.lgs n. 351/1999.

Il documento si articola in quattro capitoli e due allegati. I primi tre capitoli sono dedicati ai tre scenari applicativi sopracitati, secondo uno schema analogo a quello adottato nelle schede UNI, con un particolare approfondimento degli aspetti critici di applicazione delle vari tipologie di modelli. Il quarto capitolo è dedicato alle modalità di rappresentazione grafica degli output dei modelli, sulla base dei parametri previsti dalla normativa vigente e dalle direttive europee emanate o in corso di preparazione.

Si propone il lavoro in forma di Rapporto Tecnico a circolazione ristretta nell'ambito della rete delle agenzie ambientali, al fine di consentire un proficuo scambio di

informazioni per acquisire ulteriori elementi utili alla redazione dello stesso per una diffusione più ampia, nell'ambito della serie editoriale ANPA (Linee guida/Manuali).

2 SCENARIO 1 – DISPERSIONE DI INQUINANTI RILASCIATI DA SORGENTI LINEARI, AREALI, PUNTIFORMI NON ISOLATE, DI CUI SI VOGLIANO DETERMINARE LE CONCENTRAZIONI MEDIE ORARIE E LE DEPOSIZIONI AL SUOLO A BREVE E LUNGO TERMINE

Campo di applicabilità:

- microscala o scala locale;
- periodo qualunque;
- qualsiasi sito e sorgente;
- inquinanti non reattivi.

Esempi:

- calcolo delle concentrazioni al suolo ed in quota in un canyon urbano;
- calcolo delle concentrazioni prodotte da una rete di strade;
- stima delle concentrazioni medie annue in area urbana, delle concentrazioni e deposizioni medie annue nei pressi di estesi impianti energetici e industriali ove la presenza di edifici può influenzare la dispersione;
- valutazioni di impatto sulla qualità dell'aria locale di parcheggi superficiali e gallerie.

Lo scenario considera situazioni di grande complessità topografica ove le concentrazioni possono raggiungere livelli elevati, dovuti alla concomitanza di forti flussi di traffico e scarsa ventilazione. Altra situazione compresa nello scenario è quella nella quale uno o più camini, solitamente appartenenti ad impianti industriali, energetici, per la produzione di energia e riscaldamento a livello di quartiere o alle ventilazioni di importanti tunnel percorsi da autoveicoli, emettono una miscela inquinante di cui si voglia conoscere la concentrazione vicino al punto di emissione. Terreno complesso e presenza di edifici influenzano significativamente la dispersione e possono condurre a fenomeni di accumulo delle concentrazioni e delle deposizioni. Gli edifici prossimi al camino possono indurre un brusco atterramento dell'emissione con conseguente aumento delle concentrazioni, a parità di condizioni dispersive e di distanza, rispetto alla situazione che vede la sorgente isolata.

I modelli sono solitamente utilizzati:

- per interpretare dati misurati in punti prossimi alla sorgente in ambiente urbano;
- per la progettazione urbanistica e per la gestione del traffico. Sono inoltre propedeutici alla stima dell'esposizione degli abitanti e di particolari categorie professionali agli inquinanti emessi dal traffico autoveicolare;
- per valutazioni di impatto ambientale o per la progettazione stessa dei camini e per definire le caratteristiche quantitative e temporali dell'emissione. Nei grandi complessi industriali la simulazione a microscala può servire alla progettazione di

piani di emergenza e per prevenire croniche esposizioni del personale (progettazione dell'orientamento delle bocche di ventilazione).

Scala spaziale: il dominio spaziale di riferimento varia da 500x500 m² a 10x10 km² ; ovviamente si possono considerare domini rettangolari per descrivere sorgenti lineari.

Scala temporale: solitamente sono calcolate medie orarie. L'analisi di scenario è possibile considerando la ciclicità delle emissioni, evidente nel traffico veicolare e nelle produzioni industriali e le caratteristiche del *giorno tipo* o del *giorno rappresentativo*. Per le simulazioni *climatologiche* o *statistiche* i modelli vengono alimentati con serie annuali o serie temporali di estensione limitata ma di rappresentatività stagionale o periodica, composte da dati orari.

Ambito territoriale: territori urbanizzati, vasti complessi industriali prossimi ad aree antropizzate, grandi infrastrutture di collegamento, anche situati in orografia complessa o zone costiere. Non esistono peculiarità dipendenti dalla latitudine che non siano già comprese nelle caratteristiche meteorologiche. Flussi peculiari dell'interfaccia acqua-suolo o monte-valle, dovrebbero risultare compresi nel calcolo dei parametri dinamici.

Tipologia di sorgente: sorgente lineare singola (tipo *street canyon*), sorgenti lineari intersecantesi (serie di strade fra blocchi di edifici), camini o ventilazioni isolate ad espulsione naturale o forzata, elevate rispetto al piano campagna. Possono essere considerate sorgenti areali, i parcheggi o gruppi di sorgenti lineari difficilmente caratterizzabili come entità separate. Solitamente molti modelli possono trattare tutti i tipi di sorgenti fino ad un limite massimo che dipende dal modello.

Tipologia di inquinante: teoricamente, tutti i modelli possono includere le reazioni che coinvolgono i precursori. Le reazioni variano in numero ed in complessità come, di pari passo, variano le richieste riguardanti l'insieme dei dati di input. In assenza di qualunque relazione fra precursori e prodotti, si considerano gli inquinanti inerti.

2.1 Tipologie dei modelli applicabili

La quasi totalità dei modelli ha, attualmente, la possibilità di trattare più di un tipo di sorgente, mentre ancora un numero limitato di essi può farlo contemporaneamente. La sorgente puntiforme è quella per la cui trattazione sono nati i modelli di dispersione in atmosfera. A fronte quindi di un gran numero di proposte, il processo di scelta è allo stesso modo complicato da un gran numero di eccezioni. I modelli gaussiani, ad esempio, hanno incorporato nel corso del tempo, fattori di correzione o algoritmi per l'adattamento al terreno complesso e alla presenza di edifici non adottate però nella totalità dei modelli di tale famiglia.

Per calcolare la media annua delle concentrazioni nelle simulazioni di lungo termine, teoricamente, si potrebbe iterare un modello cosiddetto *short term* per tutte le ore di un anno, a patto, naturalmente, di conoscere le condizioni meteorologiche ed emissive di ciascun intervallo temporale elementare. Con l'analisi delle serie annuali di dati meteorologici orari o triorari è però possibile costruire le cosiddette *Joint Frequency Functions* (JFF), ossia aggregati statistici che incorporano dati di almeno un decennio,

relativi ad una particolare stazione meteorologica. Le JFF forniscono in pratica la frequenza con la quale, in un dato sito, una particolare classe di stabilità atmosferica è associata ad una data direzione di provenienza del vento e ad una determinata classe di velocità. Tuttavia, per alcuni inquinanti vengono richieste statistiche più complesse della media oraria sull'anno, come ad esempio la media corrente, o quella su 8 ore o il calcolo dei percentili.

In tali casi occorre predire le concentrazioni di ciascuna ora dell'anno, raggrupparle nelle sequenze volute e determinare l'eventuale superamento dell'obiettivo di qualità.

Un'altra possibilità risiede nel determinare una sorta di relazione empirica fra media oraria e media nella sequenza dovuta, in modo da conoscere per quali valori della concentrazione oraria si avrà il superamento. In questo modo, sarà possibile eliminare quel sottoinsieme di concentrazioni orarie che sicuramente non produrranno il superamento del limite.

2.1.1 Modelli di screening

Sono modelli semplici, progettati per fornire risposte immediate a fronte di pochissimi ed essenziali dati di ingresso; si basano su relazioni empiriche derivanti da esperienze sul campo oppure su simulazioni effettuate con modelli più complessi. Questi modelli calcolano le concentrazioni orarie o elaborano percentili in caso di condizioni meteorologiche avverse e per un tipo di sorgente alla volta. La risposta del modello è immediata, l'applicazione molto economica ma l'obiettivo del calcolo è circoscritto a controllare la prossimità o meno delle concentrazioni ai limiti; solo in caso di non prossimità possono essere evitate ulteriori indagini. I dati di ingresso necessari sono quelli relativi all'emissione e alla velocità del vento. In qualche caso sono richieste scelte relative alla lunghezza di rugosità (classi predefinite).

2.1.2 Modelli di complessità superiore

Modelli gaussiani classici o modificati per rappresentare l'orografia complessa o le distorsioni indotte dalla presenza di edifici, modelli a plume e a box o composizioni delle soluzioni precedenti.

Sono modelli analitici della famiglia gaussiana con diversi livelli di complicazione, dipendenti dalla parametrizzazione meteorologica e dal tipo di funzione utilizzata per descrivere l'influenza degli ostacoli. La presenza dell'ostacolo non è risolta esplicitamente ma è considerata tramite una funzione che corregge la forma della distribuzione. I modelli gaussiani tradizionali o di nuova generazione, ossia quelli con una trattazione più sofisticata della turbolenza, possono essere predisposti per incorporare l'input meteorologico basato sull'elaborazione di dati meteorologici statistici aggregati. I modelli in versione *short - term* possono essere eseguiti per simulare l'intervallo elementare e quindi iterati per coprire l'intervallo temporale di interesse.

Modelli iterativi tridimensionali

Utilizzano serie temporali di campi di vento 3D e simulano la diffusione mediante schemi lagrangiani o euleriani. Sono molto utili in casi di orografia complessa e superficie disomogenea.

Modelli fluidodinamici CFD (Computational Fluid Dynamic models)

Sono modelli complessi che risolvono equazioni tridimensionali per vento, temperatura, umidità e concentrazioni. Sono utilizzati per simulazioni molto dettagliate nello spazio e nel tempo. Gli ostacoli, si tratti di edifici o altre particolarità orografiche o architettoniche, sono risolti esplicitamente nel modello. A questa famiglia appartengono anche i cosiddetti modelli fisici tratti da esperienze di laboratorio dove la situazione reale è riprodotta mediante plastici in scala.

2.2 Dati di ingresso principali

2.2.1 Dati meteorologici

Dati meteorologici primari comuni a tutti i modelli

- Velocità e direzione del vento al suolo o al di sopra del livello medio dei tetti, possibilmente un profilo verticale;
- temperatura al suolo e gradiente termico;
- umidità dell'aria, pressione atmosferica, radiazione solare globale e netta, precipitazione.

Per i modelli tridimensionali

Campi di vento in tre dimensioni ricostruiti con modelli a conservazione di massa, oppure da modelli *linearizzati* se si è in presenza di orografia semplice.

Dati meteorologici derivati

- Altezza dello strato di rimescolamento;
- categoria di stabilità (modelli gaussiani);
- lunghezza di Monin-Obukhov, velocità di attrito con la superficie, flusso di calore sensibile.

Dati particolari per i modelli CFD (insieme delle possibili richieste)

- Temperatura delle superfici e gradiente termico;
- flussi di calore dalle superfici orizzontali e verticali;
- radiazione solare sulle superfici;
- campo tridimensionale della turbolenza.

Per le simulazioni a lungo termine

Tabelle statistiche di dati meteorologici aggregati in frequenze congiunte di accadimento per:

- classi di velocità del vento;
- settori di provenienza del vento;
- classi di stabilità atmosferica;
- frequenze di classi di intensità di precipitazione (per specie che depositano).

2.2.2 Rappresentatività spaziale

I dati meteorologici devono essere rappresentativi delle condizioni medie nell'area esaminata.

Sia per valutazioni a livello di gruppo di strade sia per quelle a livello di singola strada o confluenza di più strade, il dato di vento è quello medio sopra gli ostacoli presenti (per esempio edifici).

Talvolta il dato di vento utilizzato deriva da un'interpolazione delle misure disponibili.

Nella maggior parte dei casi, i dati meteorologici per simulazioni su aree urbane derivano da postazioni presso gli aeroporti, ovvero in zone molto lontane dal teatro della simulazione, che presentano regimi anemologici e profili termici sensibilmente diversi da quelli delle zone a forte antropizzazione. L'intensità e la direzione del vento sono fortemente condizionate dalle aree edificate e soprattutto in presenza di regimi locali con periodicità diurna (brezze di mare o monte), le differenze fra la misura aeroportuale e la situazione reale all'interno della città può risultare decisamente non trascurabile. Anche al di fuori dell'area urbana, tuttavia, la distanza fra il luogo di simulazione e la postazione anemologica non può essere *grande a piacere*; occorre invece valutare con cura la rappresentatività spaziale della misura che sarà tanto più ridotta quanto più elevata sarà la complessità dell'orografia, la diversa esposizione dei versanti, la presenza di regimi locali e periodici.

I modelli analitici utilizzano una sola misura di vento effettuata nei pressi della sorgente, mentre i modelli fluidodinamici o a griglia hanno necessità di campi di flusso dettagliati. Nel caso di sorgenti puntiformi con emissione calda o a cui si imprime una velocità verticale, occorrono dati di vento e temperatura (misurati o calcolati) all'altezza del camino, onde calcolare l'altezza effettiva del rilascio.

2.2.3 Rappresentatività temporale

I dati meteorologici devono rappresentare valori medi nell'intervallo di tempo su cui sono calcolate le concentrazioni (tipicamente un'ora). Le tabelle statistiche devono essere ricavate da osservazioni su un periodo di alcuni anni, con passo temporale minore di 3 h. Per i modelli iterativi occorre almeno un anno di dati.

In alcune simulazioni di scenario, sono considerate caratteristiche meteorologiche e dispersive medie per un giorno o per un periodo; in altre parole si ricostruisce l'andamento orario delle grandezze dinamiche e termiche, a partire dall'analisi statistica di periodi corrispondenti, effettuata sulla serie di dati disponibili. In tal modo, si definisce un *giorno - tipo* o *periodo - tipo* (settimana, stagione) sul quale viene eseguito il modello. In tali casi, il confronto fra le concentrazioni calcolate e quelle misurate è possibile a patto che, anche per queste ultime, sia possibile produrre una statistica consolidata relativa all'intervallo considerato.

Una scelta più efficiente è rappresentata dalla selezione del cosiddetto *giorno rappresentativo* costruito a partire non già ai dati meteorologici bensì dalle misure di inquinamento. Se infatti si analizza la serie delle concentrazioni orarie dell'inquinante da simulare, si può individuare un giorno, entro un periodo dato, durante il quale l'andamento delle concentrazioni ha il minimo scostamento dalla media. In tal modo, sarà un giorno reale a *rappresentare* un periodo più lungo. Per il giorno rappresentativo, sia i dati meteorologici sia quelli di concentrazione, saranno reali ed i confronti con le concentrazioni calcolate non risentiranno dell'incertezza dei processi di media. L'analisi statistica viene, in altre parole, resa esterna e preliminare alla sequenza di simulazione eliminando un ulteriore elemento d'incertezza.

2.2.4 *Dati emissivi e chimici*

Le fonti di emissione si schematizzano in sorgenti *elementari* di tipo puntiforme (camini), lineare (strade) e areale (sorgenti diffuse sul territorio, per esempio traffico su tratti secondari, riscaldamento, serbatoi industriali). Ad ogni sorgente è associata la quantità di emissione dell'inquinante considerato nell'intervallo di interesse (per esempio emissioni orarie di monossido di carbonio); tale emissione si considera solitamente distribuita uniformemente su tutta la figura geometrica che schematizza la sorgente elementare.

Nel caso di emissioni da traffico, la sorgente è espressa in *unità di massa / unità di lunghezza* nell'intervallo di tempo specificato, relativa ad una particolare classe di veicoli e per una velocità media definita. Nella definizione del termine sorgente entrano quindi la lunghezza della strada, volumi di traffico per le diverse direzioni, velocità di percorrenza del tratto. In presenza di moduli che calcolano le reazioni chimiche, occorre fornire le emissioni dei precursori o la speciazione dei COV (composti volatili organici) con il dettaglio richiesto dallo schema utilizzato.

Per le sorgenti puntiformi, oltre al tipo e quantità di inquinanti emessi, sono richieste le coordinate della base, l'altezza ed il diametro del camino e, nel caso di sorgente non isolata o bassa, le dimensioni orizzontali e verticali della sezione di edificio perpendicolare alla direzione del vento. Per il calcolo dell'innalzamento del pennacchio sono necessari la velocità di uscita dei fumi e la loro temperatura.

2.2.5 *Dati territoriali*

Per la simulazione *street canyon* sono richiesti l'altezza media degli edifici e la larghezza del canyon, in alcuni casi è richiesta la natura delle *pareti* del canyon (edifici, alberi), coordinate dell'inizio e della fine del tratto stradale, la sua altezza sul piano campagna (può essere anche negativa se la strada è in trincea).

Per le sorgenti areali sono richieste le dimensioni geometriche e l'altezza sul piano campagna; in alcuni casi serve il coefficiente di dispersione verticale iniziale per la sorgente areale.

La cartografia del dominio è indispensabile per visualizzare le concentrazioni ed incrociare così altre informazioni utili per la valutazione, quali la densità di popolazione o la presenza di siti di particolare interesse storico e/o naturalistico.

Dove necessario, può essere impiegato un modello digitale del terreno, ossia un file che riporta l'altezza sul livello del mare di punti del terreno posti in un grigliato, disponibile a diverse risoluzioni. Da questo file è possibile ottenere le curve altimetriche della zona simulata.

In alcuni modelli è richiesto l'uso del suolo: in assenza di una carta esplicita è possibile ricostruire l'uso del suolo definendo la categoria dominante entro la cella con cui si suddivide il territorio.

2.2.6 *Condizioni al contorno*

Per i modelli gaussiani non è applicabile il concetto di condizione al contorno intesa come raccordo termico e dinamico con ciò che accade al di fuori del dominio di calcolo. Tale raccordo è invece determinante nei modelli che risolvono gli ostacoli per i quali gradienti termici e caratteristiche dinamiche devono essere raccordate con i campi al di fuori della zona di alterazione della turbolenza causata dagli ostacoli.

Nelle simulazioni a microscala non è semplice il collegamento fra i fenomeni chimico-fisici all'interno del canyon e quelli dominanti all'esterno del volume. Solitamente, direzione e velocità del vento sono riferite alla quota dei tetti; in altri casi è richiesto un profilo verticale imperturbato (ovvero misurato o stimato al di fuori della zona urbanizzata o considerato da una quota a partire dalla quale è assente l'influenza della topografia).

Sulla delicatezza dell'interpretazione del dato meteorologico si è già detto; stessa cautela occorre nella definizione di concentrazioni di fondo che nel caso specifico assumono un significato diverso da quello impiegato in altri contesti. La concentrazione di fondo, nel caso di simulazioni in canyon, dovrebbe essere la concentrazione residua e immutabile su base statisticamente consolidata che persiste al di fuori del canyon ma in luoghi non remoti rispetto alle sorgenti.

Nelle simulazioni a scala urbana, il fondo dovrebbe essere calcolato coinvolgendo l'insieme dei punti della rete e garantendo una base statistica solida per depurarlo della variabilità delle sorgenti e meteorologica.

2.3 *Moduli specifici*

- Moduli per la determinazione dei flussi di traffico nei tratti di strada e nelle intersezioni (quantità di veicoli, distribuzione dei veicoli nei diversi *stati* (veicolo che viaggia a velocità di crociera, veicolo che accelera, veicolo che decelera, veicolo in attesa ecc.). Questi moduli utilizzano come dati di input le matrici origine-destinazione e misure di flussi veicolare laddove sono disponibili.
- Moduli per il calcolo delle emissioni in situazioni di traffico congestionato (correzione dei fattori di emissione tramite funzioni del tempo di verde, numero di veicoli, lunghezza del tratto stradale).
- Moduli per la determinazione delle emissioni in funzione dello stato della *flotta* di veicoli nei tratti di strada considerati.
 - Innalzamento del pennacchio (in caso di rilascio ad alta temperatura e/o elevata velocità verticale);
 - Correzione dei parametri dispersivi per effetto degli edifici e/o per la presenza di complessità orografiche;
 - *Routine* per il calcolo della deposizione secca e/o umida. Alcuni modelli presentano *routine* chimiche di diversa complessità. Lo schema più semplice si concretizza in una correlazione che conduce a concentrazioni di NO₂ a partire dalle emissioni di NO_x. Si possono trovare schemi più complessi che coinvolgono anche i COV: è il caso ad esempio di ADMS che contiene il

cosiddetto *Generic Reaction Set* in cui le reazioni che coinvolgono NO, NO₂, O₃ e gli idrocarburi, sono condensate in sette relazioni.

- Moduli per il calcolo della turbolenza indotta dai veicoli, sono necessari nei CFD ma alcune semplici funzioni sono comprese anche nei modelli di complessità intermedia. In questi è definita una zona ad aumentata turbolenza ed i tempi di scala dell'energia cinetica turbolenta sono legati alla lunghezza dei veicoli ed alla loro velocità.

2.4 Risorse di calcolo

I *modelli di screening* sono eseguiti anche su semplici calcolatrici ed in alcuni casi sono rappresentati da semplici normogrammi.

I modelli più complessi possono essere eseguiti su personal computer con prestazioni medio – alte, salvo diverse prescrizioni che vengono rese note dagli sviluppatori.

I modelli fluidodinamici devono essere eseguiti su mainframe potenti, *cluster* di PC e *work station*.

Occorre precisare che computer con prestazioni elevate sono spesso necessari non tanto per l'esecuzione del modello in sé quanto per le fasi precedenti e successive di connessione con data base, GIS e sistemi di grafica avanzata.

2.5 Dati in uscita

Concentrazione media oraria degli inquinanti considerati in determinati punti ricettori. Valori medi di concentrazione in aria per un tempo di campionamento pari a quello della serie di dati meteorologici con cui sono state costruite le tabelle statistiche, e per un periodo di riferimento pari a un anno *medio*. Valori di deposizione accumulata su un anno *medio*. Serie di valori orari da cui ricavare la distribuzione statistica voluta.

2.6 Aspetti critici

- Determinazione accurata dei flussi di traffico e delle emissioni. Con il raffinarsi della scala di simulazione diventa sempre più importante la definizione del termine sorgente. Il calcolo delle emissioni con i fattori di emissione CORINAIR può indurre sottostime della sorgente in modo considerevole soprattutto nei *canyon* dove il traffico può essere fortemente congestionato. Impiegare un modello sofisticato con una non accurata definizione della sorgente comporta risultati mediocri che non giustificano la scelta, indubbiamente più onerosa di utilizzare un modello complesso.
- Stima dell'altezza dello strato rimescolamento.
- Stima dell'innalzamento del pennacchio e trattamento della penetrazione parziale dello strato di inversione.
- Trattamento di sorgenti non stazionarie.
- Accuratezza dei campi di vento: più è complessa l'orografia, tanto più devono essere numerose e significative le stazioni anemometriche, in particolare i sondaggi verticali.
- Stima dei coefficienti di dispersione o dei parametri di scala.
- Calme di vento e fenomeni di accumulo (non stazionarietà).

- Diffusione in atmosfera stabile.
- Schematizzazione della geometria degli edifici e stima delle dimensioni efficaci che interferiscono con i processi dispersivi.
- Parametrizzazione dell'interazione del vento *indisturbato* con l'orografia urbana.
- Approssimazioni nella simulazione del fenomeno di ossidazione del monossido di azoto in biossido, che in talune situazioni possono non essere accettabili.
- Codice fluidodinamico non-idrostatico. L'impiego dei modelli CFD è oggettivamente ostacolato dalla complessità intrinseca e dalla necessità di grandi capacità di calcolo.

3 SCENARIO 2 – DISPERSIONE DI INQUINANTI RILASCIATI DA SORGENTI PUNTIFORMI ANCHE ISOLATE, AREALI, LINEARI IN RELAZIONE AL TRAFFICO EXTRAURBANO

Campo di applicabilità:

- scala locale e mesoscala;
- periodo, sito e sorgente qualunque;
- inquinanti non reattivi.

Esempi :

- dispersione di fumi da un camino;
- dispersione degli inquinanti emessi dal traffico veicolare su un'arteria stradale;
- dispersione di inquinanti emessi da un agglomerato industriale o da una discarica.

Lo scenario considera situazioni molto comuni e con una grande varietà di casistiche: dalla valutazione delle ricadute al suolo di inquinanti emessi da alti camini a distanza di decine di chilometri, alla valutazione della qualità dell'aria nelle vicinanze di un'autostrada o di una discarica; dallo studio di episodi critici della durata di pochi minuti fino alla definizione delle concentrazioni medie annue; i domini di calcolo su cui effettuare le valutazioni possono essere pianeggianti o di grande complessità topografica e le caratteristiche meteo - diffusive semplici o complesse.

La disponibilità attuale di modelli per queste casistiche è elevata e poco differenziata rispetto alle scale spaziali o temporali o ai tipi di sito e di sorgente: nella scelta dei modelli da utilizzare occorre principalmente tenere presente il grado di accuratezza che si vuole o si può raggiungere. Sarà presentata successivamente una gerarchia di modelli che permettono simulazioni sempre più realistiche della dispersione degli inquinanti in atmosfera, ma nella scelta di un modello o un altro occorrerà valutare le risorse disponibili intese in termini di dati a disposizione (in particolare misure meteorologiche e caratteristiche del territorio), potenza di calcolo, tempo disponibile per lo studio, target da raggiungere, preparazione del personale a disposizione.

I modelli di questa scheda servono per valutare e interpretare i dati misurati da reti di monitoraggio nella regione di impatto delle sorgenti, per stimare l'esposizione delle persone o di ecosistemi agli inquinanti emessi in atmosfera dalle varie sorgenti; sono inoltre utilizzabili ed indispensabili negli studi di VIA (Valutazione di Impatto Ambientale) per nuovi insediamenti industriali o infrastrutture civili.

Scala spaziale: i domini di interesse per il calcolo delle concentrazioni al suolo variano da pochi chilometri, tipicamente 5x5 per piccole emissioni, fino a diverse decine, anche 100x100 per grandi sorgenti. Ovviamente si possono considerare domini rettangolari per sorgenti lineari estese solo in una dimensione.

Scala temporale: sono considerati i casi critici relativi ad episodi di breve durata (rilasci accidentali o code e traffico bloccato), come pure l'analisi del giorno tipico (riproduzione delle caratteristiche ripetitive legate all'alternarsi giorno/notte) fino alla simulazione di tipo climatologico relativa alla stima delle medie stagionali e annuali.

Ambito territoriale: aree industriali e grandi arterie stradali sono presenti in siti di varia complessità (pianura, zone costiere, valli, nelle vicinanze di rilievi, ecc.). Flussi peculiari dell'interfaccia acqua-suolo o monte-valle, dovrebbero risultare compresi nel calcolo dei parametri dinamici.

Tipologia di sorgente: sorgente puntuale singola o multipla (ciminiera), sorgenti lineari singole o grafo semplificato (arterie stradali importanti in un determinato dominio); possono essere considerate anche sorgenti areali quali le discariche o complessi industriali estesi con molti punti di emissione di non rilevante entità da trattare separatamente.

Tipologia di inquinante: vengono considerati solo inquinanti primari con scarsa reattività o con processi di trasformazioni non rilevanti sul dominio di calcolo e per il loro tempo di permanenza. Possono comunque essere trattate i fenomeni di deposizione secca ed umida e le trasformazioni al primo ordine, cioè con decadimento espresso mediante una costante di tempo.

3.1 Tipologie di modelli applicabili

3.1.1 A) Modelli analitici stazionari a pennacchio, Gaussiani e non

Sono modelli semplici dove il calcolo della concentrazione è risolto da una singola formula analitica in cui sono inseriti i dati meteorologici e di emissione e per la loro praticità sono stati e sono tuttora molto utilizzati. Questi modelli sono adatti a simulare situazioni omogenee nello spazio e stazionarie nel tempo.

Esistono formulazioni tradizionali (modelli gaussiani), in cui la dispersione turbolenta viene parametrizzata con coefficienti empirici ricavati da campagne sperimentali (curve di Pasquill - Gifford o di Briggs), e più avanzate (modelli *ibridi*), in cui la dispersione viene parametrizzata direttamente in funzione dei dati meteorologici che forniscono informazioni sulla struttura termica e meccanica dei bassi strati dell'atmosfera.

Non è consigliabile l'utilizzo di questi modelli per singole simulazioni di eventi in quanto la loro semplificazione del fenomeno dispersivo rendono poco realistici i risultati su singola media oraria e su singoli punti del dominio di calcolo, mentre l'uso di tipo statistico (medie stagionali / annuali) è più corretto.

Questi codici possono essere usati in 2 versioni:

- *Long term*, che prevedono l'utilizzo delle *Joint Frequency Functions* (JFF) - tabelle di frequenze (stagionali, annuali o pluriennali) calcolate sulle statistiche della velocità, direzione del vento e condizioni di stabilità dell'atmosfera;
- *Short term*, se si dispone di serie temporali di dati meteorologici (vento e stabilità) per almeno 1 anno completo con risoluzione oraria o trioraria.

La prima modalità va considerata solamente come valutazione qualitativa e presenta alcune controindicazioni: il calcolo dei percentili è problematico e non si possono considerare correttamente sorgenti con emissioni variabili nel tempo (tipicamente impianti funzionanti a pieno carico di giorno e a carico ridotto di notte o modulazione giornaliera del flusso di traffico).

Le condizioni più critiche per l'utilizzo di questi modelli sono rappresentate dalla calma di vento e dalla presenza di terreno orograficamente complesso anche se l'introduzione di parecchi accorgimenti correttivi, consentono in linea di principio di utilizzarli in tutte le condizioni.

Questi modelli possono essere utilizzati come primo screening per valutare l'importanza dell'impatto di una sorgente, per le simulazioni di sorgenti di modeste emissioni e qualora si disponga di pochi dati meteorologici. Utilizzando questi modelli con opzioni conservative si può valutare se passare all'uso di altri modelli più realistici e complessi qualora vengono previste condizioni critiche.

3.1.2 B) Modelli non stazionari a puff o a segmenti

Questi modelli sono un miglioramento dei modelli stazionari poiché oltre a considerare una formulazione gaussiana per la dispersione, hanno la possibilità di variare la direzione di trasporto nello spazio e nel tempo. In questi modelli ogni pennacchio emesso segue il percorso indicato da una singola traiettoria nel campo tridimensionale di vento che descrive il movimento del suo centroide. Essi possono essere considerati validi finché una singola traiettoria rappresenta adeguatamente il trasporto degli inquinanti. In condizioni di forte disomogeneità questa approssimazione comporta una sensibile riduzione dell'accuratezza dei risultati finali. Una traiettoria che rappresenta il movimento del centroide di un *puff* non rappresenta adeguatamente il trasporto della nube inquinante poiché l'intensità e la direzione del vento variano generalmente con la quota. In condizioni più complesse, come ad esempio nelle situazioni di brezza, un'unica traiettoria non è sufficiente a riprodurre correttamente quanto accade in atmosfera.

3.1.3 C) Modelli 3D Lagrangiani ed Euleriani

I modelli lagrangiani *a particelle* e quelli euleriani *a griglia* sono gli strumenti più avanzati per la simulazione della dispersione in atmosfera: i primi simulano la dispersione degli inquinanti emessi con particelle *computazionali* che si muovono nel campo di vento e di turbolenza tridimensionale, mentre i secondi risolvono numericamente l'equazione di diffusione dell'inquinante emesso nello stesso dominio tridimensionale suddiviso in griglie anche di dimensione variabile. Essi possono tenere conto compiutamente di tutte le misure meteorologiche disponibili e delle loro variazioni spaziali e temporali; i limiti sono costituiti attualmente nell'incompleta conoscenza dei meccanismi della turbolenza e dell'eccessivo tempo di calcolo che richiedono le simulazioni più complesse. Simulazioni complete della durata di un anno sono onerose, pertanto questi modelli vanno utilizzati prevalentemente per valutare le

situazioni che si presumono più critiche. È possibile comunque ricostruire gli andamenti medi stagionali anche con limitati mezzi di calcolo, simulando alcune decine di giorni statisticamente significativi nell'arco dell'anno (suddivisi equamente tra le diverse stagioni) e successivamente, pesando le diverse situazioni meteorologiche in base alla loro frequenza, si possono ricavare le mappe di concentrazione medie stagionali ed annuali.

I modelli *a particelle* sono preferibili alla scala locale per il maggior dettaglio vicino alla sorgente, poiché i modelli *a griglia* diluiscono immediatamente il termine di sorgente sul volume di una cella che, per esigenze computazionali, non può essere di dimensioni troppo piccole. Inoltre, nel caso di diverse sorgenti, al fine di attribuire il *peso* che ha ciascuna di esse nella determinazione delle concentrazioni in aria (matrici sorgenti-recettori), occorre ripetere le simulazioni per poter calcolare il contributo di ogni sorgente; nel caso dei modelli *a particelle* si può invece *colorare* diversamente le particelle in funzione delle diverse sorgenti e dei diversi inquinanti e calcolare in una sola simulazione i diversi contributi.

L'utilizzo dei modelli *a griglia* è invece indispensabile per le simulazioni in cui entrano in gioco le reazioni chimiche (si veda il 3° scenario). Infine, l'utilizzo di modelli tridimensionali, lagrangiani o euleriani, è praticamente indispensabile nel caso di simulazioni a mesoscala, in quanto occorre tenere conto della circolazione atmosferica a scala sinottica e delle sue variazioni spaziale e temporale.

3.2 Dati di ingresso principali

Occorre precisare che per i modelli più semplici (gaussiani classici) la seguente lista di dati in ingresso è sovrabbondante: infatti per tali modelli occorrono fundamentalmente, oltre ai dati di emissione, le serie storiche di dati di vento e stabilità atmosferica misurate in un solo punto; per i gaussiani ibridi occorre aggiungere alcune variabili meteorologiche locali per la definizione dei parametri di scala della turbolenza, mentre i modelli delle tipologie B e C possono utilizzare tutte le altre informazioni disponibili.

3.2.1 Dati meteorologici

- Velocità e direzione del vento per la definizione del trasporto degli inquinanti; occorrono una o più misure al suolo e di profilo verticale in funzione della complessità del caso in studio;
- gradiente termico verticale per la definizione delle condizioni di stabilità dell'atmosfera e per la definizione dell'altezza e intensità di inversioni termiche;
- dati tradizionali al suolo quali temperatura e umidità dell'aria, radiazione solare globale e netta, precipitazione e pressione: contribuiscono insieme ai dati territoriali e agli altri dati meteorologici alla definizione delle caratteristiche diffusive dell'atmosfera;
- dati meteo - sinottici per la definizione eventuale delle componenti del vento in quota e la caratterizzazione dei *tipi di tempo* (ad esempio, condizione anticiclonica, passaggio di perturbazioni, ecc.).

Occorre disporre di serie temporali di uno o più anni di dati completi, almeno per le variabili di base (velocità, direzione del vento, stabilità atmosferica) con risoluzione oraria o trioraria; la disponibilità di una serie di almeno un anno di dati è auspicabile

anche se la simulazione riguarda tempi brevi, poiché permette di valutare la percentuale di accadimento dei vari episodi e di individuare la frequenza dei casi critici.

Possono essere utilizzati i dati acquisiti presso le stazioni del Servizio Meteorologico dell'Aeronautica, da altri Servizi Regionali o dalle reti per il controllo della qualità dell'aria, in funzione della loro vicinanza con le sorgenti inquinanti da simulare. Nelle valutazioni su lungo periodo a scala locale possono essere utilizzati anche dati statistici aggregati, costituiti generalmente da tabelle di frequenza rappresentate dalle rose dei venti in funzione della stabilità atmosferica (*Joint Frequency Functions*): esiste un lavoro - realizzato dall'ENEL in collaborazione con il Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare ITAV - nel quale tali statistiche sono calcolate con i dati delle stazioni dell'Aeronautica Militare sul periodo 1951-1991 ("Caratteristiche diffusive dell'atmosfera", 1995 - Pubblicazione fuori commercio¹).

Negli studi a scala regionale è necessario utilizzare i campi meteorologici sinottici (vento e temperatura) disponibili presso i Centri e i Servizi Meteorologici.

I modelli di dispersione necessitano, oltre ai dati di base citati sopra, di altre variabili meteorologiche acquisibili con strumentazione avanzata o stimate da opportuni pre - processori meteorologici i principali parametri sono:

- l'altezza del *Planetary Boundary Layer* (PBL) lo strato verticale di atmosfera a contatto con il suolo dove avviene la dispersione verticale degli inquinanti;
- la categoria di stabilità atmosferica (modelli Gaussiani) e / o più compiutamente le tre componenti della turbolenza;
- i parametri di scala quali ad esempio la velocità di attrito con la superficie, il flusso di calore sensibile e la lunghezza di Monin - Obukhov.

A seconda delle scale spaziali e temporali di applicazione e delle disomogeneità presenti nel dominio di calcolo, alcuni di questi parametri devono essere considerati variabili nello spazio (e quindi calcolati su grigliato regolare in funzione delle variabili primarie) e/o nel tempo.

3.2.2 Rappresentatività spaziale

A parte i modelli analitici che utilizzano una sola misura di vento (possibilmente da un anemometro posto nelle vicinanze del punto di emissione o rappresentativo del vento medio sull'area della sorgente), gli altri tipi di modelli necessitano di campi di vento 3D, ottenibili o con modelli che ricostruiscono il flusso sull'orografia del dominio imponendo la sola conservazione della massa (modelli *mass - consistent*), oppure da codici meteorologici completi che risolvono l'intero set di equazioni di conservazione (eq. di Navier - Stokes). L'utilizzo della modellistica meteorologica per la ricostruzione del campo di vento 3D, può essere utilizzata qualora non si disponga di dati nei pressi della sorgente che si sta studiando: è possibile, disponendo delle caratteristiche orografiche del territorio e di dati meteorologici sinottici ricostruire il campo di moto ora per ora (o ogni 3 ore) ed estrarre dalle matrici 3D le misure di vento nei punti di interesse (per esempio vicino al suolo, nei pressi della strada o a quota rilascio degli inquinanti dal camino).

¹ I dati statistici relativi ad alcuni parametri meteo-diffusivi vengono utilizzati all'interno del pacchetto software GIADA, scaricabile dal sito internet dell'ANPA (www.sinanet.anpa.it/aree/atmosfera/qaria/GIADA/giada.htm).

3.2.3 *Rappresentatività temporale*

I dati meteorologici devono rappresentare valori medi nell'intervallo di tempo su cui sono calcolate le concentrazioni (tipicamente un'ora). In base alle diverse necessità può essere utile la definizione del giorno medio o di quello tipico e di quello più inquinato. Si deve tenere presente l'importanza dell'alternarsi giorno / notte (condizioni instabili/stabili) che è fondamentale per i processi dispersivi.

3.2.4 *Dati emissivi e chimici*

- Numero e localizzazione sul dominio delle sorgenti emissive;
- caratteristiche geometriche degli impianti: altezza e diametro camino, larghezza e numero corsie delle strade;
- temperatura e velocità di uscita dei fumi - flussi e velocità medie del traffico;
- tipo e quantità degli inquinanti emessi, eventualmente in funzione del tempo;
- possibili alternative per attuare un impatto minore.

La disposizione e le localizzazioni degli impianti determinano le dimensioni del dominio di calcolo per i modelli, insieme alle caratteristiche territoriali e meteorologiche del sito: si deve considerare un dominio che contenga le sorgenti in posizioni centrali, avendo cura di privilegiare i settori maggiormente sottovento, si devono includere quei rilievi che possono alterare il campo di vento, come pure le disomogeneità spaziali che innescano fenomeni di brezza locale che interferiscono sulla dispersione degli inquinanti emessi.

3.2.5 *Dati territoriali*

- *Cartografia* - utilizzata in genere come *background* su cui riportare i risultati delle simulazioni e di chiara utilità per la valutazione degli impatti e delle zone a più alto rischio o di maggior attenzione ecologico (parchi, aree protette) e sanitario (zone ad alta densità di popolazione);
- *orografia* - in presenza di rilievi occorre disporre per la definizione del campo di vento e delle concentrazioni degli inquinanti al suolo, delle quote altimetriche del sito in studio; sono disponibili base dati con risoluzione spaziale diverse a secondo delle dimensioni del dominio di calcolo dei modelli: tipicamente si passa da 100 - 200 metri per la risoluzione a scala locale, a 1-2 km per la scala regionale;
- *land-use* - la presenza di discontinuità nel territorio induce caratteristiche dispersive differenti in atmosfera, che i modelli devono tenere in considerazione: per esempio c'è un differente input energetico nell'interazione suolo / aria o acqua / aria oppure la deposizione di inquinanti su terreno nudo è diversa da quella su bosco; *data - base* in Internet a partire da dati satellitari sono disponibili con risoluzione di 1 km oppure possono essere costruite in modo semplificato (con poche categorie) a partire dalla cartografia; per ogni cella del dominio di calcolo può essere definita la categoria dominante o la percentuale dei diversi tipi di suolo di cui i più importanti possono essere considerati i seguenti: coltivato, erba, vigneti / uliveti, conifere, decidue, paludi, terreno nudo, ghiacciai, urbano, acque interne e mare.

3.2.6 *Condizioni al contorno*

In genere non servono per la diffusione mentre sono molto importanti per la modellistica meteorologica.

3.3 Moduli specifici

- Moduli per la determinazione dei flussi di traffico sui tratti di strada simulati: possono essere l'output di un vero e proprio modello di traffico oppure più semplicemente (nel caso di grafi stradali non complessi) possono essere determinati dai conteggi dei passaggi degli autoveicoli (per esempio i passaggi ai caselli autostradali o le misure effettuate da telecamere o da spire lungo le arterie più importanti e trafficate);
- moduli per il calcolo delle emissioni del traffico: a fronte della conoscenza delle caratteristiche del traffico (numero di veicoli, distribuzione in classi leggeri/pesanti, velocità medie di percorrenza, pendenza e larghezza della strada) può essere utilizzata la metodologia COPERT per la definizione delle emissioni dei vari inquinanti;
- speciazione degli idrocarburi e del particolato fine a seconda delle varie sorgenti emissive per l'individuazione di quei composti pericolosi che si vogliono simulare;
- *plume rise* per il calcolo del sovrainnalzamento dei pennacchi caldi o con notevole velocità di uscita;
- preprocessore per la turbolenza: dai dati meteorologici standard si possono ricavare tramite opportuni algoritmi o modelli completi le variabili che determinano le caratteristiche dispersive del sito; nel caso dei gaussiani classici questo si riduce alla definizione delle sigma orizzontali e verticali e dell'altezza del PBL;
- modello meteorologico: calcolo del campo di vento tridimensionale;
- modulo per il calcolo della deposizione secca ed umida: occorrono dati di pioggia per la deposizione umida e il calcolo delle velocità di deposizione (funzione del tipo di suolo, dei tipi di coltura e dei vari inquinanti) ottenibile con un modello di tipo inferenziale; la stima della deposizione in genere è importante su lunghi periodi.

3.4 Risorse di calcolo

Modeste per i Gaussiani e non eccessive per i *puff*, per i codici 3D Lagrangiani ed Euleriani, crescono all'aumentare della risoluzione spaziale richiesta e per lunghi periodi di simulazione; in ogni caso, con PC potenti o WS si possono effettuare simulazioni annuali anche con questi codici.

3.5 Dati in uscita

Per ogni inquinante trattato vengono calcolate:

- il campo tridimensionale di concentrazioni nel dominio di calcolo;
- i percentili;
- massimi, medie su ogni intervallo temporale;
- mappe con ogni tipo di risoluzione temporale;
- eventuale evoluzione temporale dell'inquinamento in condizioni e in siti critici;
- mappe 2D di deposizione al suolo;
- valutazione percentuale delle interferenze/sovrapposizione tra diverse sorgenti.

I modelli di tipo gaussiano utilizzati con le JFF consentono solo il calcolo delle concentrazioni medie in modo diretto.

I codici Lagrangiani e Gaussiani permettono la separazione delle sorgenti sulle mappe di concentrazione; con i codici 3D sono inoltre disponibili campi 3D di vento e di turbolenza.

3.6 Aspetti critici

Le difficoltà maggiori nell'affrontare le simulazioni in questo scenario risiede nella nostra attuale incompleta conoscenza dei fenomeni di trasporto e delle caratteristiche peculiari della turbolenza atmosferica: nei siti ad orografia complessa o in presenza di forti gradienti termici, l'innescarsi di moti locali (brezze) e la presenza di ostacoli, interagisce con il flusso sinottico generando complessi campi di moto tridimensionali non sempre ricostruibili con i modelli attualmente disponibili.

Inoltre risulta spesso difficile la definizione dei parametri di turbolenza in particolari condizioni quali la calma di vento o le condizioni di forte stabilità, come pure la definizione della struttura del PBL in terreno complesso.

Queste difficoltà risiedono sostanzialmente in una mancanza di dati all'interno del PBL, cioè in genere nella definizione della struttura verticale delle prime poche centinaia di metri sopra il terreno dove si svolgono gran parte delle variazioni e degli aggiustamenti del flusso sinottico. Questo è evidente osservando le misure meteorologiche effettuate vicino al suolo che spesso non concordano con i valori forniti a livello sinottico dai centri meteorologici (particolarmente critica è la situazione creata dalla catena alpina che rende difficile la ricostruzione corretta del flusso nella pianura padana): la difficoltà nel reperimento dei dati che descrivano coerentemente queste caratteristiche è una delle limitazioni maggiori per la buona riuscita delle simulazioni numeriche.

Un aiuto notevole è fornito da modelli meteorologici completi di tipo non-idrostatico che sono in grado di risolvere attraverso *nesting* successivi, scale spaziali sempre più piccole effettuando numericamente il raccordo tra dato sinottico in quota e misure vicino al suolo; l'uso di questi strumenti sta crescendo notevolmente, favorito da un aumento della potenza di calcolo dei calcolatori e dalla maggiore disponibilità di misure di profilo verticale: radiosondaggi, palloni, *Wind - profiler*, SODAR Doppler, RASS, Radar meteorologici. (per tali strumenti, che possono fornire profili verticali di vento e temperatura nei primi km ogni ora, è presente una rete completa negli Stati Uniti ed anche in Europa si sta provvedendo a svilupparla). Da sottolineare infine la necessità di uno sforzo a livello di ricerca per una maggior conoscenza e miglior applicabilità sia dei modelli tridimensionali meteorologici che di quelli di dispersione.

4 SCENARIO 3 – FORMAZIONE E DISPERSIONE DI INQUINANTI SECONDARI

Campo di applicabilità:

- mesoscala;
- breve periodo;
- qualsiasi sito e sorgente;

- inquinanti reattivi.

Esempi:

- formazione;
- trasporto e trasformazioni chimiche di inquinanti secondari.

Questo scenario è dominato da inquinanti secondari (ozono ed ossidanti fotochimici che si producono in atmosfera per effetto di reazioni di inquinanti primari, detti precursori, immessi in una area estesa e distribuiti dai sistemi atmosferici) e risulta caratterizzato da una minore variabilità nello spazio della concentrazione di inquinanti rispetto agli scenari urbani e da un marcato ciclo diurno e stagionale. In questa sede ci si limita ad alcune considerazioni di carattere generale riferite alla mesoscala. Per il trattamento dettagliato di questi casi si rimanda agli specifici rapporti CTN – ACE 1999: OB09.02a “*Osservatorio dei modelli su smog fotochimico e ozono troposferico: rassegna critica delle esperienze*” e OB09.01 “*Linee guida per la selezione e l'applicazione dei modelli, l'utilizzo dei modelli nella valutazione della qualità dell'aria*” e CTN – ACE 2000, OB09.02b “*Valutazione modellistica dell'inquinamento a grande distanza; specifiche tecniche su modello per ozono troposferico*”.

Scala spaziale: le scale tipiche di questo fenomeno variano indicativamente da un'estensione orizzontale di 50 x 50 km² a 500 x 500 km² e un'estensione verticale che deve tenere in considerazione la variazione dello strato atmosferico superficiale, che si estende tipicamente fino a 1 o 2 km di altezza, in dipendenza dalle condizioni meteorologiche. Generalmente si definiscono le applicazioni di modelli a queste scale spaziali come applicazioni a mesoscala.

Scala temporale: i processi atmosferici tipici dell'inquinamento fotochimico si svolgono su intervalli di tempo da 1 giorno a 3 - 4 giorni.

Per rispondere alle necessità poste dall'attuale quadro normativo devono essere considerate due possibili dimensioni temporali delle applicazioni modellistiche:

- *analisi a breve-medio termine* (da un'ora fino a una settimana), che coprono l'analisi di singoli episodi di inquinamento fotochimico; questo tipo di analisi viene usualmente applicata per la valutazione di strategie di riduzione dell'inquinamento fotochimico (analisi di scenario);
- *analisi di lungo periodo*, cioè applicazioni per periodi stagionali e annuali; questo tipo di analisi si rende necessaria per valutare l'inquinamento (ossia il superamento dei livelli di riferimento stabiliti dalla normativa).

Ambito territoriale: la mesoscala comprende l'ambito territoriale tipicamente interessato dai processi di diffusione e trasformazione chimica degli inquinanti, e si estende su domini orizzontali individuabili in base alle dimensioni del bacino aerologico nel quale sono incluse le sorgenti di inquinanti. A seconda della conformazione orografica del territorio e della circolazione atmosferica tipica, l'ambito territoriale può variare da più regioni (come nel caso della pianura padana) a realtà urbane estese. Proprio per le estese scale spaziali interessate dall'inquinamento fotochimico, le applicazioni modellistiche includono tipicamente siti complessi (orografia complessa, caratteristiche territoriali e / o meteorologiche disomogenee).

Con riferimento alle situazioni tipiche del territorio italiano possiamo individuare alcuni esempi relativi a scenari di inquinamento fotochimico a mesoscala:

- il bacino padano – adriatico (il più esteso bacino aerologico italiano), con le grandi concentrazioni urbane e industriali di Torino, Milano, Venezia, Bologna;
- le regioni alpine e prealpine (situazione complessa, flussi da bacino padano e regione transalpina), comprendono aree urbane come Aosta, Bolzano, Trento;
- aree metropolitane collocate in altri bacini aerologici dell'Italia centrale e meridionale (ad es. Firenze, Roma, Napoli, Bari);
- zone costiere mediterranee ad elevata complessità orografica (situazione tipica di molti siti costieri Italiani, come ad es. Genova e Palermo).

Per gli scenari 1 e 2 esistono esperienze di applicazione di modelli fotochimici euleriani per lo studio di episodi di inquinamento fotochimico, mentre per i rimanenti scenari non sono ad oggi disponibili esempi applicativi (Rapporto tecnico ANPA-CTN ACE “Osservatorio dei modelli su smog fotochimico e ozono troposferico: rassegna critica delle esperienze”).

Tipologia di sorgente: tutte le tipologie di sorgente in grado di emettere precursori interessano potenzialmente l'inquinamento fotochimico. Di solito tali sorgenti vengono distinte in:

- puntuali (punti di emissione convogliata);
- lineari (strade);
- areali (sorgenti distribuite su una superficie);
- biogeniche (emissioni da vegetazione e dal terreno).

Tipologia di inquinante: i precursori dell'inquinamento fotochimico vengono usualmente raggruppati in due grandi categorie: ossidi di azoto (NOx) e composti organici volatili (COV).

4.1 Tipologie di modelli applicabili

La complessa struttura spaziale e la natura fortemente non lineare dei processi che portano alla produzione di ozono rendono necessario l'utilizzo di modelli 3D euleriani fotochimici.

4.2 Dati di ingresso principali

4.2.1 Dati meteorologici

La predisposizione di un input meteorologico adeguato rappresenta una attività chiave per la applicazione di modelli 3D euleriani fotochimici. La qualità delle informazioni meteorologiche fornite in ingresso condiziona infatti pesantemente il risultato finale.

Le informazioni meteorologiche richieste sono quelle necessarie a descrivere le proprietà dello strato limite planetario (PBL) e sono in genere costituite dai campi tridimensionali di vento (tre componenti), temperatura, umidità, dall'altezza di rimescolamento e dai parametri di diffusività turbolenta (lunghezza di Monin Obukhov

L, velocità di attrito con la superficie (o *friction velocity*) u^* , e velocità convettiva di scala w^* .

L'input meteorologico può essere ottenuto applicando preprocessori meteorologici diagnostici o modelli meteorologici prognostici.

I *preprocessori meteorologici* diagnostici provvedono, sulla base dei dati osservati, alla ricostruzione dei campi meteorologici tridimensionali tenendo conto delle caratteristiche orografiche dell'area ed al calcolo dell'altezza di rimescolamento e dei parametri della turbolenza tenendo conto delle caratteristiche della superficie. Date le estese scale spaziali, per la predisposizione dell'input meteorologico è necessario avvalersi di dati in grado di riprodurre i campi meteorologici sull'intera area di applicazione e basati su misure che rispondono agli standard meteorologici. È sconsigliato l'utilizzo di stazioni collocate solamente in aree urbane. È inoltre necessario utilizzare profili atmosferici di radiosondaggio.

I *modelli meteorologici prognostici* provvedono, sulla base della soluzione delle equazioni del moto atmosferico, alla ricostruzione dei campi meteorologici tridimensionali ed al calcolo dell'altezza di rimescolamento e dei parametri della turbolenza. Nei modelli meteorologici prognostici le informazioni meteorologiche vengono introdotte in fase di inizializzazione. Alcuni modelli prevedono una assimilazione dinamica dei dati osservati.

Alcuni Servizi Meteorologici forniscono le informazioni richieste dai modelli elaborate mediante l'utilizzo di preprocessori diagnostici o modelli prognostici utilizzando in modo ottimale tutte le informazioni meteorologiche disponibili su una determinata area (ad esempio www.smr.arpa.emr.it). Nel caso non si possano ottenere informazioni adeguate dal competente servizio meteorologico si rende necessaria la applicazione diretta di modelli meteorologici, opportunamente tarati e verificati che determinino sui nodi della griglia tridimensionale di applicazione del modello 3D euleriano le grandezze meteorologiche richieste.

4.2.2 *Dati emissivi e chimici*

I dati di emissione devono riprodurre le emissioni dei singoli inquinanti richiesti come ingresso dai modelli (in genere in numero di 50 o più specie chimiche, a seconda del meccanismo chimico considerato) su ciascuna cella del grigliato prescelto. Per la simulazione di episodi le emissioni devono essere valutate su base temporale oraria.

Il metodo più frequentemente applicato per la predisposizione delle emissioni si basa sulla combinazione di un metodo di disaggregazione di dati stimati su unità territoriali estese e su periodo annuale (metodo *top – down*) con dati di dettaglio, provenienti dalla valutazione delle singole sorgenti di emissione (metodo *bottom – up*).

La principale fonte di informazione per le emissioni aggregate è l'inventario CORINAIR predisposto su base nazionale e disponibile sul sito dell'*European Topic Center on Air Emissions*: <http://etc-ae.eionet.eu.int/etc-ae/index.htm>.

Queste stime nazionali sono rese disponibili in varie successive disaggregazioni a scala regionale e provinciale dal centro di riferimento nazionale (<http://www.sinanet.anpa.it/aree/atmosfera/emissioni/emissioni.asp>). Il livello di disaggregazione spaziale normalmente utilizzato nelle applicazioni di modelli a mesoscala è su base comunale. Questo livello di disaggregazione è stato ottenuto in varie regioni italiane a partire dalla base CORINAIR applicando una metodologia di disaggregazione spazio-temporale dei dati sulla base di informazioni locali (si veda ad esempio il rapporto RTI CTN_ ACE 1/2000, "*Inventari locali di emissioni in atmosfera, prima indagine conoscitiva*").

Per le emissioni dettagliate, provenienti dalla valutazione delle singole sorgenti di emissione (metodo *bottom - up*) valgono le considerazioni fatte per la applicazione di modelli a scala locale. Le fonti di queste informazioni sono anche in questo caso le competenti Amministrazioni Provinciali.

Le informazioni raccolte devono essere strutturate in modo da consentire la facile predisposizione dell'input per i modelli ed il loro inserimento all'interno della catena modellistica. È opportuno inoltre incapsulare le informazioni in moduli indipendenti, che consentono un facile aggiornamento qualora si rendessero disponibili aggiornamenti o nuove informazioni.

4.2.3 *Dati territoriali*

Dati orografici: sono necessari nella applicazione di modelli tridimensionali, sia per la ricostruzione dei campi di vento che per la ricostruzione delle caratteristiche superficiali (lunghezza di rugosità) che influenzano la turbolenza e quindi la dispersione degli inquinanti. Per l'applicazione di un modello a griglia l'orografia deve essere riportata alla risoluzione del grigliato del modello. La risoluzione spaziale delle quote altimetriche varia quindi in funzione delle dimensioni del dominio di calcolo dei modelli: tipicamente 1-5 km alla mesoscala. Una buona fonte di informazioni disponibile in internet per la cartografia digitale è lo statunitense *EROS data Center*: (<http://edcwww.cr.usgs.gov/>).

Dati di uso del suolo: le caratteristiche della superficie influenzano la capacità dispersiva dei bassi strati dell'atmosfera e le modalità e l'entità delle deposizioni, di cui i modelli devono tenere conto. In Europa la principale fonte di informazioni sull'uso del suolo è l'*European Topic Center on Land Cover*: (<http://etc.satellus.se/>) parte della rete EIONET dell'Agenzia Europea per l'ambiente (<http://www.eea.eu.int/>).

Dati di uso del territorio ottenuti da osservazioni satellitari generati dal U.S. *Geological Survey* (USGS) con la collaborazione dell'Università del Nebraska-Lincoln (UNL) e del centro europeo di Ispra (JRC) alla risoluzione 1 km, sono reperibili in Internet ("*Global Land Cover Characterization*" all'indirizzo: (<http://edcwww.cr.usgs.gov/landdaac/glcc/glcc.html>)). Sono disponibili diversi tipi di classificazioni alla risoluzione di 1 km.

(Per utilizzare questi dati occorre citare una dichiarazione che si trova all'indirizzo dell'USGS: <http://edc.usgs.gov/landdaac/citation.html> "*These data are distributed by the EROS Data Center Distributed Active Archive Center (EDC DAAC), located at the U.S. Geological Survey's EROS Data Center in Sioux Fall, South Dakota*").

Alternativamente, l'uso del suolo può essere ricostruito in modo semplificato (con poche categorie) a partire dalla cartografia. Per ogni cella del dominio di calcolo può essere definita la categoria dominante o la percentuale dei diversi tipi di superficie, tra cui: coltivato, erba, vigneti/uliveti, conifere, decidue, paludi, terreno nudo, ghiacciai, urbano, acque interne e mare.

4.2.4 *Condizioni al contorno*

L'inizializzazione e l'esecuzione di un modello euleriano 3D richiede la specifica del campo di concentrazione iniziale 3D su tutte le celle del dominio e sulle celle di bordo. Queste informazioni sono richieste per tutti gli inquinanti trattati. I modelli possono risultare molto sensibili a queste informazioni specialmente se il dominio prescelto risulta molto influenzato da processi di trasporto di prodotti e precursori dall'esterno del

dominio. Questo in genere si verifica se il dominio scelto è di dimensioni troppo limitate. Le possibili fonti di informazione per la predisposizione delle condizioni iniziale ed al contorno possono essere i risultati di modelli a scala più ampia, sul quale innestare il modello in uso e dati sperimentali. Il ricorso a dati sperimentali risulta difficoltoso dato l'elevato numero di specie chimiche che occorre conoscere, sia al suolo che in quota. Le soluzioni devono quindi essere attentamente valutate da personale esperto. Tra i modelli a scala ampia attualmente disponibili in Europa ricordiamo i modelli EMEP, LOTOS, EURAD e CHIMERE.

4.3 Moduli specifici

I moduli tipici di un modello 3D euleriano fotochimico sono, schematicamente:

- modulo di trasporto e diffusione orizzontale;
- modulo di trasporto e diffusione verticale;
- modulo per la deposizione secca e per le emissioni;
- modulo chimico.

Tali moduli vengono utilizzati in sequenza per il calcolo della concentrazione al passo temporale $n+1$ -esimo in funzione della concentrazione ottenuta al passo precedente. In realtà tutti i fenomeni da essi trattati accadono simultaneamente in atmosfera, ma la complessità del sistema di equazioni a cui si giungerebbe è tale da risultare intrattabile dalla maggior parte dei calcolatori attuali. Ovviamente il fatto di trattare separatamente questi fenomeni introduce degli errori, che vengono in parte eliminati con vari accorgimenti a seconda del modello utilizzato.

4.3.1 Il modulo chimico

Come è noto, le reazioni che avvengono in atmosfera coinvolgono diverse centinaia di specie chimiche con velocità di reazione che differiscono tra loro anche di parecchi ordini di grandezza. Non sono quindi tutte rappresentabili all'interno di un modello data l'enorme quantità di spazio di memoria e di tempi di calcolo che richiederebbero. Solitamente, in un modello di dispersione, il 70-90% del tempo macchina impiegato per compiere una simulazione, viene utilizzato per risolvere il sistema di equazioni chimiche. I vari modelli fotochimici utilizzati si differenziano tra loro per il modulo chimico utilizzato. Alcuni modelli consentono di utilizzare diversi meccanismi chimici o meccanismi chimici flessibili, appositamente studiati per la situazione nella quale il modello viene utilizzato.

4.4 Risorse di calcolo

Il numero di operazioni necessarie per eseguire una simulazione con un modello fotochimico euleriano è molto elevato, e quindi sono richieste elevate risorse di calcolo, ma gli attuali sviluppi tecnologici nel campo dell'informatica rendono ormai possibile eseguire un modello fotochimico a griglia anche su sistemi tipo Personal Computer. Attualmente il tempo di esecuzione su una stazione di lavoro RISC per la simulazione di alcuni giorni su un dominio della estensione di una regione (7326 punti griglia = 37 * 18 * 11 livelli verticali) è dell'ordine delle ore.

Per l'esecuzione di simulazioni di lungo periodo è comunque opportuno adottare opportuni accorgimenti di ottimizzazione dei codici. Un altro possibile approccio consiste nel considerare simulazioni di breve periodo per alcune situazioni meteorologiche ricorrenti e pesare i risultati in modo proporzionale all'occorrenza delle diverse situazioni.

4.5 Dati in uscita

Il risultato della applicazione di un modello è costituito da un insieme di valori $\{C_{it}\}$ della concentrazione di ciascun inquinante per ciascun punto griglia ed in un determinato periodo di tempo t (tipicamente 1 ora).

Se il dominio di integrazione è individuato da un volume x,y,z (come nel caso dei modelli euleriani tridimensionali a griglia), questo insieme di valori viene rappresentato come una matrice 4D $C_{x,y,z,t}$. Si avrà quindi una matrice per ogni inquinante simulato.

4.6 Aspetti critici

Il trattamento di questo processo di inquinamento richiede l'esecuzione di studi condotti con un alto livello di specializzazione. I codici sono infatti particolarmente onerosi e richiedono utenti esperti per poter essere utilizzati.

Si riscontra una carenza di studi di verifica e validazione di modelli fotochimici applicati in Italia.

La applicazione di tali modelli su domini sufficientemente estesi da includere le fonti di emissione ed i processi meteorologici in grado di influenzare l'inquinamento fotochimico richiede dati di emissione e dati meteorologici estesi a tutto il dominio e sufficientemente dettagliati. Può risultare difficoltoso ottenere tutte le informazioni necessarie quando queste interessano il territorio di più regioni. Per le applicazioni su bacini aerologici estesi è necessario inoltre disporre di adeguate condizioni iniziali ed al contorno, che possono essere fornite in modo ottimale da modelli fotochimici innestati all'interno di modelli a scala più ampia. Questo approccio è praticato in modo agevole e sistematico nei codici di nuova generazione.

La formazione di particolato secondario fine e ultrafine, rappresenta un processo fondamentale nei processi fotochimici. Per quanto riguarda lo sviluppo dei codici, particolarmente critico è, anche nei codici più recenti, il trattamento degli inquinanti reattivi in fase eterogenea (reazioni in fase acquosa e con il particolato sospeso), queste sono molto importanti in nube o in nebbia, però la conoscenza dei processi che avvengono non è ancora assestata. Alcuni codici di nuova generazione contengono moduli per il trattamento dell'aerosol.

5 RAPPRESENTAZIONE GRAFICA DEI RISULTATI DEI MODELLI DI DISPERSIONE

Il risultato delle applicazioni modellistiche relative alla dispersione di inquinanti in atmosfera, indipendentemente dalle finalità prefissate, necessita di un'opportuna

rappresentazione grafica che permetta, anche ai non addetti ai lavori, l'immediata percezione dell'informazione ricavata.

Nel corso di questo capitolo verrà affrontato il problema della visualizzazione dei risultati di un'elaborazione modellistica, mettendo in evidenza gli aspetti che hanno particolare rilevanza ai fini della valutazione della qualità dell'aria, secondo quanto previsto dal D.lgs n. 351 del 4 agosto 1999; si riprende in tal modo la trattazione riportata nel Rapporto conclusivo "*L'utilizzo dei modelli nella valutazione della qualità dell'aria*" della task OB09.01 (Linee guida per la selezione e l'applicazione dei modelli, realizzato nel corso dell'anno 1999).

Il risultato di una simulazione modellistica è rappresentato, in generale, da un insieme di valori stimati di concentrazione C_i ad un dato istante t_j (media aritmetica su un periodo più o meno lungo, a seconda della finalità della simulazione). Ad ogni valore di concentrazione C_i sono associate le coordinate dei ricettori o dei punti griglia dello spazio bidimensionale (o tridimensionale) che rappresenta il dominio di calcolo utilizzato dal modello.

Quello che si ottiene è pertanto una matrice di concentrazioni a tre o quattro dimensioni ($C_{x,y,t}$ o $C_{x,y,z,t}$) per ognuno degli inquinanti dei quali si è simulata la dispersione.

La scelta della modalità con la quale rappresentare graficamente le concentrazioni dipende dal tipo di informazione che deve essere evidenziata; in generale è possibile fornire:

- serie temporali per ricettore o punto griglia;
- istogrammi o distribuzioni di frequenza per ricettore o punto griglia;
- mappe istantanee aventi passo temporale coincidente con quello del modello o cumulative (in termini di concentrazione) di più passi temporali.

La rappresentazione con mappe può essere realizzata attraverso carte tematiche oppure con mappe riportanti campi di isoconcentrazione.

Nel caso delle carte tematiche si tratta di attribuire il valore di concentrazione - ottenuto in un punto griglia o in un ricettore - ad un'area che può essere predefinita (nel caso in cui il dominio di calcolo sia un grigliato regolare) oppure determinata attraverso criteri di omogeneità geometrica (dipendente dalla disposizione dei ricettori) o attraverso criteri derivanti dalla conoscenza del territorio oggetto di studio.

Nel caso delle mappe di isoconcentrazione i risultati ottenuti dal modello di dispersione vengono elaborati da programmi in grado di fornire l'interpolazione dei dati, al fine di fornire rappresentazioni grafiche di più facile comprensione. È da ricordare però che l'ulteriore elaborazione dell'informazione può modificare lo scarto fra dato simulato dal modello di dispersione e dato misurato.

In generale va inoltre sottolineato che la comprensione dell'informazione risulta agevolata quando la rappresentazione grafica dei risultati (mappe o istogrammi) viene sovrapposta alla cartografia dell'area coincidente con il dominio di calcolo.

Più in dettaglio, ai fini della redazione delle mappe per la valutazione della qualità dell'aria ai sensi del D.lgs n. 351/99 risulta necessario:

- individuare il limite previsto dalle direttive comunitarie (o dalla normativa vigente in attesa dell'emanazione o recepimento delle stesse) al quale si intende riferire la mappatura e, conseguentemente, la risoluzione temporale da adottare nel corso delle simulazioni modellistiche;
- definire la modalità più idonea alla rappresentazione grafica del limite al quale si sta facendo riferimento; può risultare infatti opportuna una rappresentazione che

evidenzi i valori di concentrazione ottenuti nei diversi ricettori o punti griglia piuttosto che il numero dei superamenti dei limiti di legge calcolato per ogni ricettore.

Nel presente capitolo verranno fornite, a titolo esemplificativo, indicazioni sulle modalità di calcolo delle concentrazioni da confrontare con i riferimenti normativi.

Sia nella legislazione attualmente vigente che nelle direttive comunitarie in attesa di recepimento troviamo valori limite orari. In questo caso è opportuno eseguire le simulazioni modellistiche su intervalli di tempo coincidenti con quelli del limite di riferimento. Nella fase successiva si andranno a confrontare le concentrazioni simulate con i valori limite, allo scopo di verificare il numero di superamenti; in base a tale indice verrà realizzata la mappatura del territorio. Qualora non vi fossero superamenti, è possibile procedere ad una rappresentazione grafica che evidenzi le classi di concentrazione.

Un discorso analogo si applica nel caso di valori limite che fanno riferimento ad intervalli temporali multipli dell'ora. Il modello può ancora essere applicato in modo da fornire risultati a cadenza oraria, che dovranno essere successivamente mediati sull'intervallo necessario (ad esempio 24 ore per le medie giornaliere), oppure può essere direttamente applicato ad un intervallo coincidente con quello previsto dalla norma. Anche in questo caso si procederà alla valutazione dell'eventuale numero di superamenti.

Nel caso di valori limite su base annuale risulta opportuno completare l'informazione - fornita dalle carte che adottano come tematismo il numero di superamenti - con mappature riportanti le classi di concentrazione.

Una delle innovazioni introdotte dal D.lgs n. 351/99 è l'individuazione e la definizione di zone nelle quali, per alcuni dei limiti, si verificano superamenti delle soglie di valutazione superiore ed inferiore.

In questo caso, nella realizzazione delle mappe, si tratterà di suddividere i risultati della simulazione in funzione delle diverse soglie ed evidenziare, all'interno del dominio di calcolo, il numero di accadimenti nelle diverse classi.

In allegato a questo documento (Allegato 2) e a supporto di chi ha il compito di realizzare la mappatura della qualità dell'aria, si riporta in un quadro riassuntivo l'indicazione dei limiti di legge attualmente vigenti e dei limiti indicati nelle direttive e proposte di direttive che attuano le indicazioni previste dalla Direttiva Comunitaria 96/62/CE.

Di seguito vengono riportati alcuni esempi di mappatura, realizzati secondo criteri diversi in funzione della singola applicazione. Per la loro creazione è stato utilizzato un software di visualizzazione grafica dei dati di concentrazione georeferenziati su una base cartografica. Il set di dati utilizzato non è frutto di una elaborazione modellistica, ma è stato costruito ad hoc al fine di favorire una visualizzazione dei possibili risultati.

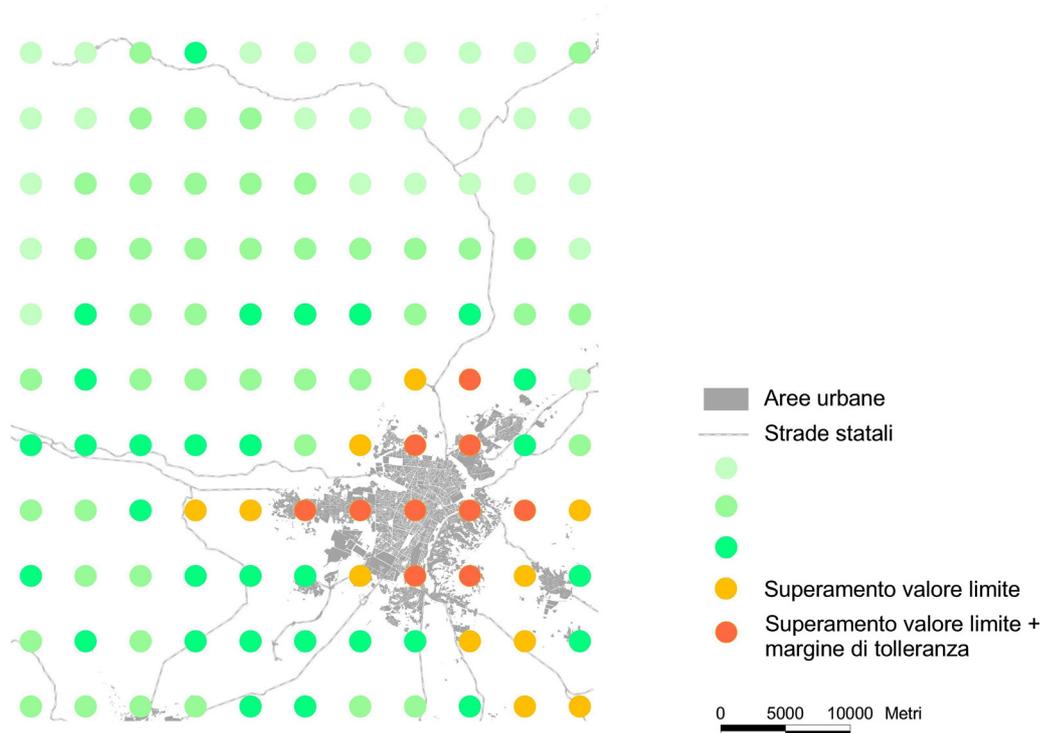


Figura 5.1: Esempio di mappatura (caso 1) - Rappresentazione del valore medio annuale per punti griglia. Sono evidenziati i punti nei quali il modello di dispersione individua superamento del valore limite e superamento del valore limite aumentato del margine di tolleranza.

Fra le possibilità alle quali si è accennato all'inizio di questo capitolo, si è scelto di riportare due esempi di visualizzazione la cui applicazione può essere facilmente estesa a mappature di tipo diverso.

5.1 Caso 1

I risultati numerici di una elaborazione modellistica finalizzata alla stima della media annuale per un inquinante qualsiasi, confrontata con il valore limite previsto dalla normativa, sono stati elaborati secondo due diverse modalità grafiche.

Nella Figura 5.1 i valori di concentrazione media annuale riferiti ai punti griglia sono stati suddivisi in classi, ponendo attenzione ad evidenziare quelle nelle quali si ha superamento del valore limite e del valore limite aumentato del margine di tolleranza.

Nella Figura 5.2 gli stessi dati sono stati interpolati al fine di fornire una visualizzazione grafica più immediata - attraverso curve di isoconcentrazione - che comporta però una ulteriore elaborazione dell'informazione ottenuta dal modello dispersivo. In questo caso i valori di concentrazione sono suddivisi in un numero di classi scelto in funzione della distribuzione dei valori ottenuti nel dominio studiato; sono state inoltre evidenziate le aree nelle quali si ha superamento del valore limite (delimitate inferiormente da una linea tratteggiata) e del valore limite aumentato del margine di tolleranza (delimitate inferiormente da una linea continua).

In riferimento a quanto precedentemente affermato circa l'utilizzo dell'interpolazione nella realizzazione delle mappe, si ritiene necessario accompagnare (a scopo di chiarezza) la visualizzazione dei risultati ottenuti con l'indicazione del metodo di interpolazione adottato.

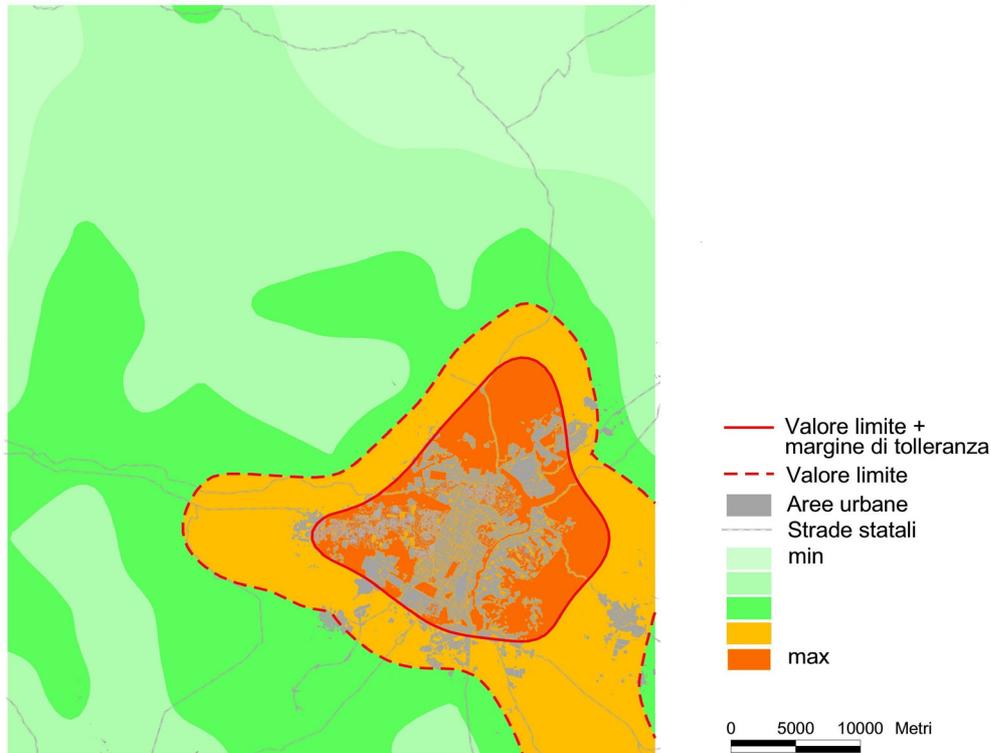


Figura 5.2: Esempio di mappatura (caso 1) - Rappresentazione del valore medio annuale attraverso interpolazione dei dati. Sono evidenziate le aree nelle quali il modello di dispersione individua superamento del valore limite (delimitate inferiormente dalla linea tratteggiata) e superamento del valore limite aumentato del margine di tolleranza (delimitata inferiormente dalla linea continua).

5.2 Caso 2

La simulazione è finalizzata alla valutazione del numero di superamenti del valore limite di un inquinante su base annuale. Il numero di superamenti ottenuto è stato suddiviso in tre classi, rispettivamente caratterizzate da nessun superamento, un numero di superamenti inferiore al limite di legge ed un numero di superamenti superiore al limite di legge (Figura 5.3).

A conclusione della trattazione si è ritenuto utile riassumere in un diagramma di flusso (Figura 5.4) quanto precedentemente esposto nella realizzazione degli esempi relativi al caso 1, e facilmente estrapolabile ad una qualsiasi mappatura.

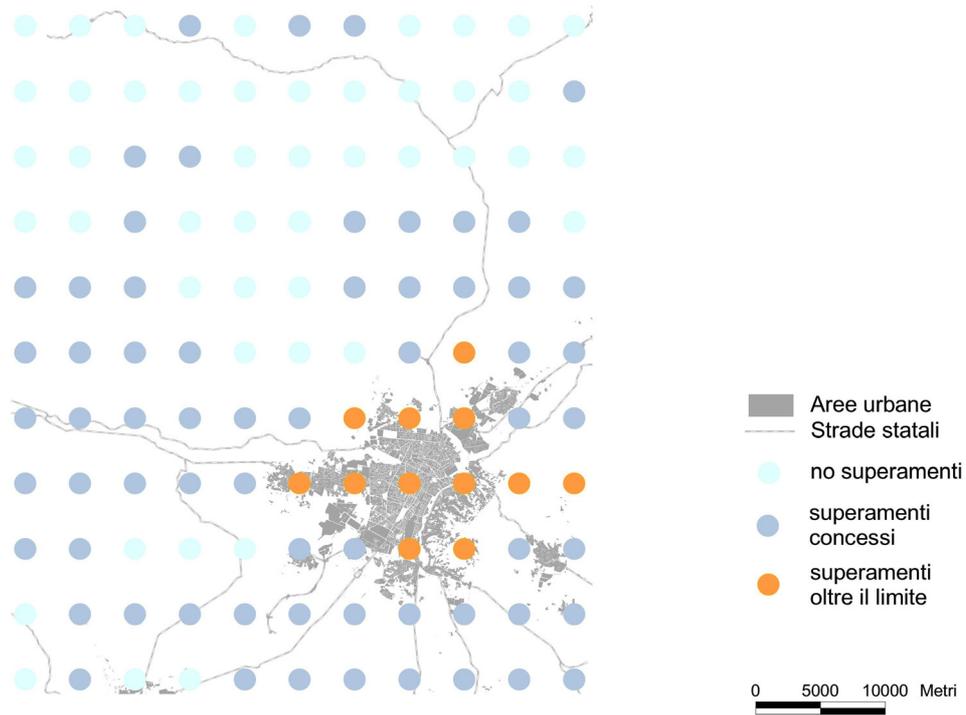


Figura 5.3: Esempio di mappatura (caso 2) - Rappresentazione del numero di superamenti del valore limite per punti griglia. I punti griglia sono stati suddivisi in tre classi caratterizzate rispettivamente da assenza di superamenti del valore limite, numero di superamenti del valore limite consentito dalla normativa e numero di superamenti superiore al limite consentito dalla normativa.

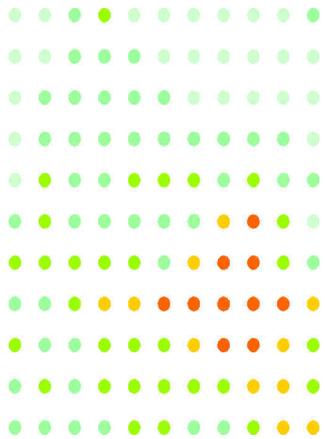
(A pagina successiva)

Figura 5.4: Diagramma di flusso - Esempio di utilizzo dei dati di una simulazione modellistica nella redazione di mappe ai fini del confronto con i limiti della normativa vigente.

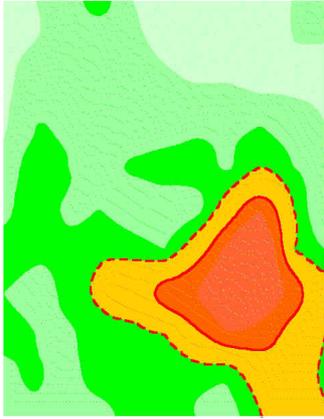
RISULTATO DELLA SIMULAZIONE MODELLISTICA

10	20	25	36	20	15	15	16	18	20	30
15	20	21	24	22	18	15	15	17	20	20
15	30	29	27	24	22	20	20	17	18	19
18	30	27	26	25	22	28	28	30	25	20
20	38	30	29	31	35	36	28	40	30	26
25	40	27	30	25	25	25	48	70	40	20
35	31	31	38	36	30	50	75	90	40	30
30	27	32	44	50	65	70	80	81	66	45
33	30	28	35	35	40	55	70	65	50	40
27	32	25	38	40	31	35	31	50	55	35
25	30	27	22	37	32	30	25	40	46	41

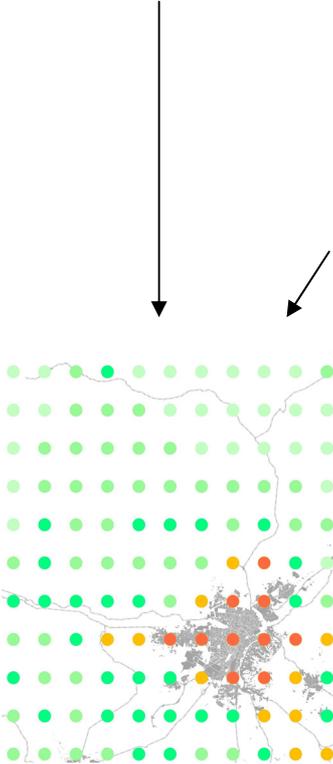
RAPPRESENTAZIONE PER PUNTI GRIGLIA



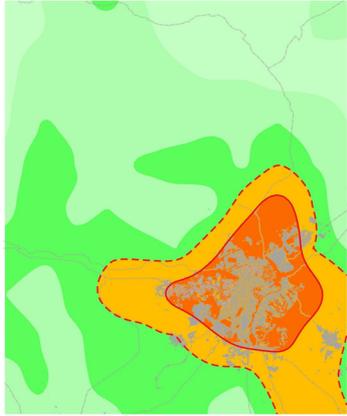
INTERPOLAZIONE



BASE CARTOGRAFICA



MAPPATURA DELLA QUALITA' DELL'ARIA



BIBLIOGRAFIA

Anfossi D., Baffoni C., Brusasca G., Calori G., Caracciolo R., Cirillo M., Desiato F., Finzi G., 2000. *Valutazione della dispersione in atmosfera di effluenti aeriformi - Guida ai criteri di selezione dei modelli matematici*. Norma UNI 10796:10-2000.

Appendix W to Part 51 of the Code of Federal Regulations, 1999. "Guideline on air quality models", U.S. Environmental Protection Agency.

Bassanino M., Bertolaccini M.A., Brusasca G., Cirillo M., Finzi G., Fortezza F., Graziani G., Mamolini G., Marani A., Tamponi M., Tirabassi T., 1993. *Modelli ad integrazione delle reti per la gestione della qualità dell'aria*. Istituto Superiore di Sanità ISTISAN 93/96.

Brusasca G., Carboni G., Finardi S., Sanavio D., Tinarelli G., Toppetti A., 2001. *Comparison of a Gaussian (ISC3) and a Lagrangian Particle Model (SPRAY) for regulatory applications in Flat and Complex Terrain Sites representative of Typical Italian Landscapes*. In: *Atti del convegno "Proceedings of the 7th International Conference on Harmonization Within Atmospheric Dispersion Modelling For Regulatory Purposes"*, Belgirate, Italy, 28-31 May 2001, 130-134.

Cirillo M., Tamponi M., Zanini G., 1996. *The Italian debate on the role of regulatory models in the frame of the new European directives on air quality*. In: *Atti del convegno "4th Workshop on Harmonization within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes"*, Oostende, Belgium, May 1996.

Deserti M., Spagli L., Bini G., Poluzzi V., Minaci L., De Maria R., Zanini G., Vialetto G., Brusasca G., Angelino E., Liguori F., 2001. *Osservatorio dei modelli su smog fotochimico e ozono troposferico*. RTI CTN_ACE 1/2001.

Deserti M., Desiato F., Brusasca G., Silibello C., Zanini G., 2001. *Photochemical models application in the Po valley (Italy): critical review and intercomparison*. In: *Atti del convegno "Proceedings of the 7th International Conference on Harmonization Within Atmospheric Dispersion Modelling For Regulatory Purposes"*, Belgirate, Italy, 28-31 May 2001, 67-80.

Finzi G., Brusasca G., 1991. *La qualità dell'aria. Modelli previsionali e gestionali*. Masson.

Finzi G., Pirovano G., Volta M., 2001. *Gestione della qualità dell'aria. Modelli di simulazione e previsione*. McGraw Libri Italia srl, 409 pp.

Hanna S.R., Briggs G.A., Hosker R.P., 1982. *Handbook on Atmospheric Diffusion*. DOE/TIC-11223, Department of Energy, Washington DC (USA), 102 pp.

Nieuwstadt, F. T. M., Van Dop H., 1982. *Atmospheric Turbulence and Air Pollution Modeling*. Dordrecht, D. Reidel Publ.

Peters L.K.C., Berkovitz M., Carmichael G.R., Easter R.C., Fairweather G., Ghan S.J., Hales J.M., R. L. Leung, Pennell W.R., Potra F.A., Saylor R.D., Tsang T.T., 1995. *The current state and future direction of Eulerian models in simulating the tropospheric chemistry and transport of trace species: a review*. Atmospheric Environment, 2, 189-222.

Royal Meteorological Society, 1995. *Atmospheric dispersion modelling: Guidelines on the justification of choice and use of models, and the communication and reporting of results*. Policy statement issued by the Council of the Royal Meteorological Society, published in collaboration with the Department of the Environment.

Seinfeld J.H., Pandis S.N., 1998. *Atmospheric chemistry and physics. From air pollution to climate change*. John Wiley & Sons Inc., New York, 1326 pp.

Zannetti P., 1990. *Air Pollution Modeling. Theories, Computational Methods and Available Software*. Computational Mechanics Publication (Southampton) and Van Nostrand Reinhold (New York).

APPENDICE

IL CTN_ ACE NELL'AMBITO DELLA RETE SINANET

Ruolo e struttura dei Centri Tematici Nazionali

Il progetto Centri Tematici Nazionali (CTN) ha avuto inizio nell'ottobre del 1998, nell'ambito delle attività di realizzazione e gestione del Sistema nazionale conoscitivo e dei controlli ambientali (SINANet), con l'avvio e la realizzazione di 6 CTN prioritari, da sviluppare in collaborazione con le Agenzie regionali.

Il criterio di riferimento per l'individuazione dei primi 6 CTN è stato quello di garantire la corrispondenza con gli *European Topic Centres* (ETC), le strutture che giocano nella rete europea EIONet un ruolo omologo a quello dei CTN nella rete SINANet.

In tal senso sono stati istituiti i seguenti CTN:

- Atmosfera, Clima ed Emissioni in aria (ACE)
- Agenti Fisici (AGF)
- Acque Interne e Marino costiere (AIM)
- Conservazione della Nature (CON)
- Rifiuti (RIF)
- Suolo e Siti Contaminati (SSC)

I Centri Tematici Nazionali, ciascuno nell'ambito delle aree tematiche di competenza, rappresentano per l'ANPA il necessario supporto per l'attuazione dei compiti che la legge istitutiva le affida in materia di raccolta e gestione dei dati e delle informazioni ambientali e di controllo. In particolare, il supporto riguarda quanto attiene alla definizione di regole per rendere tali attività omogenee su tutto il territorio nazionale e disponibili sulla rete SINANet, in linea con lo sviluppo di attività analoghe nel contesto comunitario.

In analogia al modello europeo, i CTN sono attuati da compagini di soggetti, uno dei quali, il CTN *leader*, è preposto al coordinamento del progetto. Le compagini sono costituite da ARPA/APPA, con l'integrazione di altri soggetti, le Istituzioni Principali di Riferimento (IPR), che hanno competenze specialistiche in materia di azione conoscitiva per i vari temi ambientali. Per ogni CTN, l'ANPA ha nominato un responsabile di progetto.

II CTN_ ACE

Temi di competenza

- Qualità dell'aria
- Deposizioni atmosferiche
- Emissioni in atmosfera
- Clima

Composizione

Responsabile di progetto ANPA: Franco Desiato

Responsabile CTN leader: Gianfranca Galliani

Leader: ARPA Emilia - Romagna

Co-leader: ARPA Toscana

Altri soggetti: ARPA Lombardia

ARPA Veneto

ARPA Piemonte

ARPA Valle d'Aosta

CNR – IIA

ENEA

CESI

ALLEGATI

Allegato A - Elementi che concorrono alla definizione degli scenari

Scala spaziale - Sono definite le seguenti tre scale:

- microscala (fino a 1 km);
- scala locale (fino a 10÷20 km);
- mesoscala (fino a 100÷200 km).

Scala temporale - Sono considerate due possibili applicazioni:

- analisi di breve periodo, cioè analisi di singoli episodi (orientativamente da pochi minuti ad alcuni giorni);
- analisi di lungo periodo, cioè applicazioni di tipo climatologico (periodi stagionali e annuali).

Ambito territoriale - Sono distinti due scenari possibili:

- sito semplice (terreno pianeggiante, caratteristiche territoriali e meteorologiche omogenee);
- sito complesso (orografia complessa, caratteristiche territoriali e/o meteorologiche disomogenee).

Tipologie di sorgente - Sono distinte tre tipologie:

- puntiforme;
- lineare;
- areale.

Tipologie di inquinante - Sono distinte due tipologie:

- inquinante non reattivo (o reattivo al primo ordine, cioè con decadimento espresso per mezzo di costante di tempo);
- inquinante reattivo.

Allegato B

Limiti di legge attualmente vigenti

Tabella B.1: Biossido di zolfo

Tabella B.2: Biossido di azoto

Tabella B.3: Polveri totali sospese

Tabella B.4: Monossido di carbonio

Tabella B.5: Ozono

Tabella B.6: Piombo

Tabella B.7: Particolato PM10

Tabella B.8: Benzene

Tabella B.9: Benzo(a)pirene

RIFERIMENTO NORMATIVO	LIMITE	PERIODO DI RIFERIMENTO	INDICATORE STATISTICO	VALORE DI RIFERIMENTO	SUPERAMENTI CONCESSI
D.P.R. 203/88	Valore limite	anno (1 apr ÷ 31 mar)	mediana concentrazioni medie giornaliere	80 µg/m ³	--
		anno (1 apr ÷ 31 mar)	98° percentile concentrazioni medie giornaliere	250 µg/m ³	3 giorni consecutivi
		inverno (1 ott ÷ 31 mar)	mediana concentrazioni medie giornaliere	130 µg/m ³	--
D.P.R. 203/88	Valore guida	anno (1 apr ÷ 31 mar)	media concentrazioni medie giornaliere	40 ÷ 60 µg/m ³	--
		24 ore	media giornaliera	100 ÷ 150 µg/m ³	--
D.M. 15/4/94 D.M. 25/11/94	Livello di attenzione	24 ore	media giornaliera	125 µg/m ³	--
D.M. 15/4/94 D.M. 25/11/94	Livello di allarme	24 ore	media giornaliera	250 µg/m ³	(1)

Tabella B.1: Biossido di zolfo (SO₂)

(1) Ai sensi del D.P.R. 203/88 il limite non può essere superato per più del 2% delle misure valide su base annua e si devono prendere tutte le misure atte ad evitare il superamento di questo valore per più di 3 giorni consecutivi.

RIFERIMENTO NORMATIVO	LIMITE	PERIODO DI RIFERIMENTO	INDICATORE STATISTICO	VALORE DI RIFERIMENTO
D.P.R. 203/88	Valore limite	anno (1 gen ÷ 31 dic)	98° percentile concentrazioni medie orarie	200 µg/m ³
	Valore guida	anno (1 gen ÷ 31 dic)	50° percentile (mediana) concentrazioni medie orarie	50 µg/m ³
		anno (1 gen ÷ 31 dic)	98° percentile concentrazioni medie orarie	135 µg/m ³
D.M. 15/4/94 D.M. 25/11/94	Livello di attenzione	1 ora	media oraria	200 µg/m ³
D.M. 15/4/94 D.M. 25/11/94	Livello di allarme	1 ora	media oraria	400 µg/m ³

Tabella B.2: Biossido di azoto (NO₂)

RIFERIMENTO NORMATIVO	LIMITE	PERIODO DI RIFERIMENTO	INDICATORE STATISTICO	VALORE DI RIFERIMENTO
D.P.C.M. 28/3/83	Standard di qualità	anno (1 apr ÷ 31 mar)	media concentrazioni medie giornaliere (1)	150 µg/m ³
			95° percentile concentrazioni medie giornaliere (1)	300 µg/m ³
D.P.R. 203/88	Valore guida	anno (1 apr ÷ 31 mar)	media concentrazioni medie giornaliere (2)	40 ÷ 60 µg/m ³
		24 ore	media giornaliera (2)	100 ÷ 150 µg/m ³
D.M. 25/11/94	Livello di attenzione	24 ore	media giornaliera (1)	150 µg/m ³
D.M. 25/11/94	Livello di allarme	24 ore	media giornaliera (1)	300 µg/m ³

Tabella B.3: Polveri totali sospese (PTS)

- (1) Misurate con il metodo gravimetrico.
(2) Misurate con il metodo dei fumi neri.

RIFERIMENTO NORMATIVO	LIMITE	PERIODO DI RIFERIMENTO	INDICATORE STATISTICO	VALORE DI RIFERIMENTO
D.P.C.M. 28/3/83	Standard di qualità	8 ore	media di 8 ore (1)	10 mg/m ³
		1 ora	media oraria	40 mg/m ³
D.M. 15/4/94 D.M. 25/11/94	Livello di attenzione	1 ora	media oraria	15 mg/m ³
D.M. 15/4/94 D.M. 25/11/94	Livello di allarme	1 ora	media oraria	30 mg/m ³

Tabella B.4: Monossido di carbonio (CO)

(1) La media di 8 ore deve essere effettuata per 3 fasce orarie, definite come 0-8, 8-16, 16-24 (ISTISAN 87/5).

RIFERIMENTO NORMATIVO	LIMITE	PERIODO DI RIFERIMENTO	INDICATORE STATISTICO	VALORE DI RIFERIMENTO	SUPERAMENTI CONCESSI
D.P.C.M. 28/3/83	Standard di qualità	1 mese	media oraria	200 µg/m ³	1 volta/mese
D.M. 16/5/96	Livello per la protezione della salute	8 ore	media (mobile trascinata) su 8 ore	110 µg/m ³	--
	Livello per la protezione della vegetazione	1 ora	media oraria	200 µg/m ³	--
		24 ore	media giornaliera	65 µg/m ³	--
D.M. 15/4/94 D.M. 25/11/94 D.M. 16/5/96	Livello di attenzione	1 ora	media oraria	180 µg/m ³	--
	Livello di allarme	1 ora	media oraria	360 µg/m ³	--

Tabella B.5: Ozono (O₃)

RIFERIMENTO NORMATIVO	LIMITE	PERIODO DI RIFERIMENTO	INDICATORE STATISTICO	VALORE DI RIFERIMENTO
D.P.C.M. 28/3/83	Standard di qualità	anno	media concentrazioni medie di 24 ore	2 µg/m ³

Tabella B.6: Piombo (Pb)

RIFERIMENTO NORMATIVO	LIMITE	PERIODO DI RIFERIMENTO	INDICATORE STATISTICO	VALORE DI RIFERIMENTO
D.M. 25/11/94	Obiettivo di qualità	anno (1 gen ÷ 31 dic)	media mobile valori giornalieri	40 µg/m ³

Tabella B.7: Particolato sospeso (PM10)

RIFERIMENTO NORMATIVO	LIMITE	PERIODO DI RIFERIMENTO	INDICATORE STATISTICO	VALORE DI RIFERIMENTO
D.M. 25/11/94	Obiettivo di qualità	anno (1 gen ÷ 31 dic)	media mobile valori giornalieri	10 µg/m ³

Tabella B.8: Benzene

RIFERIMENTO NORMATIVO	LIMITE	PERIODO DI RIFERIMENTO	INDICATORE STATISTICO	VALORE DI RIFERIMENTO
D.M. 25/11/94	Obiettivo di qualità	anno (1 gen ÷ 31 dic)	media mobile valori giornalieri	1 ng/m ³

Tabella B.9: Benzo(a)pirene

Limiti di legge riportati nelle direttive e proposte di direttive comunitarie

Per gli inquinanti considerati nella direttiva 1999/30/CE (biossido di zolfo, biossido di azoto, ossidi di azoto, particolato PM10 e piombo) e nella direttiva 2000/69/CE (benzene e monossido di carbonio) alle tabelle riportanti i limiti di legge sono allegati grafici che evidenziano la variazione del limite legislativo nel corso degli anni, conseguente alla prevista diminuzione del margine di tolleranza.

Tabella B.10:	Biossido di zolfo
Figura B.1:	Biossido di zolfo
Tabelle B.11(a, b):	Biossido di azoto e ossidi di azoto
Figure B.2 (a, b):	Biossido di azoto
Tabella B.12:	Monossido di carbonio
Figura B.3:	Monossido di carbonio
Tabella B.13:	Ozono
Tabella B.14:	Piombo
Figura B.4:	Piombo
Tabella B.15:	Particolato - PM10 (fase 1)
Figura B.5 (a, b):	Particolato - PM10
Tabella B.16:	Particolato - PM10 (fase 2)
Tabella B.17:	Benzene
Figura B.6:	Benzene

LIMITE	PERIODO RIFERIMENTO	INDICATORE STATISTICO	VALORE RIFERIMENTO	SUPERAMENTI CONCESSI	DATA PER IL RISPETTO DEL LIMITE	MARGINE DI TOLLERANZA (1)	SOGLIA DI VALUTAZIONE		
							SUPERIORE	INFERIORE	SUPERAMENTI CONCESSI
Valore limite orario per la protezione della salute umana	1 ora	media	350 µg/m ³	24 volte/anno civile	##	150 µg/m ³ (43%)	--	--	--
Valore limite giornaliero per la protezione della salute umana	24 ore	media	125 µg/m ³	3 volte/anno civile	##	--	75 µg/m ³	50 µg/m ³	3 volte/anno civile
Valore limite per la protezione degli ecosistemi	anno civile	media	20 µg/m ³	--	##	--	--	--	--
	inverno (1 ott ÷ 31 mar)	media		12 µg/m ³			8 µg/m ³	--	
Soglia di allarme	3 ore consecutive	media	500 µg/m ³	--	--	--	--	--	--

Tabella B.10: Biossido di zolfo (SO₂) - direttiva in fase di recepimento

(1) Il margine di tolleranza è la percentuale del valore limite nella cui misura tale valore può essere superato all'entrata in vigore della direttiva 1999/30/CE, con riduzione percentuale annua costante a partire dal 1° gennaio 2001 per giungere al valore di riferimento entro la data di rispetto del limite.

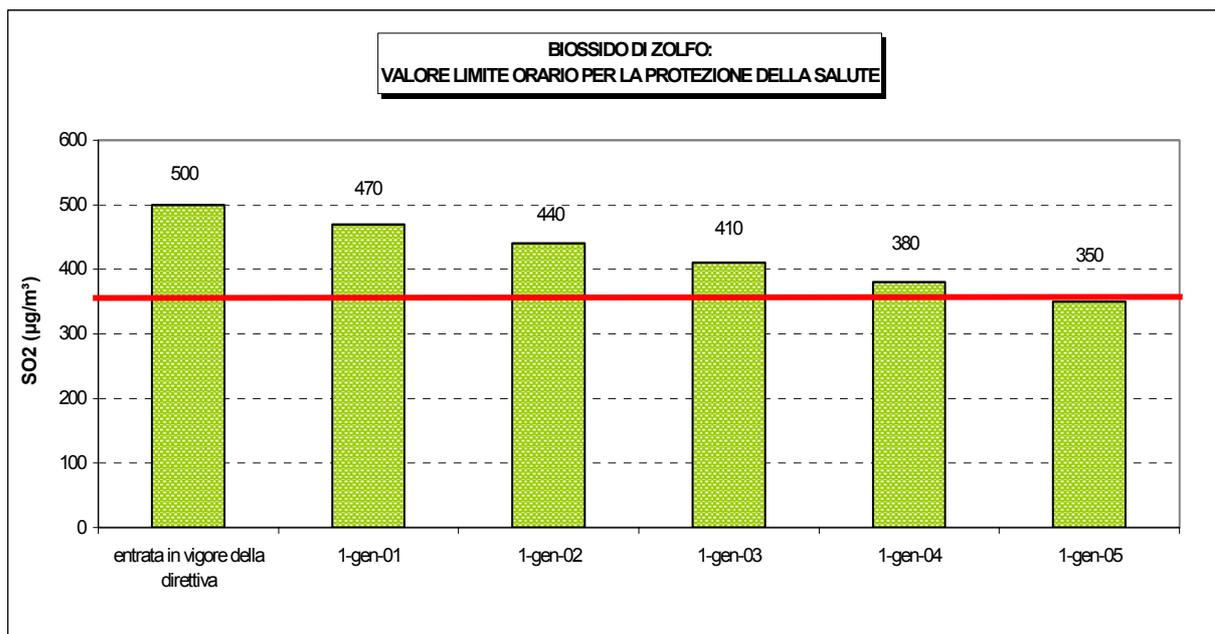


Figura B.1: Biossido di zolfo (SO₂)

La linea rossa indica il valore limite orario per la protezione della salute: 350 µg/m³.

RIFERIMENTO NORMATIVO	LIMITE	PERIODO DI RIFERIMENTO	INDICATORE STATISTICO	VALORE DI RIFERIMENTO	SUPERAMENTI CONCESSI	DATA PER IL RISPETTO DEL LIMITE	MARGINE DI TOLLERANZA (1)	SOGLIA DI VALUTAZIONE		
								SUPERIORE	INFERIORE	SUPERAMENTI CONCESSI
1999/30/CE	Valore limite orario per la protezione della salute umana	1 ora	media	200 µg/m ³	18 volte/anno civile	###	100 µg/m ³ (50%)	140 µg/m ³	100 µg/m ³	18 volte/anno civile
1999/30/CE	Valore limite annuale per la protezione della salute umana	anno civile	media	40 µg/m ³	--	###	20 µg/m ³ (50%)	32 µg/m ³	26 µg/m ³	---
1999/30/CE	Soglia di allarme	3 ore consecutive	media	400 µg/m ³	--	--	--	--	--	--

Tabella B.11a: Biossido di azoto (NO₂) - direttiva in fase di recepimento

(1) Il margine di tolleranza è la percentuale del valore limite nella cui misura tale valore può essere superato all'entrata in vigore della direttiva 1999/30/CE, con riduzione percentuale annuale costante a partire dal 1° gennaio 2001 per giungere al valore di riferimento entro la data di rispetto del limite.

RIFERIMENTO NORM ATIVO	LIMITE	PERIODO DI RIFERIME NTO	INDICATORE STATISTICO	VALORE DI RIFERIMENTO	SUPERA MENTI CONCES SI	DATA PER IL RISPETTO DEL LIMITE	MARGINE DI TOLLERAN ZA (1)	SOGLIA DI VALUTAZIONE		
								SUPERIO RE	INFERIO RE	SUPERA MENTI CONCES SI
1999/30/ CE	Valore limite annuale per la protezione della vegetazione	anno civile	media	30 µg/m ³	---	###	----	24 µg/m ³	19.5 µg/m ³	---

Tabella B.11b: Ossidi di azoto (NO_x) - direttiva in fase di recepimento

- (1) Il margine di tolleranza è la percentuale del valore limite nella cui misura tale valore può essere superato all'entrata in vigore della direttiva 1999/30/CE, con riduzione percentuale annua costante a partire dal 1° gennaio 2001 per giungere al valore di riferimento entro la data di rispetto del limite.

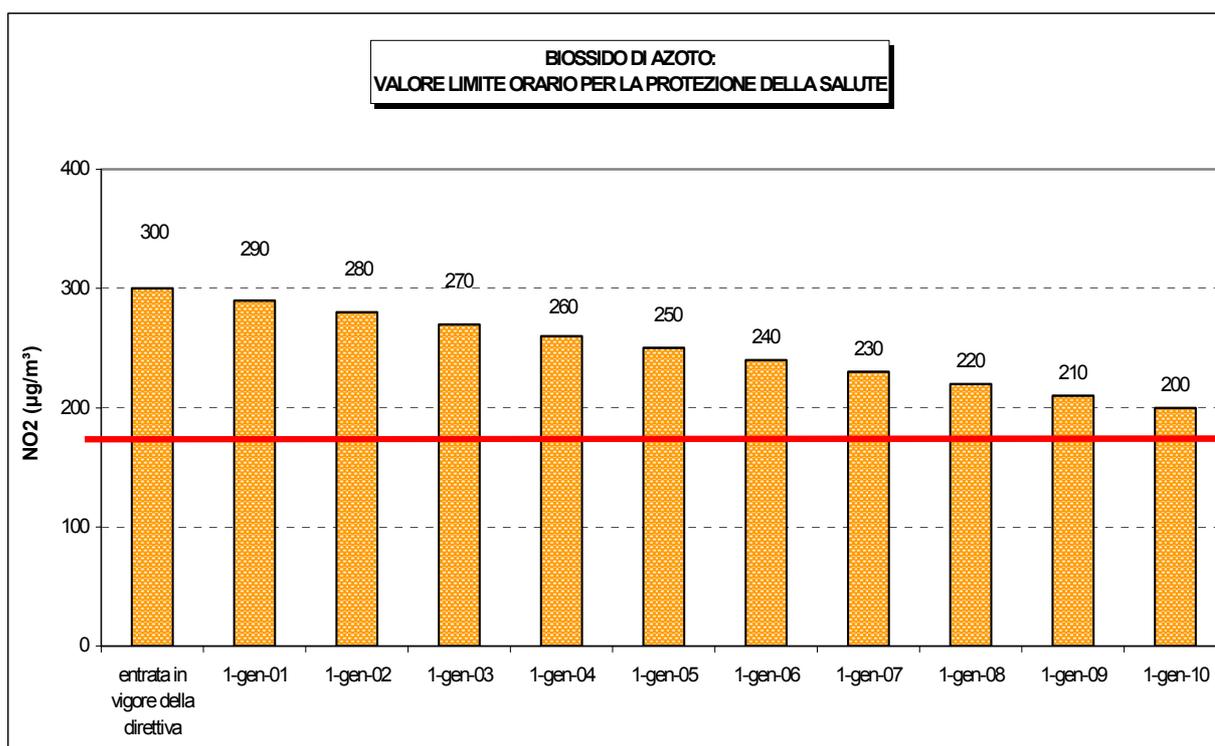


Figura B.2a: Biossido di azoto (NO₂)

La linea rossa indica il valore limite orario per la protezione della salute: 200 µg/m³.

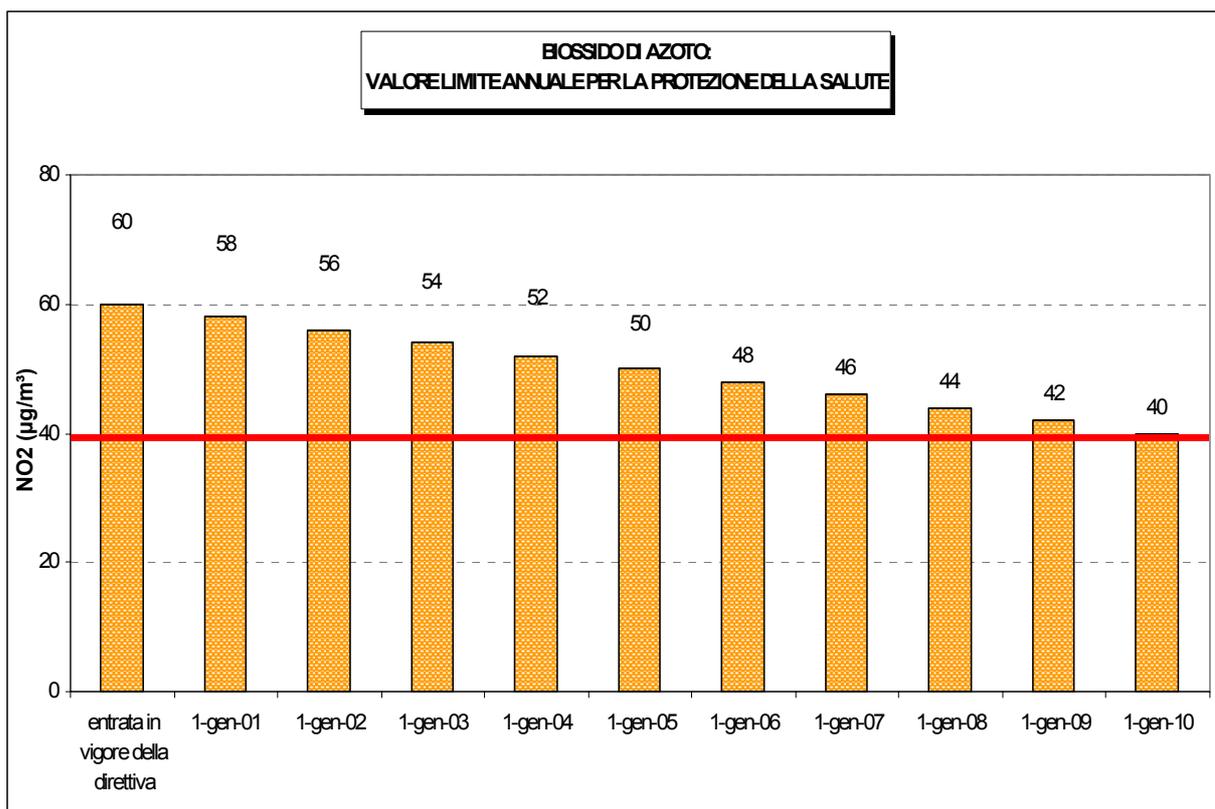


Figura B.2b: Biossido di azoto (NO₂)

La linea rossa indica il valore limite annuale per la protezione della salute: 40 µg/m³.

RIFERIMENTO NORMATIVO	LIMITE	PERIODO DI RIFERIMENTO	INDICATORE STATISTICO	VALORE DI RIFERIMENTO	SUPERAMENTI CONCESSI	DATA PER IL RISPETTO DEL LIMITE	MARGINE DI TOLLERANZA (1)	SOGLIA DI VALUTAZIONE		
								SUPERIORE	INFERIORE	SUPERAMENTI CONCESSI
2000/69/CE	Valore limite per la protezione della salute umana	8 ore	media mobile	10 mg/m ³	---	###	6 mg/m ³ (60%)	7 mg/m ³	5 mg/m ³	---

Tabella B.12: Monossido di carbonio (CO) - direttiva in fase di recepimento

(1) Il margine di tolleranza è la percentuale del valore limite nella cui misura tale valore può essere superato all'entrata in vigore della direttiva, con riduzione percentuale annua costante a partire dal 1° gennaio 2003 per giungere al valore di riferimento entro la data di rispetto del limite.

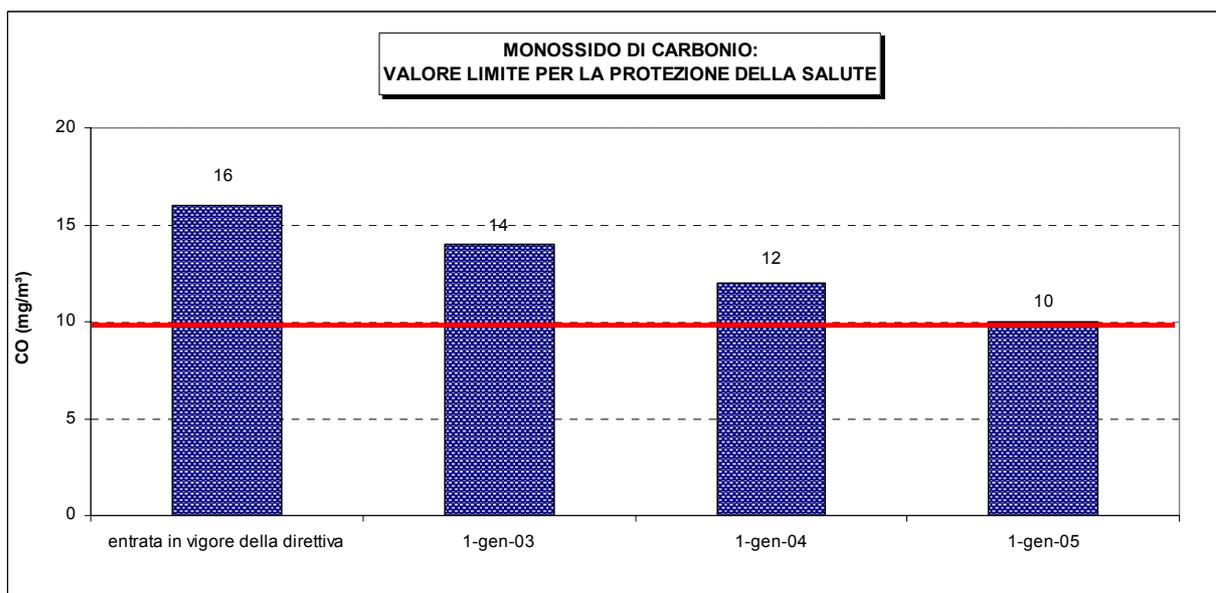


Figura B.3: Monossido di carbonio (CO)

La linea rossa indica il valore limite (media 8 ore) per la protezione della salute: 10 mg/m³.

RIFERIMENTO NORMATIVO	LIMITE	PERIODO DI RIFERIMENTO	INDICATORE STATISTICO	VALORE DI RIFERIMENTO	SUPERAMENTI CONCESSI	ANNO PER IL CONSEGUIMENTO DEL VALORE OBIETTIVO (1)
Proposta 1999/0068 (COD)	Valore obiettivo per la protezione della salute umana	anno solare	media massima di 8 ore nell'arco di 24 ore (2)	120 µg/m ³ (3)	20 giorni/anno solare come media su 3 anni	2010
	Valore obiettivo per la protezione della vegetazione	maggio ÷ luglio	AOT40 (4) calcolato sulla base di valori di 1 ora	17000 µg/m ³ h (5)	--	2010
	Valore obiettivo a lungo termine per la protezione della salute umana	anno solare	media massima di 8 ore (6)	120 µg/m ³	--	--
	Valore obiettivo a lungo termine per la protezione della vegetazione	maggio ÷ luglio	AOT40 calcolato sulla base delle concentrazioni di 1 ora	6000 µg/m ³ h	--	--

Tabella B.13: Ozono (O₃) - Direttiva proposta

- (1) Data a partire dalla quale si verifica la rispondenza ai valori-obiettivo. Ciò significa che i valori del 2010 saranno utilizzati per verificare la concordanza con gli obiettivi nei successivi 3 o 5 anni.
- (2) È la media massima fra le medie ottenute in base a moduli di 8 ore rilevati a decorrere da ogni ora.

- (3) Se non è possibile calcolare la media di 3 o 5 anni poiché non si ha un insieme completo di dati relativi a più anni consecutivi, i dati annuali minimi necessari per la verifica della rispondenza con i valori-obiettivo sono i seguenti:
- per il valore - obiettivo per la protezione della salute umana: dati validi relativi a 1 anno;
 - per il valore - obiettivo per la protezione della vegetazione: dati validi relativi a 3 anni.
- (4) Per AOT40 s'intende la somma della differenza tra le concentrazioni orarie superiori a $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in un dato periodo di tempo, utilizzando solo i valori di un'ora rilevati ogni giorno tra le 8:00 e le 20:00, ora dell'Europa centrale.
- (5) Media su 5 anni.

RIFERIMENTO NORMATIVO	LIMITE	PERIODO DI RIFERIMENTO	INDICATORE STATISTICO	VALORE DI RIFERIMENTO	SUPERAMENTI CONCESSI	DATA PER IL RISPETTO DEL LIMITE	MARGINE DI TOLLERANZA (1)	SOGLIA DI VALUTAZIONE		
								SUPERIORE	INFERIORE	SUPERAMENTI CONCESSI
1999/30/CE	Valore limite annuale per la protezione e della salute umana	anno civile	media	$0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$	---	1-gen-05 (2)	$0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (100%)	$0.35 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$0.25 \mu\text{g}/\text{m}^3$	---

Tabella B.14: Piombo (Pb) - direttiva in fase di recepimento

- (1) Il margine di tolleranza è la percentuale del valore limite nella cui misura tale valore può essere superato all'entrata in vigore della direttiva 1999/30/CE, con riduzione percentuale annua costante a partire dal 1° gennaio 2001 per giungere al valore di riferimento entro la data di rispetto del limite.
- (2) Nelle immediate vicinanze di fonti industriali specifiche, in siti contaminati da decenni di attività industriali (notificati alla Commissione entro il 19 luglio 2001), la data viene fissata al 1° gennaio 2010.

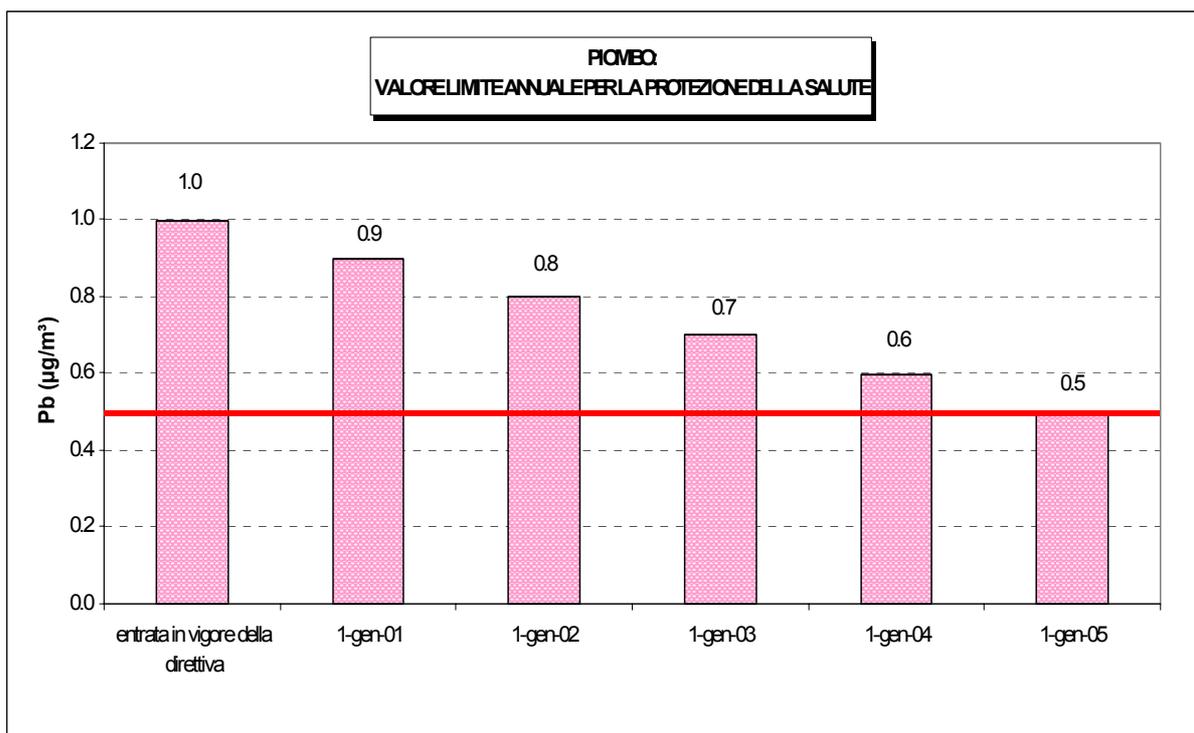


Figura B.4: Piombo (Pb)

La linea rossa indica il valore limite annuale per la protezione della salute: $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

RIFERIMENTO NORMATIVO	LIMITE	PERIODO DI RIFERIMENTO	INDICATORE STATISTICO	VALORE DI RIFERIMENTO	SUPERAMENTI CONCESSI	DATA PER IL RISPETTO DEL LIMITE	MARGINE DI TOLLERANZA (1)	SOGLIA DI VALUTAZIONE		
								SUPERIORE	INFERIORE	SUPERAMENTI CONCESSI
1999/30/CE	Valore limite giornaliero per la protezione della salute umana	24 ore	media	$50 \mu\text{g}/\text{m}^3$	35 volte/anno civile	###	$25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (50%)	---	---	---
1999/30/CE	Valore limite annuale per la protezione della salute umana	anno civile	media	$40 \mu\text{g}/\text{m}^3$	---	###	$8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (20%)	---	---	---

Tabella n. 15: Particelle (PM10) - direttiva in fase di recepimento - fase 1

(1) Il margine di tolleranza è la percentuale del valore limite nella cui misura tale valore può essere superato all'entrata in vigore della direttiva 1999/30/CE, con riduzione percentuale annua costante a partire dal 1° gennaio 2001 per giungere al valore di riferimento entro la data di rispetto del limite.

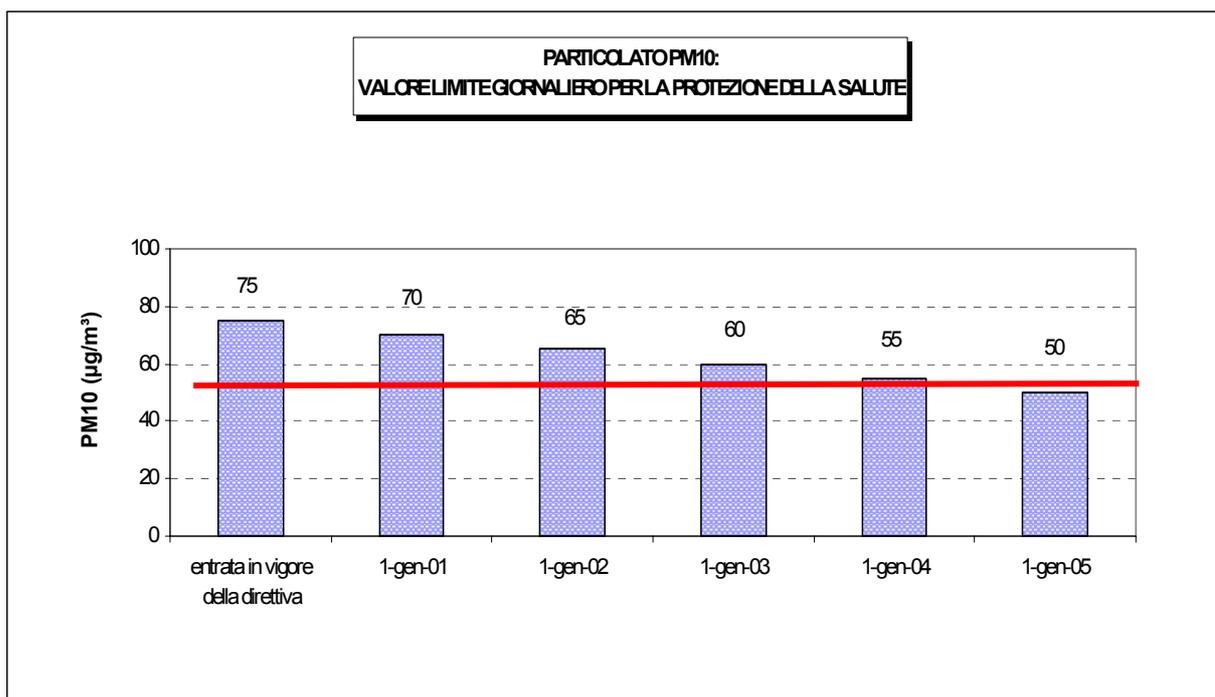


Figura B.5a: Particolato (PM10)

La linea rossa indica il valore limite giornaliero per la protezione della salute: 50 µg/m³.

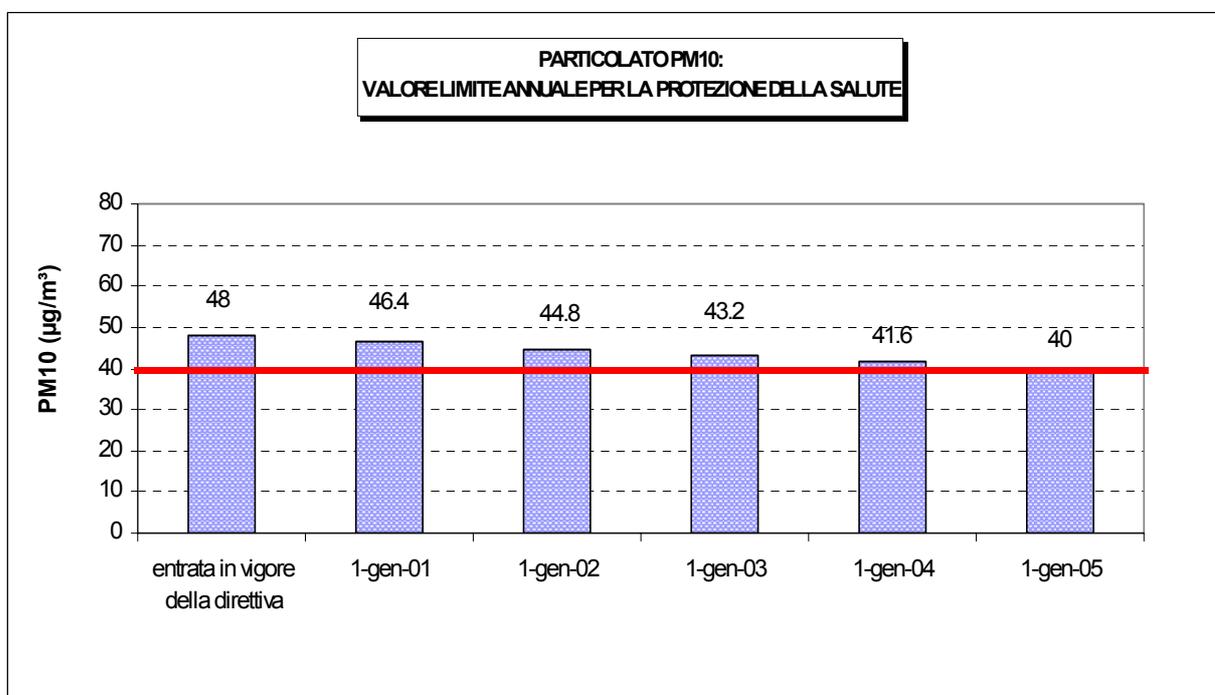


Figura B.5b: Particolato (PM10)

La linea rossa indica il valore limite annuale per la protezione della salute: 40 µg/m³.

RIFERIMENTO NORMATIVO	LIMITE	PERIODO DI RIFERIMENTO	INDICATORE STATISTICO	VALORE DI RIFERIMENTO	SUPERAMENTI CONCESSI	DATA PER IL RISPETTO DEL LIMITE	MARGINE DI TOLLERANZA (1)	SOGLIA DI VALUTAZIONE		
								SUPERIORE	INFERIORE	SUPERAMENTI CONCESSI
1999/30/CE	Valore limite giornaliero per la protezione della salute umana	24 ore	media	50 µg/m ³	7 volte/anno civile	###	in base ai dati	30 µg/m ³	20 µg/m ³	7 volte/anno civile
1999/30/CE	Valore limite annuale per la protezione della salute umana	anno civile	media	20 µg/m ³	---	###	10 µg/m ³ (50%)	14 µg/m ³	10 µg/m ³	---

Tabella B.16: Particelle (PM10) - direttiva in fase di recepimento - fase 2 (2)

- (1) Il margine di tolleranza è la percentuale del valore limite nella cui misura tale valore può essere superato all'entrata in vigore della direttiva 1999/30/CE, con riduzione percentuale annua costante a partire dal 1° gennaio 2001 per giungere al valore di riferimento entro la data di rispetto del limite.
- (2) Valori limite indicativi, che vanno riveduti alla luce delle ulteriori informazioni relative agli effetti sulla salute e sull'ambiente, alla fattibilità tecnica e all'esperienza acquisita nell'applicazione dei valori limite della fase 1 negli Stati membri.

RIFERIMENTO NORMATIVO	LIMITE	PERIODO DI RIFERIMENTO	INDICATORE STATISTICO	VALORE DI RIFERIMENTO	SUPERAMENTI CONCESSI	DATA PER IL RISPETTO DEL LIMITE (2)	MARGINE DI TOLLERANZA (1)	SOGLIA DI VALUTAZIONE		
								SUPERIORE	INFERIORE	SUPERAMENTI CONCESSI
2000/69/CE	Valore limite annuale per la protezione della salute umana	anno civile	media	5 µg/m ³	---	###	5 µg/m ³ (100%)	3.5 µg/m ³	2 µg/m ³	---

Tabella B.17: Benzene - direttiva in fase di recepimento

- (1) Il margine di tolleranza è la percentuale del valore limite nella cui misura tale valore può essere superato all'entrata in vigore della direttiva, con riduzione percentuale annua costante a partire dal 1° gennaio 2006 per giungere al valore di riferimento entro la data di rispetto del limite.
- (2) Costituiscono eccezione le zone e gli agglomerati nei quali è stata approvata una proroga limitata nel tempo, conformemente all'articolo 3, paragrafo 2.

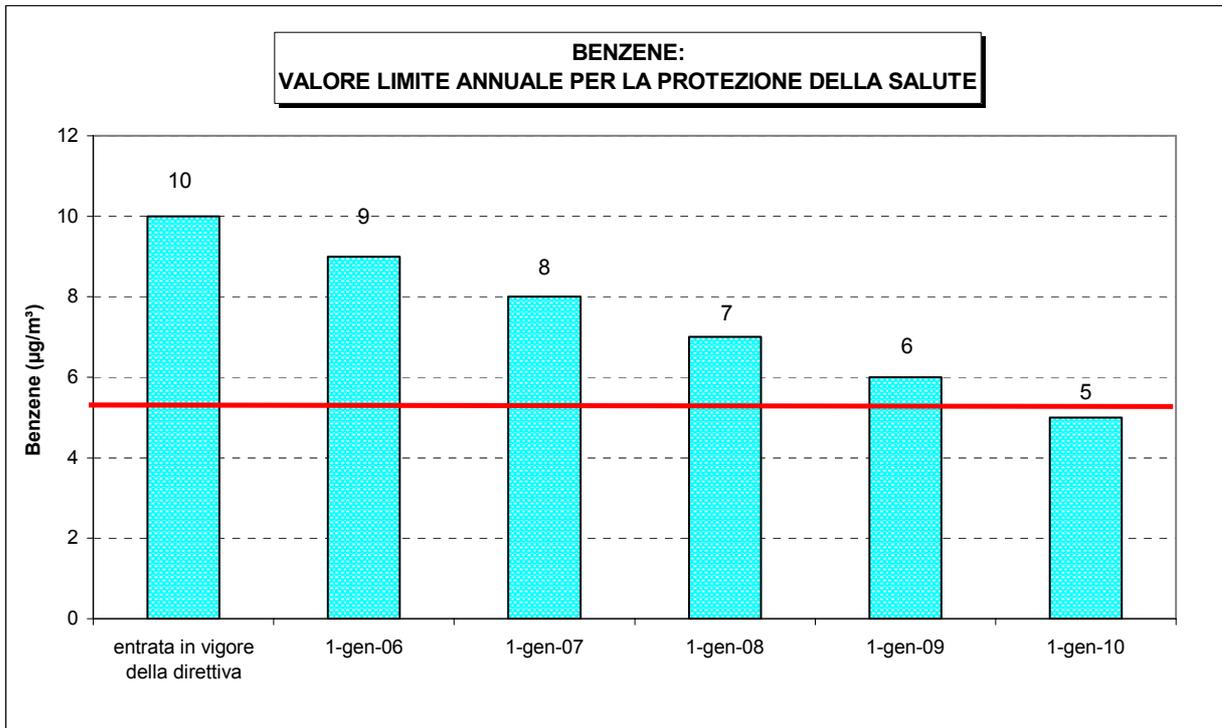


Figura B.6: Benzene

La linea rossa indica il Valore limite annuale per la protezione della salute: 5 µg/m³.

DIRETTIVA 1999/30/CE	
BIOSSIDO DI ZOLFO:	
VALORE LIMITE ORARIO PER LA PROTEZIONE DELLA SALUTE	
Entrata in vigore del valore limite	SO ₂ (µg/m ³)
entrata in vigore della direttiva	Valore limite (aumentato del margine di tolleranza) (µg/m ³)
entrata in vigore della direttiva	500
1-gen-01	470
1-gen-02	440
1-gen-03	410
1-gen-04	380
1-gen-05	350

DIRETTIVA 1999/30/CE	
BIOSSIDO DI AZOTO:	NO ₂ (µg/m ³)
VALORE LIMITE ORARIO PER LA PROTEZIONE DELLA SALUTE	
Entrata in vigore del valore limite	Valore limite (aumentato del margine di tolleranza) (µg/m ³)
entrata in vigore della direttiva	300
1-gen-01	290
1-gen-02	280
1-gen-03	270
1-gen-04	260
1-gen-05	250
1-gen-06	240
1-gen-07	230
1-gen-08	220
1-gen-09	210
1-gen-10	200

DIRETTIVA 1999/30/CE	
BIOSSIDO DI AZOTO:	NO ₂ (µg/m ³)
VALORE LIMITE ANNUALE PER LA PROTEZIONE DELLA SALUTE	
Entrata in vigore del valore limite	Valore limite (aumentato del margine di tolleranza) (µg/m ³)
entrata in vigore della direttiva	60
1-gen-01	58
1-gen-02	56
1-gen-03	54
1-gen-04	52
1-gen-05	50
1-gen-06	48
1-gen-07	46
1-gen-08	44
1-gen-09	42
1-gen-10	40

DIRETTIVA 2000/69/CE	
MONOSSIDO DI CARBONIO:	CO (mg/m ³)
VALORE LIMITE PER LA PROTEZIONE DELLA SALUTE	
Entrata in vigore del valore limite	Valore limite (aumentato del margine di tolleranza) (µg/m ³)
entrata in vigore della direttiva	16
1-gen-03	14
1-gen-04	12
1-gen-05	10

DIRETTIVA 1999/30/CE	
PIOMBO:	Pb ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
VALORE LIMITE ANNUALE PER LA PROTEZIONE DELLA SALUTE	
Entrata in vigore del valore limite	Valore limite (aumentato del margine di tolleranza) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
entrata in vigore della direttiva	1.0
1-gen-01	0.9
1-gen-02	0.8
1-gen-03	0.7
1-gen-04	0.6
1-gen-05	0.5

DIRETTIVA 1999/30/CE	
PARTICOLATO PM10:	PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
VALORE LIMITE GIORNALIERO PER LA PROTEZIONE DELLA SALUTE	
Entrata in vigore del valore limite	Valore limite (aumentato del margine di tolleranza) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
entrata in vigore della direttiva	75
1-gen-01	70
1-gen-02	65
1-gen-03	60
1-gen-04	55
1-gen-05	50

DIRETTIVA 1999/30/CE	
PARTICOLATO PM10:	PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
VALORE LIMITE ANNUALE PER LA PROTEZIONE DELLA SALUTE	
Entrata in vigore del valore limite	Valore limite (aumentato del margine di tolleranza) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
entrata in vigore della direttiva	48
1-gen-01	46.4
1-gen-02	44.8
1-gen-03	43.2
1-gen-04	41.6
1-gen-05	40

DIRETTIVA 2000/69/CE

BENZENE:

Benzene ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

**VALORE LIMITE ANNUALE
PER LA PROTEZIONE DELLA
SALUTE**

Entrata in vigore del valore limite

Valore limite (aumentato del margine di tolleranza)
($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

entrata in vigore della direttiva

10

1-gen-06

9

1-gen-07

8

1-gen-08

7

1-gen-09

6

1-gen-10

5