

5. ANALISI STATISTICA DEI DATI

La raccolta di informazioni e di dati è una fase cruciale per qualsiasi ricerca scientifica, ma lo è tanto più in campo ambientale perché l'oggetto di studio è altamente complesso. In una ricerca ambientale è importante non tanto costruire autonomi archivi di dati, quanto sviluppare reti di connessione tra fornitori che spesso appartengono a nicchie disciplinari diverse.

L'accesso alle informazioni, pur essendo un diritto ampiamente tutelato dalla normativa italiana¹, spesso si rivela il punto critico in grado di compromettere lo sviluppo stesso dell'intera ricerca.

Anche nello svolgimento del presente lavoro, la fase di raccolta delle informazioni e dei dati ha occupato una considerevole quantità di tempo.

5.1. I dati

La base di dati che si è ottenuta è costituita da:

- serie storiche dei parametri registrati dalla rete di monitoraggio della qualità dell'aria di Mestre, limitatamente alle stazioni di proprietà del Comune di Venezia, per i periodi indicati nella tabella 5.1²;

Tab. 5.1. *Archivio di dati sulla qualità dell'aria di Mestre.*

| <i>STAZIONE</i> | <i>PERIODO</i> |
|----------------------|-------------------------------|
| Via Piave | da novembre '93 a gennaio '96 |
| Via Da Verrazzano | da aprile '94 a gennaio '96 |
| Parco della Bissuola | da maggio '94 a gennaio '96 |
| Piazzetta Matter | da novembre '93 a gennaio '96 |

¹ Il diritto all'informazione è espressamente tutelato dalla normativa italiana quale diritto di accesso agli *atti amministrativi* in possesso delle pubbliche amministrazioni (L. 241/90, DPR 352/92 e L.142/90). Per la materia ambientale esiste inoltre una specifica disciplina che riconosce il diritto alle informazioni ambientali come momento fondamentale per la tutela stessa dell'ambiente (L. 386/86). Questo diritto è anche ribadito dalla legislazione Comunitaria (Direttiva 90/313/CEE). Per un approfondimento del tema si rimanda altrove (Liguori, 1996).

² Archivio di dati ottenuto grazie alla collaborazione con il Presidio Multizonale di Prevenzione dell'ULSS n 12 di Mestre.

- serie storiche delle variabili meteorologiche registrate dalle stazioni dell'Ente della Zona Industriale di Porto Marghera (tab. 5.2);

Tab. 5.2. *Parametri rilevati dalle stazioni meteorologiche dell'Ente della Zona Industriale di Porto Marghera.*

| <i>Stazioni</i> | <i>Parametri misurati</i> | | | | | | |
|-----------------|---------------------------|------|-----|----------|----------------------|----------------------|-----------------------|
| stazione n. 5 | T | DV | VV | DVV | σ | | |
| stazione n. 22 | DV | VV | DVV | σ | | | |
| stazione n. 23 | Rad | Pluv | UR | Press | T ₁ (10m) | T ₂ (70m) | T ₃ (140m) |

| | |
|--------------------------------------|--|
| T = temperatura | Rad = Radiazione solare globale |
| DV = Direzione prevalente del Vento | UR = Umidità Relativa |
| DVV = Direzione del Vento Vettoriale | Press = Pressione atmosferica |
| VV = Velocità del Vento | Pluv = quantità di pioggia |
| σ = deviazione standard di DV | T _i = temperatura alla data quota |

- flussi di traffico registrati da due semafori nell'area urbana di Mestre (tab. 5.3).³

Tab. 5.3. *Semafori conta-traffico di cui si dispongono dati.*

| <i>Posizione semaforo</i> | <i>Direzione di marcia</i> | <i>Periodo temporale</i> |
|---------------------------|----------------------------|---------------------------------|
| Via Piave | Sud → Nord | Periodo Aprile '95 - Aprile '96 |
| Via Da Verrazzano | Ovest → Est | Periodo Aprile '95 - Aprile '96 |

Tutti i dati a disposizione sono stati ottenuti con dispositivi di misurazione automatici. Il problema della qualità di questo tipo di dati va ricondotto a due momenti critici: il primo, relativo alla possibile presenza di errori in fase di misurazione (mancata calibrazione degli strumenti, non corretta metodologia di prelievo ed analisi, non corretto funzionamento degli strumenti di misura); il secondo, relativo al rischio di deterioramento dei dati nella fase di trasmissione e di archiviazione degli stessi.

Generalmente, nella fase di trasmissione all'elaboratore centrale viene svolto, da parte degli operatori addetti alla manutenzione delle centraline, un primo controllo manuale dei dati sulla base di conoscenze sul funzionamento dello strumento o di episodi di disturbo

eventualmente verificatisi. I dati sono quindi in parte già filtrati; tuttavia, nonostante questi metodi di validazione e di controllo sistematico degli strumenti, accade di frequente che i dati archiviati contengano dei valori anomali.

Connesso al problema della qualità dei dati è quello della presenza di buchi osservazionali causati, ad esempio, da guasti agli strumenti di rilevazione. I dati mancanti, se presenti in numero rilevante, possono invalidare seriamente le analisi statistiche introducendo una componente sistematica d'errore nelle stime dei parametri.

I dati registrati dalle stazioni del Comune sono valori medi orari che aggregano le misure effettuate nell'arco di un'ora, con frequenza di campionamento dipendente dalla specifica tecnica di misura del parametro monitorato (per i metodi di misura v. tab. 5.4).

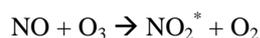
Le serie storiche registrate nelle quattro stazioni sono caratterizzate da numerosi dati mancanti dovuti alla periodica taratura degli strumenti ed a periodi di non funzionamento delle apparecchiature.

Tab. 5.4. *Metodi di misura degli inquinanti adottati nelle stazioni del Comune.*

| <i>Parametro</i> | <i>Metodo di misura</i> |
|------------------|-------------------------------------|
| SO ₂ | Fluorescenza UV |
| CO | Fotometria IR |
| NO _x | Chemiluminescenza ⁴ |
| THC, NMHC | Ionizzazione di fiamma ⁵ |
| PTS | Assorbimento radiazioni β |
| O ₃ | Fotometria UV |

³ I semafori conta-traffico attualmente in funzione nell'area urbana di Mestre sono molti di più, ma a causa di difficoltà nella gestione del *data base* che archivia i dati, l'Ufficio traffico del Comune ha reso disponibili solo quelli indicati.

⁴ Le stazioni di qualità dell'aria registrano in continuo i valori di NO, NO₂ e NO_x. La misura prevede dapprima il calcolo della concentrazione dell'NO con la tecnica della chemiluminescenza, secondo la reazione:



L'intensità della radiazione di diseccitazione (convertita in segnale elettrico da un fotomoltiplicatore) è proporzionale alla concentrazione di NO.

L'NO₂ viene poi ridotto ad NO e si misurano gli NO_x totali. La concentrazione di NO₂ viene ottenuta per differenza tra NO_x ed NO. (Le concentrazioni sono misurate in unità volumetriche e gli NO_x sono espressi come NO₂. L'archiviazione dei dati è però effettuata dopo la trasformazione in unità gravimetriche: µg/m³).

⁵ Perché vengono misurati gli idrocarburi totali, THC, e successivamente è utilizzato un catalizzatore, costituito da un riporto di palladio su allumina, che brucia gli idrocarburi non metanici, NMHC, rendendo possibile la misura del solo metano, CH₄. Gli NMHC sono ottenuti per differenza tra THC e CH₄.

L'ubicazione delle quattro stazioni di rilevamento è presentata in fig. 5.1, in cui viene anche indicata la posizione dei due semafori conta-traffico.

La stazione di Parco Bissuola è un mezzo mobile stabilmente collocato nell'omonima area verde a Nord-Est del nucleo centrale di Mestre. Secondo la classificazione del DM 20.05.91, la stazione, per la sua posizione in area non direttamente influenzata da fonti di emissioni significative, corrisponde ad una *stazione di riferimento*, ovvero di tipo A. In essa vengono perciò monitorati sia inquinanti primari che secondari (SO₂, NO, NO₂, NO_x, CO, O₃, THC, NMHC e PTS), nonché i principali parametri meteorologici (VV, DV, Rad, Press, Temp, UR). Secondo quanto stabilito dal DM 15.04.94 (e successive modifiche) il superamento in questa stazione dei limiti di legge per la concentrazione di SO₂, PTS, NO₂, CO, O₃, concorre a determinare *stati di attenzione e di allarme*⁶.

La stazione di Piazzetta Matter è anch'essa un mezzo mobile stabilmente collocato nella zona pedonale a traffico limitato del centro storico di Mestre.

La stazione, essendo di tipo B, cioè situata in un'area ad elevata densità abitativa (DM 20.05.91), concorre a determinare *stati di attenzione e di allarme* limitatamente a tre inquinanti: NO₂, SO₂, PTS (DM 15.04.94 e successive modifiche). I parametri monitorati corrispondono a quelli di Parco Bissuola.

Il rilevatore è posizionato sul lato ovest di Piazzetta Matter (piccola appendice di Piazza Ferretto), a ridosso di un edificio di due piani e a poco più di una decina di metri da un palazzo di altezza maggiore che a Nord-Est chiude la piazzetta; il lato Est di Piazzetta Matter è costituito da un palazzo di due piani, mentre il lato Sud rimane aperto verso Piazza Ferretto. Le *teste di prelievo* degli analizzatori, posizionate sulla sommità del furgoncino, rimangono ad un'altezza inferiore rispetto ai vicini edifici, solo il palo per le misure anemologiche si innalza al di sopra del livello dei due palazzi a Est e a Ovest, rimanendo comunque schermato a Nord dall'edificio di maggiore altezza.

Le stazioni di via Piave e di via Da Verrazzano sono entrambe di tipo C, cioè corrispondenti a zone ad elevato traffico (DM 20.05.91) e sono perciò atte a segnalare situazioni *di attenzione e di allarme* in caso di superamento dei limiti di legge per CO,

⁶ Si ricorda che perché vengano dichiarati gli *stati di attenzione e di allarme* il superamento dei rispettivi livelli deve essere rilevato contemporaneamente nel 50% delle stazioni di specifica tipologia.

PTS e SO₂ (DM 15.04.94 e succ. mod.). I parametri registrati dalle due stazioni sono NO, NO₂, NO_x, CO, O₃ e PTS.

Via Piave, che si allunga in direzione Sud-Nord perpendicolarmente alla stazione ferroviaria, è una delle principali direttrici di penetrazione nell'area centrale di Mestre (CST, 1992). La stazione di monitoraggio è una cabina fissa posizionata all'altezza di Piazzetta Olivotti, un piccolo slargo perimetrato da edifici di modesta altezza (tre piani per le costruzioni a Sud e a Nord, uno solo per quella che affianca la stazione sul lato opposto della strada); non sono dunque ipotizzabili fenomeni di accumulo di inquinanti dovuti ad 'effetti canyon' (Karim e Matsui, 1994; Pfeffer *et al.*, 1995). I valori registrati in questa stazione sono invece presumibilmente influenzati dalla presenza di un semaforo, posto all'incrocio con via Carducci, via Miranese e via Circonvallazione: la breve distanza (inferiore al centinaio di metri) determina il formarsi di code di autoveicoli che ad intermittenza si affiancano alla postazione di rilevamento.

La stazione in via Da Verrazzano è invece collocata proprio nel mezzo di un'aiuola spartitraffico, all'altezza dell'incrocio con via Santa Maria dei Battuti e ai piedi del cavalcavia che sovrappassa la linea ferroviaria Venezia-Trieste. Anche per questa stazione sono da escludersi effetti canyon, gli edifici più vicini sono infatti posti ad una distanza tale da non poter influenzare le dinamiche di trasporto e accumulo degli inquinanti emessi dagli autoveicoli. Tra tutte le stazioni del Comune quella in via Da Verrazzano è l'unica ad essere così direttamente sottoposta a emissioni inquinanti che la raggiungono pressoché da tutti i lati. Il flusso degli autoveicoli è piuttosto scorrevole e le velocità di percorrenza sono sensibilmente elevate.

Per quanto riguarda la meteorologia si è fatto riferimento ai dati dell'**Ente della Zona Industriale di Porto Marghera**.

L'archivio di dati dell'Ente Zona si caratterizza per l'elevato standard di qualità raggiunto, le determinazioni della rete sono infatti mediamente disponibili per il 98% degli interi periodi di osservazione e l'affidabilità degli strumenti installati è garantita da periodiche manutenzioni e tarature.

I parametri rilevati (tab. 5.2) comprendono misure di vento, che si ricavano dai molteplici valori istantanei di velocità v_i e direzione d_i , campionati nell'arco di un'ora. In particolare vengono forniti:

- direzione prevalente del vento (in gradi da Nord), DV^7 ;
- velocità del vento (in m/s), VV^8 ;
- direzione globale del vento (in gradi da Nord), DVV^9 ;
- deviazione standard della direzione prevalente del vento (in gradi), σ .

Per la stima della stabilità atmosferica viene calcolato il parametro CLS , che associa una numerazione progressiva alle classi di stabilità di Pasquill (A=1, B=2, ecc.) ricavate però in funzione dei valori di σ .

Un'altra misura di stabilità è calcolata dai valori del gradiente termico verticale attraverso la differenza delle temperature rilevate a diverse quote e normalizzata a 100 m. In particolare sono disponibili, nella medesima stazione, misure di temperature a 10, 70 e 140 m, per cui si ottengono tre diverse stime del gradiente termico verticale, γ :

$$g = \frac{T_i - T_j}{(h_i - h_j)} \cdot 100 = d(T_i - T_j) \quad (^\circ\text{C}/100 \text{ m})$$

essendo h_i e h_j le quote a cui sono rispettivamente misurate le temperature T_i e T_j .

Gli altri parametri meteorologici misurati dall'Ente Zona sono la radiazione solare globale, Rad , espressa in W/m^2 , l'umidità relativa, UR , espressa come percentuale rispetto all'aria satura, la quantità di pioggia, $Pluv$, in mm e la pressione atmosferica, $Press$, in mbar.

La disponibilità di **dati sui flussi di traffico** permette approcci di tipo *deterministico* e *stocastico* e consente di verificare e stimare l'apporto inquinante fornito dagli autoveicoli.

Purtroppo i dati di traffico registrati dai due semafori posti in via Piave e via Da Verrazzano non sono esaurienti in quanto il conteggio non specifica la tipologia del veicolo ed è relativo ad un solo senso di marcia. Anche restringendo il campo di studio alle due sole stazioni prossime ai semafori conta-traffico, mancano informazioni sul

⁷ Per il calcolo di DV si parte dal grado 0, con un settore di ampiezza iniziale di 30 gradi e si percorre l'intero angolo giro alla ricerca di una quantità di coppie (d_i, v_i) che superi un numero minimo stabilito. Se la ricerca non viene soddisfatta si aumenta di 5 gradi l'ampiezza del settore e si ripete l'operazione. Il settore viene ingrandito fino ad un massimo di 135 gradi. Una volta individuato il settore predominante si pone come direzione prevalente, DV , la direzione associata alla somma vettoriale delle direzioni raccolte all'interno del settore.

⁸ La velocità del vento, VV , è una misura fornita sul settore predominante; essa viene calcolata come la media aritmetica delle velocità v_i appartenenti al dato settore.

⁹ Per la direzione globale del vento, DVV , vengono utilizzati tutti i campioni raccolti sull'intero angolo giro.

traffico nei tratti stradali limitrofi (deficienza non trascurabile data la fitta tessitura che caratterizza la rete stradale mestrina). I dati ottenuti, però, possono fornire una stima del fenomeno ed una loro analisi statistica può evidenziarne le componenti caratteristiche (periodicità, ciclicità, fluttuazioni, ecc.).

Dall'archivio di dati a disposizione si è estratto un sottoinsieme sul quale è stato sviluppato l'approfondimento statistico e modellistico.

L'arco temporale è stato ristretto all'anno solare 1995, per il quale erano disponibili una maggior quantità e varietà di informazioni (dati contemporanei da più stazioni su qualità dell'aria, meteorologia e traffico veicolare).

5.2. Statistiche descrittive

Le statistiche descrittive di base forniscono una prima indicazione sulla struttura dei dati a disposizione.

Nelle tabelle 5.5-5.8 sono riportate le principali statistiche descrittive (numero di *osservazioni valide*, *media* e *deviazione standard*, *mediana*, *valore minimo e massimo*, *skewness*¹⁰ e *kurtosis*¹¹) per i dati di qualità dell'aria, suddivisi in base alle stazioni di appartenenza.

¹⁰ la *skewness* misura il grado di simmetria della distribuzione dei valori: assume valore 0 se c'è simmetria (la massima simmetria è quella presentata dalla distribuzione *Normale* in cui moda, media e mediana coincidono), presenta valori < 0 con asimmetria negativa, cioè quando la moda è spostata verso i valori massimi della distribuzione ed è > 0 se la moda è spostata verso l'estremo inferiore della distribuzione (asimmetria positiva). La *skewness* è calcolata dalla formula:

$$Skewness = \frac{n \cdot \sum (x_i - \bar{x})^3}{[(n-1) \cdot (n-2) \cdot s^3]}$$

dove n è il numero di osservazioni valide e s la deviazione standard.

¹¹ La *kurtosis* misura la concentrazione o dispersione dei dati attorno ad un valore centrale: il valore 0 è tipico di una distribuzione *mesocurtica* come la *Normale*, con valori < 3 la distribuzione è detta *platicurtica* e presenta una forma appiattita con valori maggiormente concentrati nelle code, per *kurtosis* > 3 la distribuzione è *leptocurtica* con picco accentuato dato dalla concentrazione dei dati intorno ad un valore massimo. La *kurtosis* viene calcolata secondo la formula:

$$Kurtosis = \frac{[n \cdot (n+1) \cdot M^4 - 3M^2 \cdot M^2(n-1)]}{[(n-1) \cdot (n-2) \cdot (n-3) \cdot s^4]}$$

dove M^j è il j -esimo momento della distribuzione, $M^j = \sum (x_i - \bar{x})^j$