

IL TRAM DI OPICINA E LA METEOROLOGIA

Fabio Gemiti⁽¹⁾, Fulvio Crisciani⁽²⁾, Fulvio Daris⁽³⁾, Renato R.Colucci⁽⁴⁾

⁽¹⁾Trieste ⁽²⁾CNR Istituto Talassografico di Trieste

⁽³⁾ARPA F.-V.G. Dipartimento provinciale di Trieste ⁽⁴⁾SAG – CAI - Trieste

Riassunto

In questo lavoro vengono presentate le indagini preliminari per la valutazione del profilo verticale della temperatura dell'aria e le correlazioni con le concentrazioni di ossido di carbonio registrate dalla rete di monitoraggio della qualità dell'aria a Trieste.

Introduzione

La conoscenza del profilo verticale della temperatura dell'aria è fondamentale nello studio delle dispersioni degli inquinanti nell'atmosfera che avvengono generalmente nei primi 1000 m di quota entro lo strato limite planetario (PBL). In condizioni di alta pressione e scarsità di venti, tale strato presenta un'evoluzione giornaliera caratteristica, che può essere seguita misurandone in continuo il profilo termico:

- al mattino, a causa della turbolenza provocata dall'irraggiamento solare, si distrugge lo strato stabile notturno, provocato dal raffreddamento dell'aria vicino al suolo, e si forma progressivamente il cosiddetto *strato rimescolato* (aria instabile) che favorisce la dispersione degli inquinanti atmosferici (gradiente di temperatura con aria secca = $9.8^{\circ}\text{C}/\text{km}$, più basso con aria umida);
- alla sera, dopo il calar del sole, questo strato comincia a dissiparsi e si forma in tarda serata e di notte il cosiddetto *strato residuo* (aria neutra, con gradiente di temperatura simile al precedente);
- al di sotto di tale strato, a causa del raffreddamento dell'aria vicino al suolo, si forma lo *strato stabile notturno* in cui i moti turbolenti sono pressochè assenti. Il gradiente di temperatura si annulla e diventa facilmente positivo.

In condizioni anticicloniche, strati stabili prossimi al suolo possono perdurare anche per intere giornate (fenomeni di inversione termica) con accumulo degli inquinanti nei primi 50-300 m.

In definitiva la determinazione del profilo di temperatura, assieme alla conoscenza delle grandezze meteorologiche e dell'irraggiamento solare al suolo, permette di stimare la durata degli episodi acuti di inquinamento.

La misura del profilo verticale di temperatura

Questa misura viene realizzata normalmente con apposite sonde lanciate su pal-

lone presso aeroporti o stazioni di ricerca. Sono stati sviluppati anche sistemi alternativi (radiometri a microonde), che sono però molto costosi. Sistemi semplificati possono essere costituiti da misurazioni di temperatura dell'aria effettuate da due o più stazioni meteo a differenti quote (Vincentini e Ciacchini, 1996) o da sonde di temperatura applicate su veicoli pubblici che collegano punti situati ad altimetrie diverse (Del Guasta, 1998).

La misura condotta con tali sistemi può tuttavia differire in modo sostanziale da quella reale, rilevata sulla verticale del sito di interesse, a causa di fenomeni connessi a microclimi legati all'esposizione ai raggi solari, alla natura e copertura del terreno e ad altre cause. Ovviamente il sistema mobile è di gran lunga preferibile a quello statico, in quanto è in grado di fornire dettagliatamente la situazione termometrica dell'aria per tutto il campo intermedio. Un dispositivo con data logger e tre sensori (temperatura, pressione e umidità) è stato installato su di un autobus della linea Firenze-Pratolino (dislivello 440 m) e raccoglie più volte al giorno, dal primo mattino e fino alle 24, il profilo di temperatura (Del Guasta, 1998).

Le indagini preliminari condotte a Trieste

Come primo approccio al problema si è deciso di raccogliere ed esaminare i dati di temperatura dell'aria di due stazioni meteo situate nel Comune di Trieste: quella del CNR di Viale Romolo Gessi a Trieste (quota m 9) e quella della Commissione Grotte E. Boegan a Borgo Grotta Gigante, sul Carso Triestino (quota m 275).

Inizialmente sono state prese in considerazione le differenze tra le temperature medie giornaliere registrate nell'anno 1999 nei due siti ($Dt = \text{Temp. a Borgo Grotta} - \text{Temp. a Trieste}$) e si è cercato di correlarle con alcuni dati relativi alla stazione meteo di Trieste (radiazione solare, pressione atmosferica, ventosità).

Nella figura 1 è riportato, per il mese di gennaio 1999, l'andamento dei valori medi giornalieri. Si osservano due episodi di elevate pressioni, con bassa ventosità ed elevata radiazione solare (per il periodo) cui corrisponde un annullamento delle differenze di temperatura e addirittura, nel periodo 19 - 25 gennaio, temperature medie giornaliere più elevate a Borgo Grotta Gigante che non a Trieste.

Alla luce di questi primi risultati abbastanza promettenti si è deciso di coinvolgere nello studio anche il Dipartimento provinciale dell'ARPA di Trieste, che gestisce i dati relativi alla rete di monitoraggio della qualità dell'aria a Trieste. Un tanto per individuare possibili correlazioni tra Dt e inquinamento dell'aria, in particolare nel periodo più delicato dell'anno (novembre-febbraio), quando minore è l'irraggiamento solare e quindi minore è la dispersione in aria degli inquinanti. In particolare si è deciso di concentrare l'attenzione sull'ossido di carbonio (CO), inquinante derivato dal traffico veicolare, facilmente misurabile e rilevato da quasi tutte le centraline situate nel centro cittadino. Sono stati raccolti i dati orari di CO relativi a 5 centraline ed è

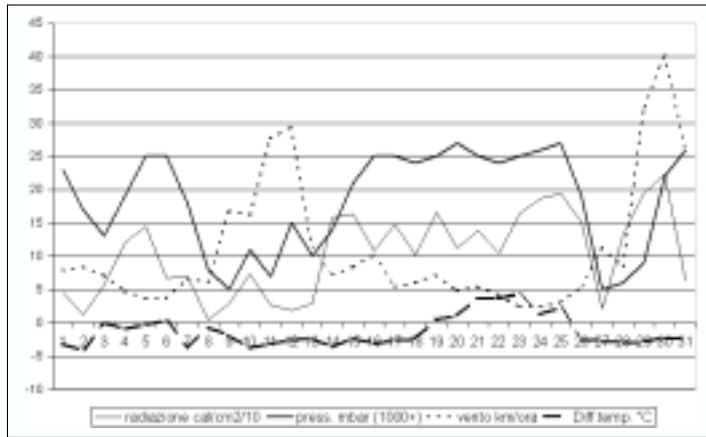


Figura 1. Differenza di temperatura tra B.go Grotta Gigante e Trieste e andamento di alcuni parametri meteorologici nel mese di gennaio 1999.

stata presa in considerazione la centralina di via Battisti, considerata la più rappresentativa per la continuità dei dati registrati nel periodo in esame. Contemporaneamente si è fatta una raccolta dei dati orari di temperatura rilevati a Borgo Grotta Gigante e Trieste nello stesso periodo (novembre 1997 - febbraio 1998).

Per quanto riguarda la parte meteo è stato riportato in grafico l'andamento delle Dt in alcune giornate significative del periodo preso in considerazione. Dall'esame degli 8 diagrammi nelle figure 2a-2h si rileva quanto segue:

- Durante le ore notturne la temperatura a Borgo Grotta è sempre inferiore di 3 - 4 gradi (ma anche di più in certi casi) a quella di Trieste.
- Di giorno, se vi è copertura nuvolosa (bassa radiazione solare), la Dt si mantiene abbastanza costante e simile alla notte (vedi 2d e 2e).
- Se invece vi è sufficiente radiazione solare la Dt tende ad annullarsi ed anzi risulta essere positiva fino al tramonto.
- La presenza del vento riduce in modo molto evidente l'effetto della radiazione solare sulla Dt (vedi fig. 2g); la scarsa ventilazione favorisce invece valori positivi della Dt (vedi fig. 2h).

La correlazione dei dati meteo delle 24 ore con la concentrazione del CO è riportata, per quattro giornate significative, nelle figure 3a - 3d. Dall'esame dei grafici si rileva in particolare:

- Con compatta copertura nuvolosa l'inquinamento durante le ore del giorno risulta costantemente elevato o addirittura aumenta fino alle ore 21 (vedi fig. 3a e fig. 3c).
- Con elevata radiazione solare, invece, la concentrazione del CO, durante le ore centrali della giornata, subisce una drastica riduzione in quanto aumentano i fenomeni di dispersione legati all'instabilità dell'aria (vedi fig. 3b e fig. 3d).
- I valori positivi della Dt in questo periodo corrispondono alla riduzione del CO, però non ne sono sicuramente la causa. Indubbiamente svolgono un ruolo im-

portante i processi locali di riscaldamento dell'aria a immediato contatto con il suolo e l'assenza di dati del profilo termometrico dell'aria tra le due stazioni rende problematica l'interpretazione di questi fenomeni.

La correlazione tra inquinamento dell'aria da CO e la differenza di temperatura tra le due stazioni meteo è stata estesa all'intero periodo di osservazione. I grafici relativi ai due parametri esaminati, riportati in figura 4, mostrano in certi casi notevoli similitudini: in particolare si evidenzia il picco di CO nel mese di febbraio 1998,

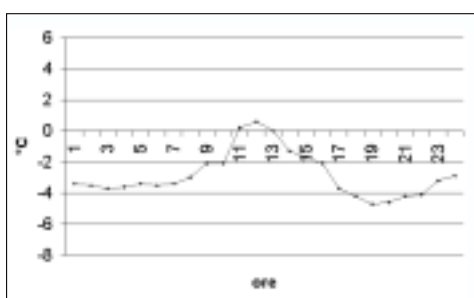


Figura 2a. Differenza di temperatura 1 novembre 1997.

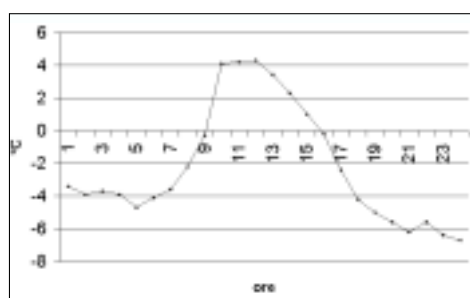


Figura 2b. Differenza di temperatura 2 novembre 1997.

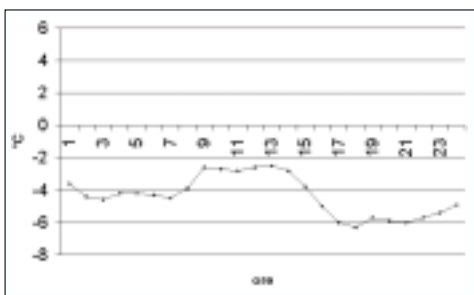


Figura 2c. Differenza di temperatura 4 novembre 1997.

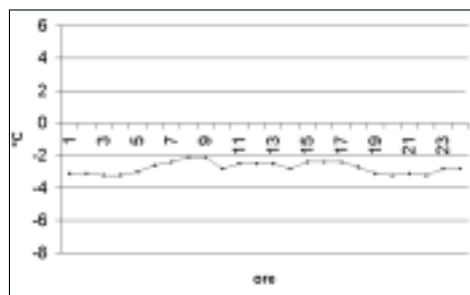


Figura 2d. Differenza di temperatura 7 novembre 1997.

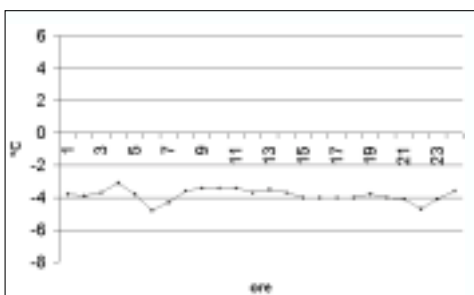


Figura 2e. Differenza di temperatura 23 novembre 1997.

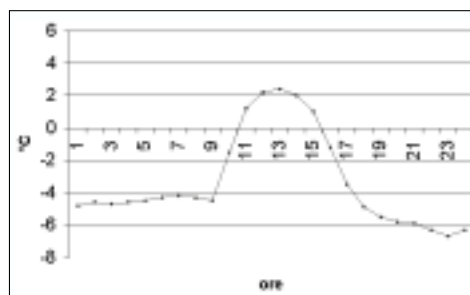


Figura 2f. Differenza di temperatura 28 dicembre 1997.

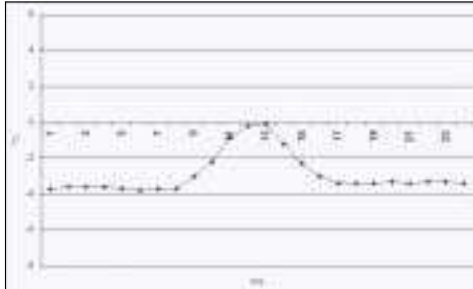


Figura 2g. Differenza di temperatura 26 gennaio 1997.

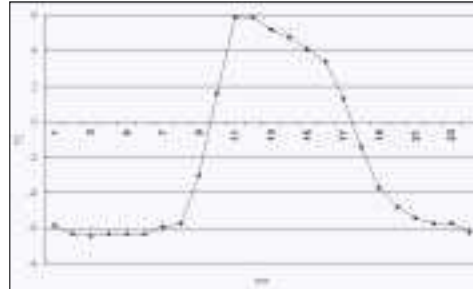


Figura 2h. Differenza di temperatura 11 febbraio 1997.

corrispondente ad un'area di alte pressioni che ha insistito per più giorni sulla nostra zona. Non sempre vi è una concordanza dei picchi; oltre all'irradiazione solare l'altro fattore che determina la dispersione dell'inquinamento è costituito dal vento. Per tutti i valori medi giornalieri rilevati nel periodo esaminato sono state riportate in grafico (fig. 5a-5d) le correlazioni CO - Dt : la dispersione dei punti è notevole, la situazione è migliore solo nel mese di febbraio 1998 caratterizzato da un regime

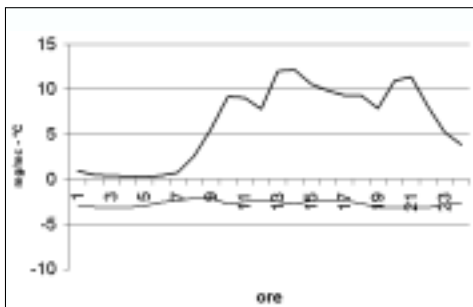


Figura 3a. Andamento della CO (linea grossa) e differenza di temperatura 07.11.97.

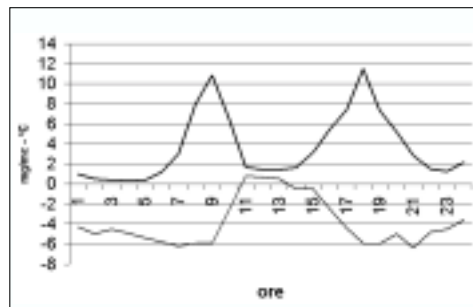


Figura 3b. Andamento della CO (linea grossa) e differenza di temperatura 18.11.97.

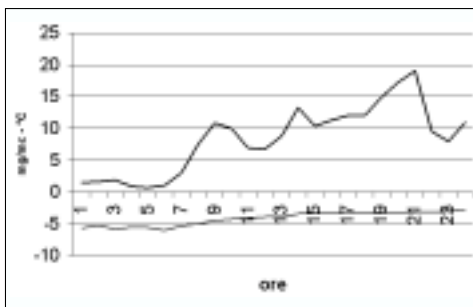


Figura 3c. Andamento della CO (linea grossa) e differenza di temperatura 12.12.97.

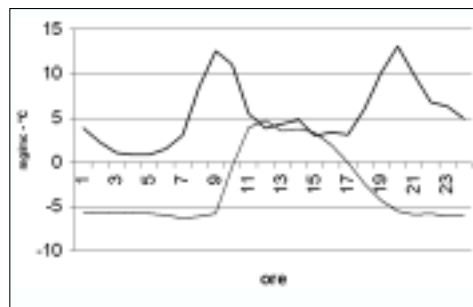


Figura 3d. Andamento della CO (linea grossa) e differenza di temperatura 10.02.98.

persistente di alte pressioni. Un affinamento dell'analisi potrebbe essere ottenuto distinguendo le giornate di bassa ventilazione dalle altre.

Proposta di progetto

In definitiva la correlazione tra i dati di CO rilevati nel centro cittadino e le differenze di temperatura riscontrate tra le due stazioni meteo è evidente solo in situazioni con persistenza di aree anticicloniche e possibili inversioni termiche. I dati raccolti sono comunque interessanti e meritevoli di approfondimento, però evidenziano che questo approccio, cioè il confronto delle temperature dell'aria a due quote diverse, è un sistema troppo grossolano ai fini della valutazione del profilo di temperatura dell'aria. Per tale motivo si è deciso di spostare la ricerca sull'altra alternativa, cioè l'utilizzo di un mezzo mobile, che percorra periodicamente il tratto città – zona carsica e sia provvisto di un sistema di acquisizione di dati di temperatura dell'aria. L'idea è quella di un possibile utilizzo del tram di Opicina che tra le ore 7 e le 20 percorre 2 volte in un'ora (una vettura, andata e ritorno) il tratto che separa la città dall'altopiano carsico (oltre 300 metri di dislivello, come risulta dal profilo della fig. 6).

Lo svantaggio di un tale sistema potrebbe essere costituito dal fatto che verrebbero a mancare le informazioni sul profilo verticale dell'aria nel periodo notturno; i vantaggi sono invece molti:

- affidabilità del mezzo;
- percorso fisso su sede propria, non soggetto al traffico veicolare;
- nei primi 150 metri di dislivello – cioè la zona più critica per le inversioni termiche – il percorso è più ripido e nel contempo vi è un modesto spostamento orizzontale;
- facilità di installazione dei sensori e dei dispositivi di trasmissione dati;
- assenza di perturbazioni termiche dovute alla presenza di motori endotermici.

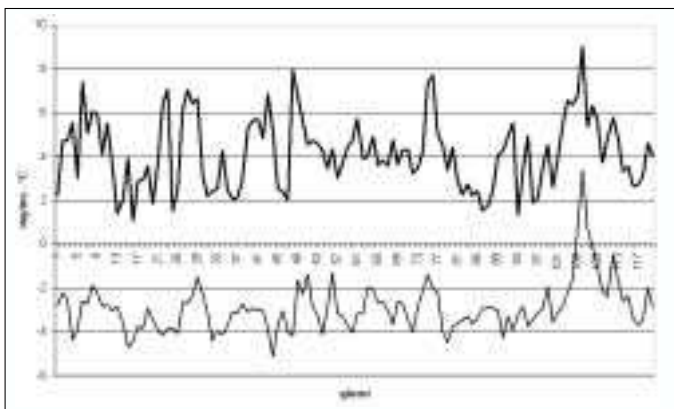


Figura 4. Andamento dei valori medi giornalieri di CO (linea grossa) e differenza di temperatura nel periodo nov. 97 - feb. 98.

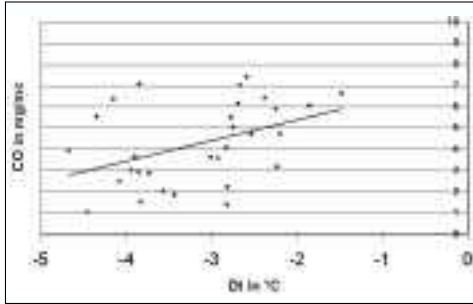


Figura 5a. Correlazione tra la CO e differenza di temperatura nel mese di nov. 97.

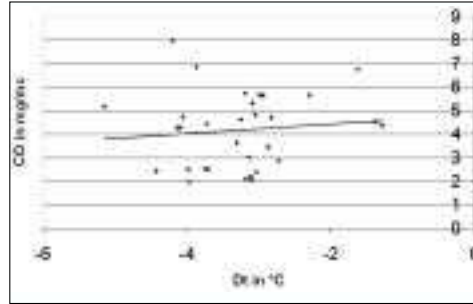


Figura 5b. Correlazione tra la CO e differenza di temperatura nel mese di dic. 97.

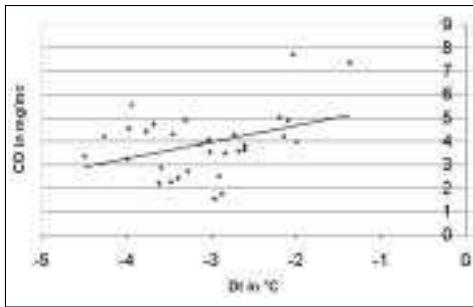


Figura 5c. Correlazione tra la CO e differenza di temperatura nel mese di gen. 98.

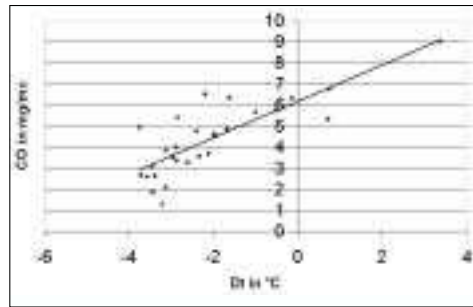
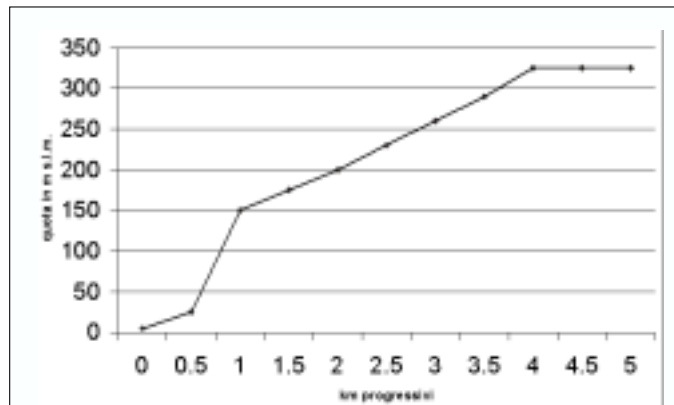


Figura 5d. Correlazione tra la CO e differenza di temperatura nel mese di feb. 98.

Prima di prendere i necessari contatti con la “Trieste Trasporti”, che gestisce la rete di trasporti pubblici della città, e definire le modalità di raccolta e trasmissione dei dati, si è ritenuto opportuno svolgere un’indagine orientativa mediante un ter-

Figura 6. Profilo altimetrico del tracciato del tram di Opicina.



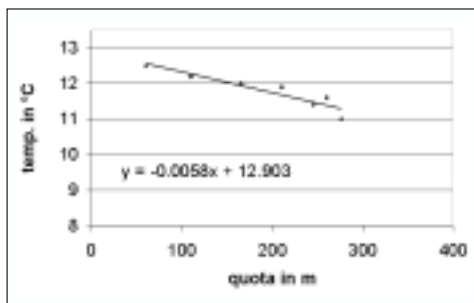


Figura 7a.

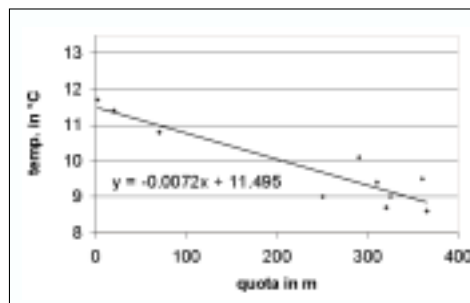


Figura 7b.

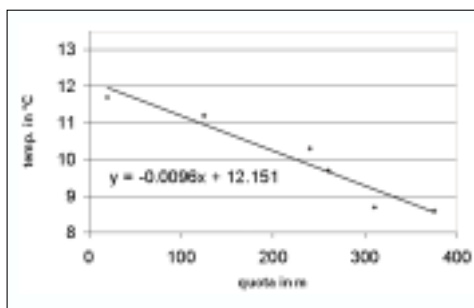


Figura 7c.

mometro digitale di temperatura, con sonda montata esternamente ad un'autovettura privata. Con tale dispositivo, sensibile a 0,1 °C e con la precisione di +/- 0,02 °C, sono stati effettuati rilievi di temperatura dell'aria lungo la viabilità ordinaria che unisce Trieste alla zona carsica.

I risultati, riportati nei grafici delle figure 7a-7c, confermano che il sistema su mezzo mobile, ancorchè non installato a regola d'arte (non protetto dalla radiazione solare e dalle intemperie), fornisce valori più che accettabili nelle giornate caratterizzate da cielo coperto. Le misure, comunque, vanno prese con l'auto in movimento e tale procedura dovrà essere adottata anche nel caso di una installazione sul tram. Sarà inoltre opportuno verificare, sempre con lo stesso dispositivo, il profilo di temperatura lungo il percorso tranviario al fine di evidenziare le zone ove si ha un riscaldamento non uniforme del suolo (isole di calore, zone eccessivamente ombreggiate, ecc.).

Bibliografia

- M. VINCENTINI E G. CIACCHINI (1996) – Impiego dei dati di temperatura dell'aria a due diverse quote per la valutazione di episodi di inquinamento atmosferico – *Inquinamento*, n. 1, pp. 41-45.
- M. DEL GUASTA (1998) – Dispositivo su autoveicolo per la misura approssimata del profilo verticale di temperatura atmosferica nello strato limite di Firenze – *Inquinamento*, n. 1, pp. 40-45.