

**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA**

FACOLTÀ DI SCIENZE STATISTICHE

CORSO DI LAUREA TRIENNALE IN  
STATISTICA E TECNOLOGIE INFORMATICHE



TESI DI LAUREA

**CITY SENSING: NUOVI STRUMENTI PER IL  
MONITORAGGIO AMBIENTALE**

RELATORE: DOTT. LIVIO FINOS

CORRELATORE: DOTT. LUCA MENINI

LAUREANDO: NICCOLO' RAZZARA  
Matricola n° 539188/STI

ANNO ACCADEMICO 2010-2011



# Indice

<b>1</b>	<b>Introduzione</b>	<b>3</b>
1.1	City Sensing . . . . .	3
1.2	Progetto Area 51 . . . . .	4
1.3	I Mems . . . . .	6
1.4	Stazione “Fissa“ di Feltre (Belluno) . . . . .	7
1.5	Oggetto studio della tesi . . . . .	14
<b>2</b>	<b>Scheda</b>	<b>15</b>
2.1	Ossidi di Carbonio ( $CO_x$ ) . . . . .	17
2.2	Ossidi di Azoto ( $NO_x$ ) . . . . .	22
2.3	Noise . . . . .	28
<b>3</b>	<b>Gps</b>	<b>37</b>
3.1	Latitudine . . . . .	38
3.2	Longitudine . . . . .	41
<b>4</b>	<b>Taratura Microfono</b>	<b>45</b>
<b>5</b>	<b>Stazione Fissa</b>	<b>51</b>
5.1	Monossido di Carbonio ( $CO$ ) . . . . .	51
5.2	Biossido di Azoto ( $NO_2$ ) . . . . .	55

5.3	Ozono ( $O_3$ ) . . . . .	61
5.4	Particolato ( $PM_{10}$ ) . . . . .	65
	<b>Bibliografia</b>	<b>73</b>



# Capitolo 1

## Introduzione

### 1.1 City Sensing

Negli ultimi anni, recenti esperienze di ricerca a livello internazionale di impiego di sensoristica diffusa e rilevamento immersivo sul territorio hanno individuato un settore di impiego di tecnologie per il territorio stesso piuttosto ben caratterizzato che si sta delineando parallelamente a quello piú consolidato del Remote Sensing (Tele-Rilevamento) e che si potrebbe definire City Sensing.

Il City Sensing è contraddistinto dall'uso di dispositivi tecnologici di rilevamento di piccola dimensione, portatili, che possono essere facilmente diffusi sul territorio mantenendoli collegati fra loro in modo da analizzare dall'interno contesti complessi come quelli urbani.

Un secondo elemento di notevole importanza è dato dalla dimensione del tempo reale. Lo spazio urbano (e non solo) è divenuto uno spazio interconnesso e, pertanto, i flussi di dati provenienti da un'enorme quantità di dispositivi tecnologici possono essere aggregati istantaneamente e organizzati in un database geografico fornendo rappresentazioni in tempo reale.

Il rilevamento immersivo rappresenta pertanto una nuova e stimolante opportunità di indagine sul territorio e sull'ambiente che permette di integrare le conoscenze derivate dai dati telerilevati e da giacimenti informativi, ed è pertanto indispensabile per gestire in modo corretto territorio e ambiente. L'area su cui è stata effettuata quest'analisi è stata nominata "Area 51". (Progetto "Area 51 Feltre" N. Iandelli pag.3)[1].

## 1.2 Progetto Area 51

"Area 51" è un progetto di ricerca di IUAV a cui ARPAV collabora e costituisce l'ambito specifico sul quale viene effettuata una serie di test nel territorio di Feltre e sul quale si sviluppa un sistema integrato di conoscenze aggiornato e sistematico. L'area comprende una zona montana di elevato valore paesaggistico, una zona urbanizzata e arterie stradali a traffico intenso ed è stata scelta proprio perché rappresentativa delle problematiche che hanno creato criticità in termini di gestione delle risorse naturali infrastrutturali.

Il presupposto alla base del progetto di "sensorizzazione" del territorio si impernia sul concetto di quadro conoscitivo partecipato e condiviso a supporto di processi decisionali ma anche sulla necessità di rendere disponibili le risorse informative acquisite, sia con procedure tradizionali sia con sistemi innovativi, ai soggetti competenti tenendo conto della domanda informativa specifica.

In un'area sono installati una rete di sensori per acquisire diversi parametri caratteristici delle condizioni ambientali e delle modalità di deflusso del traffico.

La peculiarità di questa rete di sensori consiste nella varietà degli aspetti che essa indaga grazie alle diverse tipologie di sensori impiegate e alla ete-

rogeneità delle aree che essa comprende, nella ridondanza dei dati acquisiti attraverso il continuo monitoraggio.

I flussi dei dati provenienti dall'area test vengono integrati con quelli provenienti dai giacimenti informativi presenti sul territorio per permettere analisi, valutazioni e correlazioni che evidenziano il valore dell'informazione nei processi di governance del territorio. (Progetto "Area 51 Feltre" N. Iandelli pag.15)[1]

Un ruolo di notevole importanza per quanto riguarda il monitoraggio dell'inquinamento ambientale è dato dall'Agenzia Regionale per la Protezione e Prevenzione Ambientale del Veneto (ARPAV) poiché questa gestisce stazioni fisse che producono dati ufficiali in genere, in particolare quelli dell'inquinamento atmosferico. Le attività svolte dall'ARPAV sono, in estrema sintesi:

- prevenzione e controllo ambientale;
- previsione, informazione ed elaborazione meteo climatica e radarmeteorologica;
- organizzazione e gestione del sistema informativo regionale per il monitoraggio ambientale ed epidemiologico in relazione ai fattori ambientali;
- promozione di attività di educazione ambientale ed informazione ambientale;
- fornitura di supporto tecnico-scientifico per la valutazione di impatto ambientale e per la determinazione del danno ambientale;
- promozione di iniziative di ricerca di base ed applicata sulle forme di tutela ambientale.

### 1.3 I Mems

La realizzazione e la diffusione a costi sempre piú bassi di sensori di piccole dimensioni ha permesso il diffondersi di quelli che vengono definiti sensori “indossabili“. Questi micro-sensori sono in grado di misurare diverse grandezze e sono basati sulla tecnologia MEMS (Micro-Electro-Mechanical System). I MEMS sono composti da diversi strumenti integrati (Meccanici, Elettrici ed Elettronici), strumenti evoluti di dimensioni ridottissime. L’impiego dei MEMS permette di creare una struttura complessa con sensori dedicati che interagiscono con chip di silicio. Il sistema è quindi in grado di subire variazioni dall’ambiente traducendo di fatto le grandezze fisiche misurate in impulsi elettrici. I MEMS hanno al loro interno: accelerometro a tre assi, sensore ad ultrasuoni, stazione inerziale (IMU), sensori di gas (IUAV giornale dell’università pag.5)[3].

Nella mia tesi ho preso in esame un MEMS, il Sensepod. Tale dispositivo ha le seguenti caratteristiche tecniche :

- Gas: e2V Metal Oxide Semi-conductor sensors
- Humidity/Temperature: Sensirion
- UV: SG Lux
- Noise: 30 - 140 db
- GPS: Mediatek chip with patch antenna
- Accelerometri 3 assiali e giroscopi

Comunicazione:

- Bluetooth Class 2 radio with range up to 30 m in free air

- processor Texas Instruments MSP430
- 3.7 V Lithium ion battery rechargeable via mini USB connector
- 2Gb micro SD Card

Dimensione : 50x80x20 mm (W x L x H) Weight: 66g

## 1.4 Stazione “Fissa“ di Feltre (Belluno)

A.R.P.A.V. effettua il controllo della qualità dell'aria nel Comune di Feltre attraverso una centralina di monitoraggio posizionata in via Colombo, al confine con lo spigolo nord-est del piazzale dell'istituto Forcellini. La stazione, di background suburbano, è situata a ridosso del quartiere Boscariz.

La stazione fissa rileva i seguenti inquinanti:

- Anidride solforosa ( $mg/m^3$ )
- Polveri fini (PM10) ( $\mu g/m^3$ )
- Monossido di carbonio ( $mg/m^3$ )
- Ozono ( $\mu g/m^3$ )
- Ossidi d'azoto, in particolare biossido d'azoto ( $\mu g/m^3$ )

Per gli inquinanti tradizionali monitorati le tecniche di misura corrispondono alle specifiche dettate dalla normativa italiana. Tali sistemi analitici si riconducono a:

- Analisi per il controllo dell'anidride solforosa: fluorescenza pulsante;
- Analisi per il controllo del monossido di carbonio: assorbimento I.R.;

- Analisi per il controllo dell'ozono: assorbimento U.V.;
- Analisi per il controllo degli ossidi d'azoto, in particolare del biossido d'azoto: emissione a chemiluminescenza;
- Analisi per il controllo delle polveri fini (PM10): determinazione per assorbimento  $\beta$  delle polveri su filtri in nitrato di cellulosa previo frazionamento su testa di prelievo certificata secondo il metodo CEN 12341;
- Analisi per il controllo dei composti organici in particolare Benzene toluene xileni: campionamento di 24 ore su fiale di carbone attivo, successivo desorbimento termico e analisi gas-cromatografica eseguita presso il laboratorio del DAP;
- Analisi per il controllo degli IPA: estrazione dai filtri con solvente (ASE) e analisi GC-MSD SIN (Single Ion Monitoring);
- Analisi per il controllo dei metalli pesanti: mineralizzazione dei filtri in microonde e analisi in ICP - OTTICO (Rapporto sulla qualità dell'aria per il comune di Feltre: anno 2009)[2].

Gli inquinanti ritenuti di maggior interesse per questo studio sul monitoraggio dell'aria sono :

### **Monossido di Carbonio (CO)**

Il monossido di carbonio (CO) è un gas incolore, inodore ed insapore prodotto dai processi di combustione incompleta di materiali contenenti carbonio. Il CO emesso dai veicoli subisce nell'atmosfera poche reazioni, essendo notevolmente stabile ed avendo un tempo di permanenza di quattro mesi circa. La sua concentrazione decresce progressivamente all'aumentare della

distanza dalle sorgenti di emissione, cioè principalmente dalle strade adibite a circolazione autoveicolare.

Le fonti più importanti di CO sono il traffico motorizzato, gli insediamenti produttivi e le abitazioni. La sua produzione varia in relazione al tipo di veicolo, essendo maggiore nei motori a benzina rispetto ai diesel che funzionano con una maggiore quantità di aria, realizzando così una combustione più completa. La produzione di questo gas dipende inoltre dal regime del motore, risultando maggiore in avviamento, in decelerazione ed al minimo, mentre è minore a velocità di crociera. Nel traffico urbano quindi la quantità di CO prodotta dai veicoli è relativamente elevata a causa delle frequenti decelerazioni ed accelerazioni, nonché dalle soste con il motore al minimo. La concentrazione di CO nei gas di scarico è inoltre influenzata dal sistema di alimentazione del motore adottato, dalla sua regolazione e dalla presenza o meno dei dispositivi di limitazione delle emissioni. Il progressivo rinnovo del parco autoveicolare ed i provvedimenti di fluidificazione del traffico hanno portato, a parità di veicoli circolanti, ad una riduzione delle emissioni (Rapporto sulla qualità dell'aria per il comune di Feltre: anno 2009)[2].

### **Biossido di Azoto (NO<sub>2</sub>)**

Pur essendo presenti in atmosfera diverse specie di ossidi di azoto, per l'inquinamento dell'aria si fa riferimento principalmente al monossido di azoto (NO), al biossido (NO<sub>2</sub>) ed alla loro somma pesata.

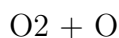
La principale fonte antropogenica di ossidi di azoto è la combustione ad alta temperatura, come quella dei motori dei veicoli: l'elevata temperatura che si origina durante lo scoppio provoca la reazione fra l'azoto dell'aria e l'ossigeno formando monossido di azoto.

La quantità prodotta cresce con la temperatura di combustione e con la velocità di raffreddamento dei gas prodotti, che impedisce la decomposizione

in azoto ed ossigeno. Le miscele “ricche“, cioè con poca aria, danno luogo ad emissioni con limitate concentrazioni di monossido di azoto a causa della bassa temperatura raggiunta nella camera di combustione, ma originano elevate emissioni di idrocarburi e monossido di carbonio per effetto della combustione incompleta. Miscele “povere“, cioè con elevata quantità di aria, determinano basse concentrazioni di NO nelle emissioni, ma impediscono una buona resa del motore a causa dell’eccesso di aria che raffredda la camera di combustione. Quando i fumi vengono mescolati con aria allo scarico si forma una significativa quantità di biossido di azoto per ossidazione del monossido ad opera dell’ossigeno. Altre importanti fonti di ossidi di azoto sono gli insediamenti produttivi, gli impianti domestici e le pratiche agricole che utilizzano fertilizzanti azotati a causa dei processi ossidativi dell’ammoniaca (Rapporto sulla qualità dell’aria per il comune di Feltre: anno 2009)[2].

### **Ozono (O<sub>3</sub>)**

L’ozono è un gas irritante di colore bluastrò, costituito da molecole instabili formate da tre atomi di ossigeno; queste molecole si scindono facilmente liberando ossigeno molecolare (O<sub>2</sub>) ed un atomo di ossigeno estremamente reattivo



Per queste sue caratteristiche l’ozono è quindi un energico ossidante in grado di demolire sia materiali organici che inorganici.

Nei centri urbani gli inquinanti coinvolti nella produzione di ozono derivano principalmente dal traffico veicolare. Nella complessa serie di reazioni coinvolgenti NOX e composti organici volatili, i vari COV hanno effetti differenti; tra i più reattivi vanno ricordati il toluene, l’etene, il propene e l’isoprene. Dopo l’emissione i precursori si disperdono nell’ambiente in maniera



variabile a seconda delle condizioni atmosferiche. Affinché dai precursori, con l'azione della radiazione solare, si formi ozono in quantità apprezzabili, occorre un certo periodo di tempo che può variare da poche ore a giorni. Questo fa sì che le concentrazioni di O<sub>3</sub> in un dato luogo non siano linearmente correlate alle quantità di precursori emessi nella zona considerata. Inoltre, visto il tempo occorrente per la formazione di ozono, le masse d'aria contenenti O<sub>3</sub>, COV ed NOX possono percorrere notevoli distanze, anche centinaia di chilometri, determinando effetti in aree diverse da quelle di produzione. Da ciò deriva che il problema dell'inquinamento da ozono non può essere valutato strettamente su base locale, ma deve essere considerato su ampia scala.

Le concentrazioni di ozono dipendono quindi notevolmente dalle condizioni atmosferiche; le reazioni che portano alla sua formazione sono reazioni fotochimiche e quindi le concentrazioni dell'inquinante aumentano con il crescere della radiazione solare, mentre diminuiscono con l'aumentare della nuvolosità. La conseguenza è che i valori massimi di concentrazione di ozono si registrano nel tardo pomeriggio estivo (Rapporto sulla qualità dell'aria per il comune di Feltre: anno 2009)[2].

### **Particolato PM10**

Materiale particolato (PM) è il termine usato per indicare presenze solide o di aerosol in atmosfera, generalmente formate da agglomerati di diverse dimensioni, composizione chimica e proprietà, derivanti sia da fonti antropiche che naturali. Le differenti classi dimensionali conferiscono alle particelle caratteristiche fisiche e geometriche assai varie. Le polveri PM10 rappresentano il particolato che ha un diametro inferiore a 10  $\mu$  m, mentre le PM2,5, che costituiscono in genere circa il 60-80 % delle PM10, rappresentano il particolato che ha un diametro inferiore a 2,5  $\mu$ m.

Vengono dette polveri inalabili quelle in grado di penetrare nel tratto superiore dell'apparato respiratorio dal naso alla laringe.

Parte delle particelle che costituiscono le polveri atmosferiche è emessa come tale da diverse sorgenti naturali ed antropiche (particelle primarie); parte invece deriva da una serie di reazioni chimiche e fisiche che avvengono nell'atmosfera (particelle secondarie). L'abbattimento e/o l'allontanamento delle polveri è legato in gran parte alle meteorologia. Pioggia e neve abbattano le particelle, il vento le sposta anche sollevandole, mentre le dinamiche verticali connesse ai profili termici e/o eolici le allontanano.

Le più importanti sorgenti naturali sono così individuate:

- incendi boschivi
- polveri al suolo risollevate e trasportate dal vento
- aerosol biogenico (spore, pollini, frammenti vegetali, ecc.)
- emissioni vulcaniche
- aerosol marino

Le più rilevanti sorgenti antropiche sono:

- processi di combustione di legno, derivati del petrolio, residui agricoli
- missioni prodotte in vario modo dal traffico veicolare (emissioni dei gas di scarico, usura dei pneumatici, dei freni e del manto stradale)
- processi industriali
- emissioni prodotte da altri macchinari e veicoli (mezzi di cantiere e agricoli, aeroplani, treni, ecc.).

Una volta emesse, le polveri di diametro di circa  $10\ \mu\text{m}$  possono rimanere in sospensione nell'aria per circa dodici ore, mentre le particelle a diametro sottile, ad esempio  $1\ \mu\text{m}$ , possono rimanere in circolazione per circa un mese. La frazione fine delle polveri nei centri urbani è prodotta principalmente da fenomeni di combustione derivanti dal traffico veicolare e dagli impianti di riscaldamento.

Il particolato emesso dai camini di altezza elevata può essere trasportato dagli agenti atmosferici anche a grandi distanze. Per questo motivo parte dell'inquinamento di fondo riscontrato in una determinata città può provenire da una fonte situata anche lontana dal centro urbano. Nei centri urbani l'inquinamento da polveri fini, che sono le più pericolose per la salute, è essenzialmente dovuto al traffico veicolare ed al riscaldamento domestico. Le dimensioni delle particelle in sospensione rappresentano il parametro principale che caratterizza il comportamento di un aerosol. Dato che l'apparato respiratorio è come un canale che si ramifica dal punto di inalazione naso o bocca, sino agli alveoli con diametro sempre decrescente, si può immaginare che le particelle di dimensioni maggiori vengono trattenute nei primi stadi, mentre quelle sottili penetrano sino agli alveoli. Il rischio determinato dalle particelle è dovuto alla deposizione che avviene lungo tutto l'apparato respiratorio, dal naso agli alveoli.

L'impatto si ha quando la velocità delle particelle si annulla per effetto delle forze di resistenza inerziale alla velocità di trascinamento dell'aria, che decresce dal naso sino agli alveoli. Questo significa che procedendo dal naso o dalla bocca attraverso il tratto tracheo-bronchiale sino agli alveoli, diminuisce il diametro delle particelle che penetrano e si depositano (Rapporto sulla qualità dell'aria per il comune di Feltre: anno 2009)[2].

## 1.5 Oggetto studio della tesi

L'oggetto di studio della tesi è frutto dello stage svolto nel periodo Ottobre 2010 Gennaio 2011 presso l'ARPAV (Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto). Il mio compito sarà quello di verificare la qualità dei dati prodotti dal Sensepod quali l'inquinamento (COx, NOx, noise) e quelli relativi al GPS (latitudine, longitudine, quota) attraverso delle analisi statistiche. Per il raggiungimento di tale risultato è stato compilato un diario in cui sono stati riportati il meteo, l'ambiente e la quantità di rumore che si percepiva. Fatto questo, verrà affiancata alla matrice dei dati che il Sensepod produce in automatico queste variabili e, attraverso lo studio di modelli lineari opportunamente costruiti, si cercherà di capire se il Sensepod produce dati attendibili, se potrà essere indossato senza alcuna precauzione o se bisognerà affiancare ai suoi dati quelli citati nel mio diario. L'ultimo argomento che verrà affrontato sarà l'analisi dei dati relativi alla stazione fissa di Feltre: si aggiungerà una variabile lineare che sarà il trend e, con le variabili temporali già presenti nel dataset, si cercherà di capire l'andamento degli inquinanti in questi ultimi anni.

## Capitolo 2

### Scheda

In questa sezione verrà trattato ciò che ci interessa del Sensepod: si vuole capire se è necessario affiancare una scheda ai dati da esso rilevati oppure se è sufficiente indossarlo senza alcuna precauzione aggiuntiva. Quando ci è stato consegnato, si è subito costruita un'eventuale scheda tenendo conto delle variabili che maggiormente potevano incidere sulla stima dei dati: in primis il meteo in quanto ci si aspettava una diversa concentrazione di inquinanti nell'aria tra un giorno di pioggia e un giorno di sole. Questa variabile poteva inoltre incidere anche sul GPS: infatti questi rilevatori in giornate di meteo particolarmente avverso hanno una qualità del segnale disturbata compromettendo la precisione. La seconda variabile è l'ambiente in quanto si ritiene di trovare una quantità diversa di inquinante tra l'ufficio Arpav e la strada poiché all'interno degli edifici i rilevatori GPS non sono precisi. L'ultima variabile d'interesse è il rumore percepito: questa, che era stata fatta per avere un ulteriore riscontro sulla variabile rilevata dal nostro Sensepod per l'inquinamento acustico, si è poi rilevata interessante in quanto può far capire se ci si trovia in una strada più trafficata e, quindi, più rumorosa rispetto ad un'altra.

Si osservi più nel dettaglio come sono state costituite queste variabili: la variabile meteo è stata divisa in sereno, poco nuvoloso, nuvoloso, pioggia per i motivi sopra esposti; si voleva vedere inoltre se il GPS veniva influenzato dalle diverse condizioni. La variabile ambiente è stata divisa in: casa, auto, autobus, aperto. Questa divisione è stata fatta pensando di trovare una concentrazione di inquinanti diversa tra una strada e una casa, tra un autobus, in cui l'aria esterna poteva entrare non solo dai finestrini ma anche dalle porte d'ingresso, e un'auto. La variabile rumore è stata divisa in poco, abbastanza, tanto: poco è stato messo per indicare ambienti poco rumorosi come un ufficio o una strada poco trafficata, abbastanza per strade trafficate e tanto per indicare ambienti molto rumorosi quali discoteche. Il Sensepod invece produce in automatico le seguenti variabili: quelle relative al GPS (latitudine, longitudine, quota e valid che altro non è che una variabile dicotomica la quale indica se il dato sul GPS è attendibile), due variabili quantitative quali la temperatura e l'umidità e infine i tre inquinanti, anch'essi quantitativi, quali il COx, il NOx, e il noise.

Per quasi tre settimane è stato indossato il Sensepod e si sono trascritte su di un diario le variabili sopra descritte, ogni volta che una di esse cambiava. Ora si veda come le variabili rilevate hanno inciso rispettivamente sul COx, NOx, rumore. Il modello iniziale sarà composto dalle variabili che il pod rileva automaticamente e, successivamente, verranno introdotte una alla volta quelle da me rilevate. La variabile ora è stata modificata in tre fasce orarie: la mattina dalle ore 8 alle 12, il pomeriggio dalle 13 alle 17, la sera dalle 18 alle 20 e, infine, la notte dalle 21 alle 3. Prima di iniziare con l'analisi va ricordato che le osservazioni raccolte sono state 18'290.

## 2.1 Ossidi di Carbonio ( $CO_x$ )

Si studia come primo inquinante il  $CO_x$ : si procede con i grafici delle singole variabili esplicative rispetto alla dipendente:

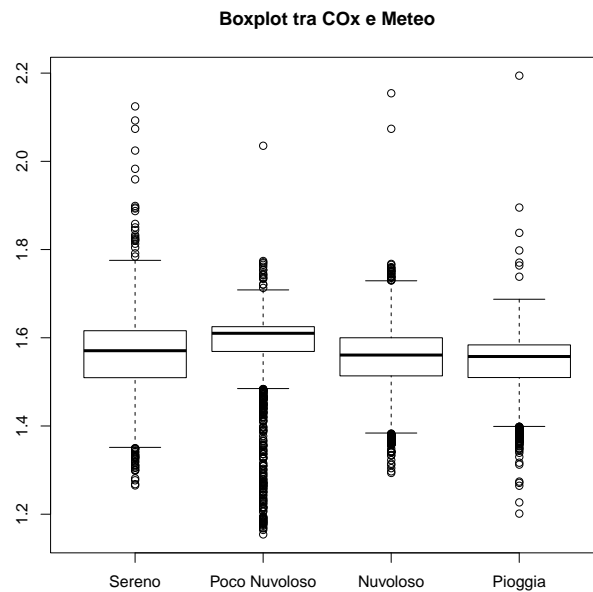


Figura 2.1: Boxplot tra meteo e  $CO_x$

come si può vedere in Figura 2.1 si ha in mediana una maggiore concentrazione di inquinamento in condizioni di meteo poco nuvoloso mentre, come era prevedibile, se ne ha una bassa in caso di pioggia in quanto l'aria si pulisce. Dalla Figura 2.2 si può osservare che l'ambiente che in mediana risulta più inquinato è rappresentato dagli edifici con uno scarso riciclo d'aria. Per quanto riguarda il rumore, in Figura 2.3 si può notare come in ambienti che apparentemente risultano meno rumorosi ci sia una maggior quantità di inquinamento. Questo potrebbe essere dovuto al fatto che gli edifici, nei quali si è tenuto più a lungo il Sensepod, sono poco rumorosi e molto inquinati.

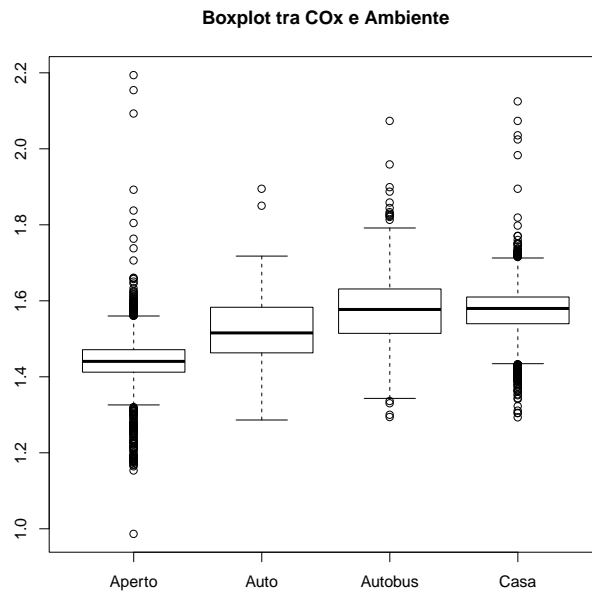


Figura 2.2: Boxplot tra ambiente e COx

Il modello che verrà studiato sarà così formulato:

$$\begin{aligned}
 COx = & \beta_1 + \beta_2 * lat + \beta_3 * lon + \beta_4 * elev + \beta_5 * valid + \beta_6 * hum \\
 & + \beta_7 * temp + \beta_8 * NOx + \beta_9 * noise + \beta_{10} * batt + \beta_{11} * var\_lin \\
 & + \beta_{12} * giorno + \beta_{13} * ora
 \end{aligned}
 \tag{2.1}$$

È stata eseguita una serie di test Anova per valutare quale delle variabili rilevate potevano essere inserite nel dataset già esistente: per prima cosa si è preso il modello sopra riportato e si è provato a inserire la variabile meteo che risulta significativa. Successivamente è stata presa la variabile ambiente e, come la precedente, risulta significativa; infine è stato eseguito una terza volta il test con la variabile rumore che risulta rilevante.



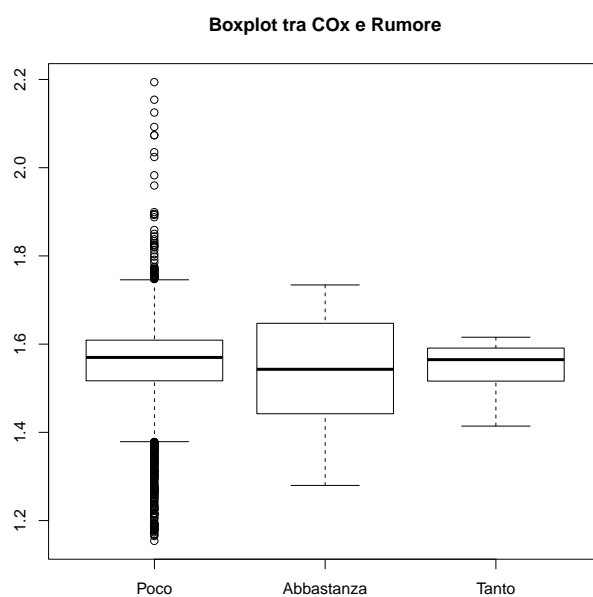


Figura 2.3: Boxplot tra rumore e COx

Dopo una prima analisi si è deciso di eliminare la variabile che teneva conto della carica della batteria in quanto non significativa. Il modello sarà così strutturato:

$$\begin{aligned}
 COx = & \beta_1 + \beta_2 * lat + \beta_3 * lon + \beta_4 * elev + \beta_5 * valid + \beta_6 * hum + \beta_7 * temp \\
 & + \beta_8 * NOx + \beta_9 * noise + \beta_{10} * var\_lin + \beta_{11} * giorno + \beta_{12} * ora \\
 & + \beta_{13} * meteo + \beta_{14} * ambiente + \beta_{15} * rumore
 \end{aligned}
 \tag{2.2}$$

Si osservi il summary:

Coefficients:

Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)

(Intercept)	6.846e+00	1.774e-01	38.596	< 2e-16	***
lat	-8.952e-02	3.439e-03	-26.030	< 2e-16	***
lon	-9.035e-02	3.268e-03	-27.646	< 2e-16	***
valid	9.533e-04	4.234e-04	2.251	0.02438	*
hum	2.405e-03	8.447e-05	28.477	< 2e-16	***
temp	1.492e-02	2.026e-04	73.639	< 2e-16	***
NOx	6.164e-02	2.478e-03	24.871	< 2e-16	***
noise	2.795e-04	2.487e-05	11.235	< 2e-16	***
batt	-5.888e-04	2.872e-05	-20.502	< 2e-16	***
trend	-1.798e-03	6.746e-05	-26.647	< 2e-16	***
giornoLunedì	-1.557e-02	1.131e-03	-13.766	< 2e-16	***
giornoMartedì	1.107e-02	1.194e-03	9.264	< 2e-16	***
giornoMercoledì	5.836e-03	1.362e-03	4.284	1.85e-05	***
giornoGiovedì	-4.480e-03	1.551e-03	-2.888	0.00388	**
giornoVenerdì	-7.023e-03	1.457e-03	-4.821	1.44e-06	***
giornoSabato	-2.438e-03	1.440e-03	-1.693	0.09050	.
oraMattina	-8.613e-02	1.005e-03	-85.706	< 2e-16	***
oraPomeriggio	-5.651e-02	8.386e-04	-67.380	< 2e-16	***
oraSera	-2.281e-02	8.557e-04	-26.660	< 2e-16	***
meteoPoco Nuvoloso	-1.650e-03	1.190e-03	-1.386	0.16564	
meteoNuvoloso	-1.517e-02	1.155e-03	-13.136	< 2e-16	***
meteoPioggia	-1.771e-02	1.269e-03	-13.948	< 2e-16	***
ambienteAuto	3.730e-02	2.382e-03	15.660	< 2e-16	***
ambienteAutobus	7.755e-02	1.981e-03	39.145	< 2e-16	***
ambienteCasa	4.938e-02	1.336e-03	36.946	< 2e-16	***
rumoreAbbastanza	1.203e-02	1.901e-03	6.327	2.56e-10	***
rumoreTanto	-5.265e-03	5.564e-03	-0.946	0.34402	

---

Residual standard error: 0.03746 on 18262 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.7589, Adjusted R-squared: 0.7586

F-statistic: 2211 on 26 and 18262 DF, p-value: < 2.2e-16

Si può vedere come l'inquinamento abbia un trend negativo nel periodo preso in esame, anche se lo possiamo considerare poco rilevante (pari a -0.001798). Il giorno più inquinato risulta il martedì con un incremento pari a 0.01107 rispetto alla domenica mentre il giorno meno inquinato risulta il lunedì. Per quanto riguarda le fasce orarie si può osservare come la notte risulta il momento di maggiore concentrazione di  $CO_x$  mentre la mattina risulta il momento meno inquinato. Un'altra considerazione che si può fare è che quando il meteo è sereno si ha la maggior concentrazione di inquinante viceversa, quando piove, la minor concentrazione. Si procede ora con l'analisi dell'ultima variabile, l'ambiente: il meno inquinato risulta quello aperto mentre l'autobus quello con una maggior concentrazione. Questo si può vedere anche nella Figura 2.4 sotto riportata.

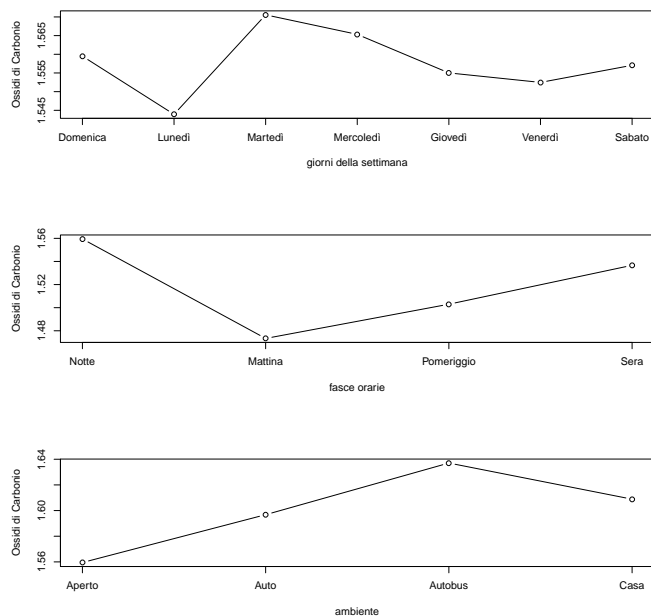


Figura 2.4: Plot tra: giorni, ora e ambiente rispetto al COx

Come possiamo vedere dalla Figura 2.5 questo sembrerebbe un buon modello in quanto il principio di omoschedasticità è rispettato.

## 2.2 Ossidi di Azoto ( $NO_x$ )

Si procede ora con lo studio della seconda variabile di interesse: il NOx. Innanzi tutto si esegue un'analisi descrittiva del suddetto inquinante rispetto al meteo, all'ambiente, al rumore e al mezzo :

come si può vedere, in Figura 2.6 si ha in mediana una maggiore concentrazione di NOx quando il meteo è poco nuvoloso: la differenza è minima rispetto agli altri valori. Per quanto riguarda l'ambiente si può vedere in Figura 2.7 che c'è una differenza significativa in mediana tra i diversi livelli: quello con una maggior concentrazione di NOx risulta l'aperto, mentre quelli

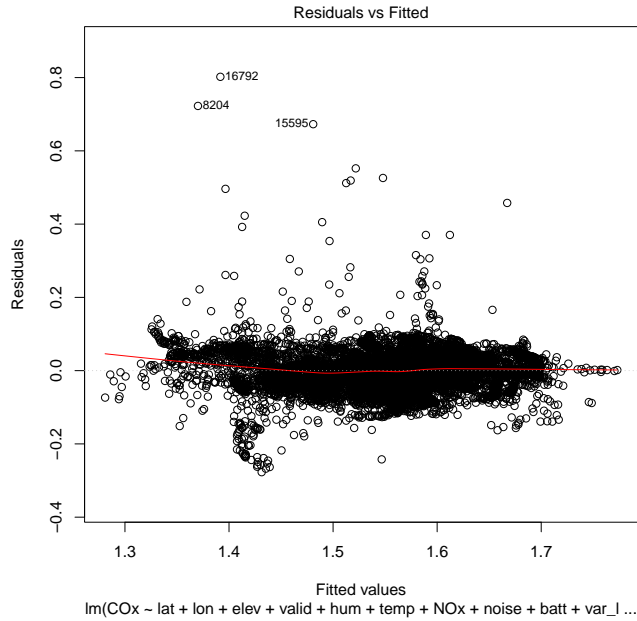


Figura 2.5: Plot tra i residui e i valori predetti

più inquinati sono la casa e l'autobus anche se quest'ultimo ha una variabilità maggiore. Per quanto riguarda il rumore si può vedere in Figura 2.8 come gli ambienti percepiti come meno rumorosi siano quelli con una concentrazione maggiore di  $NO_x$ : questo potrebbe essere causato sempre per la numerosità di dati relativa a quel livello.

Anche in questo caso si parte da un modello con le sole variabili automatiche per implementare una alla volta le variabili rilevate:

$$\begin{aligned}
 NOx = & \beta_1 + \beta_2 * lat + \beta_3 * lon + \beta_4 * elev + \beta_5 * valid + \beta_6 * hum \\
 & + \beta_7 * temp + \beta_8 * COx + \beta_9 * noise + \beta_{10} * batt + \beta_{11} * var\_lin \\
 & + \beta_{12} * giorno + \beta_{13} * ora
 \end{aligned}
 \tag{2.3}$$

Come in precedenza, per capire quali delle variabili rilevate risultano rile-

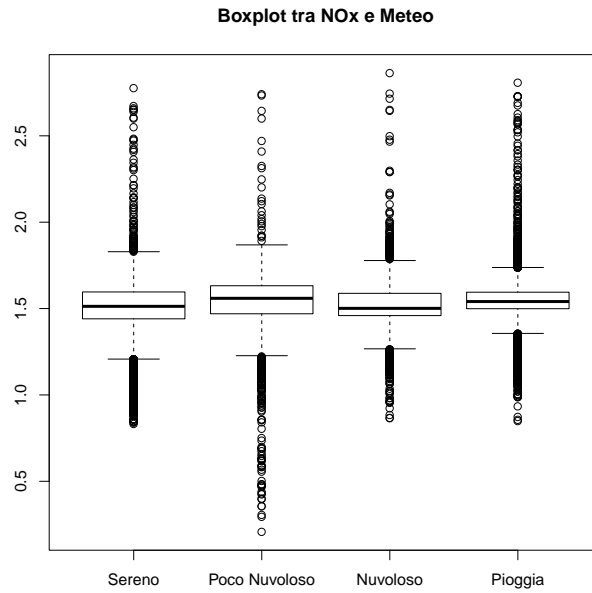


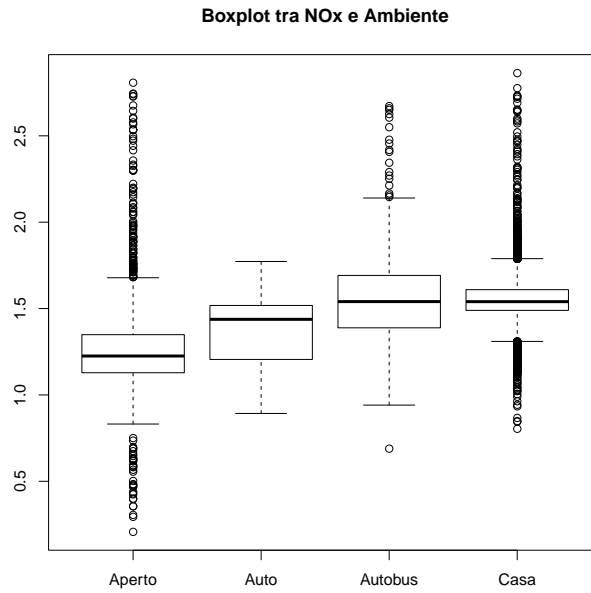
Figura 2.6: Boxplot tra meteo e NOx

vanti, sono stati eseguiti tre test Anova. Il modello sopra riportato è quello di partenza a cui verranno aggiunte, una alla volta, le variabili qualora queste risultino significative. Si è potuto constatare dopo tre test che, sia il meteo, sia l'ambiente, sia il rumore risultano significativi.

Dopo una prima analisi è stata eliminata dal modello la quota in quanto non significativa. Il modello che verrà studiato sarà così strutturato:

$$\begin{aligned}
 NOx = & \beta_1 + \beta_2 * lat + \beta_3 * lon + \beta_4 * valid + \beta_5 * hum + \beta_6 * temp \\
 & + \beta_7 * COx + \beta_8 * noise + \beta_9 * var\_lin + \beta_{10} * giorno + \beta_{11} * ora \\
 & + \beta_{12} * meteo + \beta_{13} * ambiente + \beta_{14} * rumore
 \end{aligned}
 \tag{2.4}$$

Si osservi il summary:

Figura 2.7: Boxplot tra ambiente e  $NO_x$ 

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )	
(Intercept)	7.977e+00	5.390e-01	14.798	< 2e-16	***
lat	-1.094e-01	1.026e-02	-10.663	< 2e-16	***
lon	-1.334e-01	9.760e-03	-13.672	< 2e-16	***
elev	6.931e-05	1.487e-05	4.662	3.15e-06	***
valid	-1.213e-02	1.269e-03	-9.565	< 2e-16	***
hum	1.622e-02	2.232e-04	72.681	< 2e-16	***
temp	3.663e-02	6.221e-04	58.885	< 2e-16	***
COx	5.310e-01	2.136e-02	24.860	< 2e-16	***
noise	-3.758e-04	7.321e-05	-5.133	2.87e-07	***
batt	3.994e-03	8.003e-05	49.909	< 2e-16	***
trend	-1.345e-02	1.757e-04	-76.549	< 2e-16	***

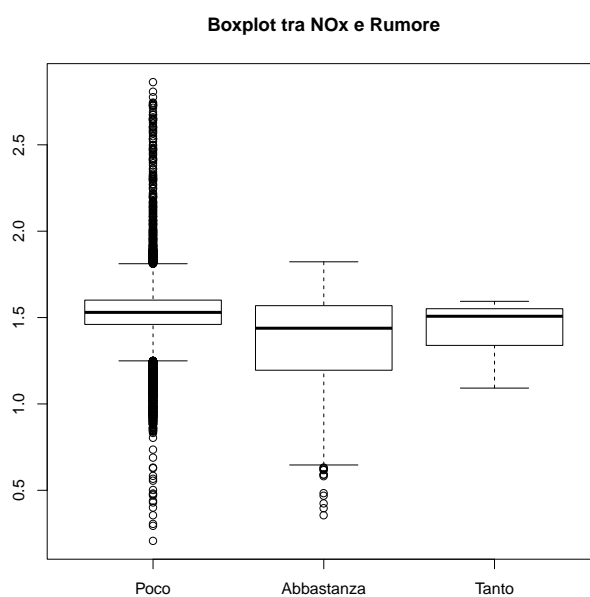


Figura 2.8: Boxplot tra rumore e NOx

giornoLunedì	-1.166e-02	3.336e-03	-3.495	0.000475	***
giornoMartedì	3.551e-02	3.506e-03	10.128	< 2e-16	***
giornoMercoledì	2.635e-03	4.003e-03	0.658	0.510425	
giornoGiovedì	1.026e-02	4.560e-03	2.251	0.024392	*
giornoVenerdì	1.746e-02	4.277e-03	4.081	4.49e-05	***
giornoSabato	6.188e-02	4.210e-03	14.699	< 2e-16	***
oraMattina	1.394e-01	3.358e-03	41.518	< 2e-16	***
oraPomeriggio	6.338e-02	2.711e-03	23.384	< 2e-16	***
oraSera	8.619e-03	2.560e-03	3.366	0.000763	***
meteoPoco Nuvoloso	1.824e-02	3.507e-03	5.200	2.01e-07	***
meteoNuvoloso	-3.807e-02	3.395e-03	-11.213	< 2e-16	***
meteoPioggia	1.992e-02	3.742e-03	5.323	1.03e-07	***
ambienteAuto	4.772e-02	7.031e-03	6.787	1.18e-11	***



```

ambienteAutobus    -1.084e-02  6.054e-03  -1.791  0.073256  .
ambienteCasa       8.887e-02  4.034e-03  22.030  < 2e-16  ***
rumoreAbbastanza  -6.242e-02  5.568e-03 -11.210  < 2e-16  ***
rumoreTanto        -1.704e-02  1.633e-02  -1.043  0.296958
---
```

Residual standard error: 0.11 on 18261 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.6323, Adjusted R-squared: 0.6318

F-statistic: 1163 on 27 and 18261 DF, p-value: < 2.2e-16

Anche in questo caso si ha un trend che suggerisce il fatto che è presente una leggera diminuzione di questo inquinante nel periodo in cui è stato indossato il Sensepod (pari a -0.01345). Il giorno che presenta la maggior concentrazione di inquinante risulta il sabato mentre quello con una minor concentrazione risulta, come per il  $CO_x$ , il lunedì. La fascia oraria meno inquinata risulta la notte mentre quella più inquinata la mattina. Per quanto riguarda la variabile meteo si può vedere che quando piove se ne ha una maggior quantità mentre quando è nuvoloso la concentrazione è minore. Per ultimo si analizza l'ambiente: la casa risulta il più inquinato mentre l'autobus quello con una minor concentrazione. Si può vedere quanto appena osservato nel grafico in Figura 2.9.

Si fa ora a un'analisi sui residui: come si può vedere dalla Figura 2.10 il principio di omoschedasticità sembra rispettato e si può considerare buono il nostro modello

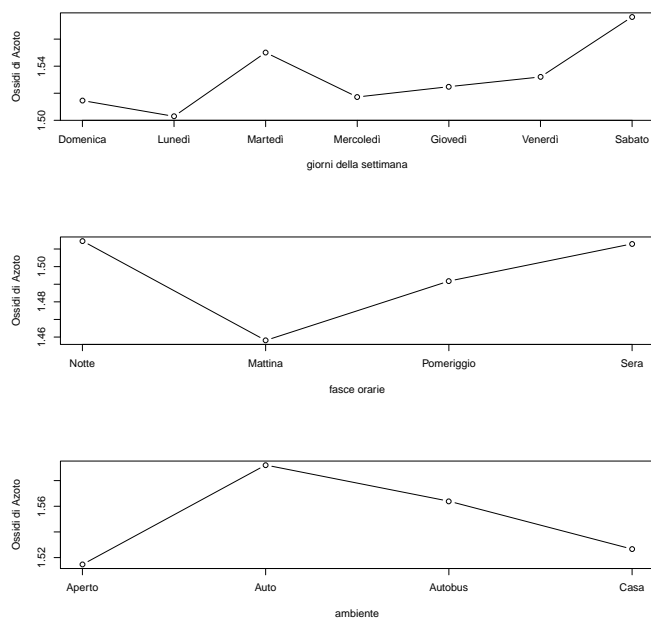


Figura 2.9: Plot tra: giorni, ora e ambiente rispetto al NOx

## 2.3 Noise

L'ultima variabile di interesse è il Noise. Anche in questo caso il primo approccio è quello di un'analisi descrittiva:

come possiamo vedere dalla figura 2.11 si ha, in mediana, una concentrazione maggiore di inquinamento acustico in presenza di Meteo poco Nuvoloso. In Figura 2.12 si può vedere come gli ambienti più rumorosi risultano essere l'auto e l'autobus con il primo leggermente in vantaggio. L'auto inoltre presenta una variabilità maggiore: questo potrebbe essere causato anche dal fatto che, per avere dei dati con una rumorosità elevata, è stato tenuto per un paio d'ore il volume della radio piuttosto elevato. Dalla figura 2.14 si può osservare, come ci si aspettava, che le due variabili vanno di pari passo: il rumore che si percepiva e quello misurato sono collegati.

Il modello di partenza sarà come i precedenti, cioè con le sole variabili

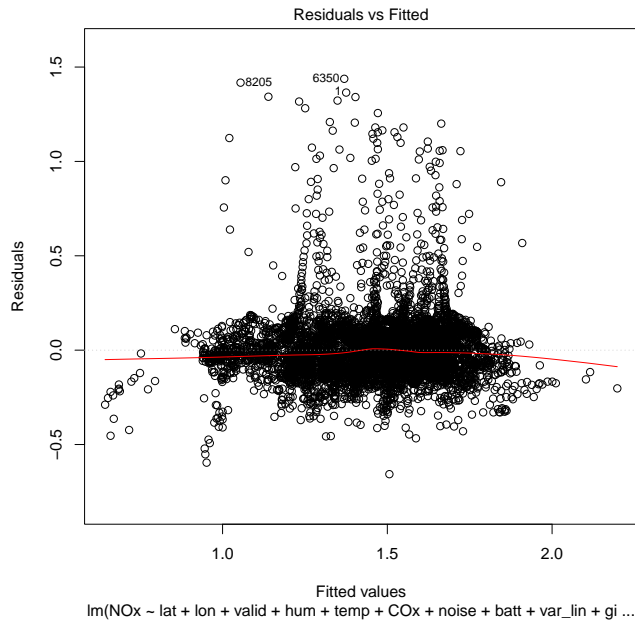


Figura 2.10: Plot tra i residui e i valori predetti

rilevate automaticamente dal Sensepod:

$$\begin{aligned}
 noise = & \beta_1 + \beta_2 * lat + \beta_3 * lon + \beta_4 * elev + \beta_5 * valid + \beta_6 * hum \\
 & + \beta_7 * temp + \beta_8 * COx + \beta_9 * NOx + \beta_{10} * batt + \beta_{11} * var\_lin \\
 & + \beta_{12} * giorno + \beta_{13} * ora
 \end{aligned}
 \tag{2.5}$$

Come in precedenza, sono stati eseguiti tre test Anova per capire quali variabili rilevate possono essere aggiunte al dataset. Grazie ad esso si è constatato che le variabili meteo, ambiente e rumore risultano significative.

Dopo una prima analisi è stata eliminata sia la variabile quota sia quella che conferma quando il GPS ha un buon segnale (*valid*), in quanto entrambe non significative. Il modello sarà così strutturato :

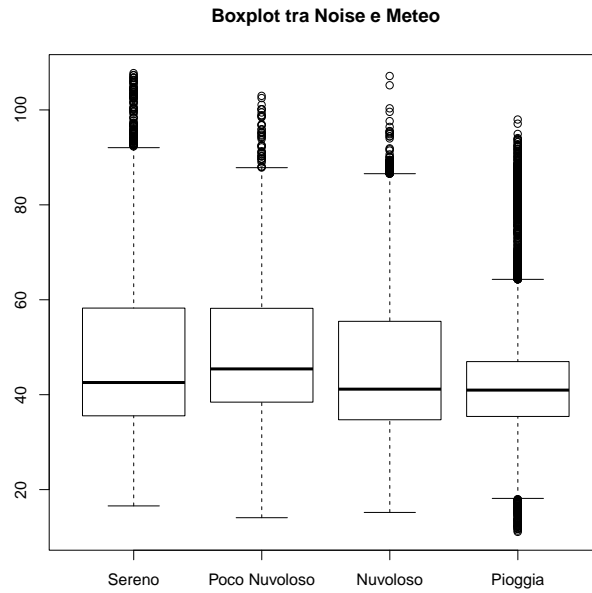


Figura 2.11: Boxplot tra meteo e Noise

$$\begin{aligned}
 noise = & \beta_1 + \beta_2 * lat + \beta_3 * lon + \beta_4 * hum + \beta_5 * temp \\
 & + \beta_6 * COx + \beta_7 * NOx + \beta_8 * var\_lin + \beta_9 * giorno + \beta_{10} * ora \\
 & + \beta_{11} * meteo + \beta_{12} * ambiente + \beta_{13} * rumore
 \end{aligned}
 \tag{2.6}$$

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
(Intercept)	-4.555e+02	5.453e+01	-8.353	< 2e-16 ***
lat	1.014e+01	1.035e+00	9.802	< 2e-16 ***
lon	9.739e+00	9.807e-01	9.931	< 2e-16 ***
hum	1.141e-01	2.558e-02	4.460	8.24e-06 ***
temp	-5.430e-01	6.829e-02	-7.951	1.95e-15 ***

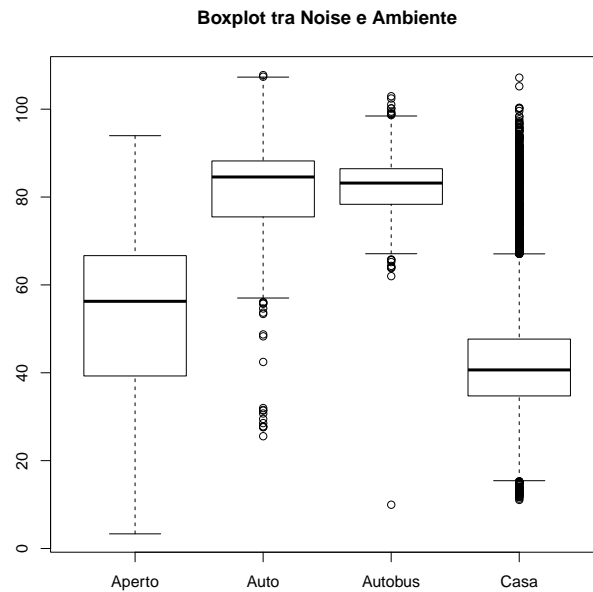


Figura 2.12: Boxplot tra ambiente e Noise

COx	2.455e+01	2.186e+00	11.229	< 2e-16	***
NOx	-3.854e+00	7.442e-01	-5.179	2.26e-07	***
batt	-1.017e-01	8.574e-03	-11.865	< 2e-16	***
trend	-1.683e-01	2.033e-02	-8.275	< 2e-16	***
giornoLunedì	1.413e+00	3.368e-01	4.196	2.72e-05	***
giornoMartedì	-3.682e+00	3.539e-01	-10.405	< 2e-16	***
giornoMercoledì	-1.566e+00	4.035e-01	-3.881	0.000104	***
giornoGiovedì	-1.381e+00	4.598e-01	-3.004	0.002672	**
giornoVenerdì	1.380e+00	4.319e-01	3.195	0.001402	**
giornoSabato	4.481e+00	4.251e-01	10.541	< 2e-16	***
oraMattina	-2.766e+00	3.481e-01	-7.945	2.05e-15	***
oraPomeriggio	-4.418e+00	2.759e-01	-16.017	< 2e-16	***
oraSera	-1.323e+00	2.584e-01	-5.122	3.05e-07	***

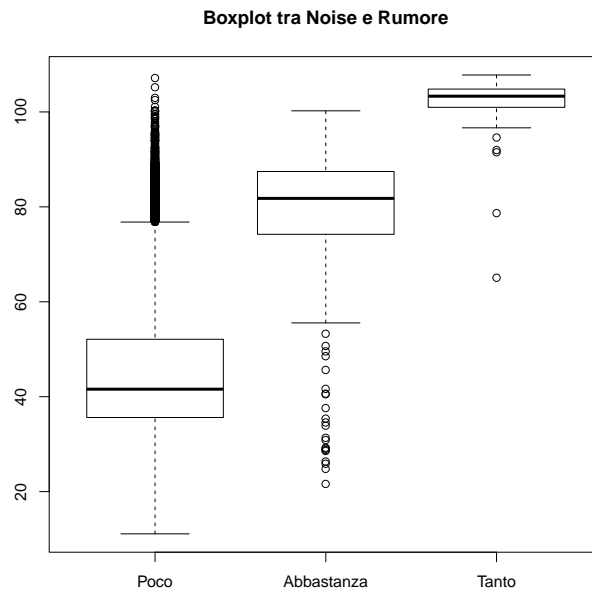


Figura 2.13: Boxplot tra rumore e Noise

```

meteoPoco Nuvoloso  1.401e+00  3.527e-01  3.972 7.15e-05 ***
meteoNuvoloso      -9.775e-01  3.437e-01  -2.844 0.004457 **
meteoPioggia       -1.160e+00  3.781e-01  -3.069 0.002154 **
ambienteAuto        2.515e+01  6.861e-01  36.659 < 2e-16 ***
ambienteAutobus     3.269e+01  5.616e-01  58.216 < 2e-16 ***
ambienteCasa        -5.050e+00  4.051e-01  -12.466 < 2e-16 ***
rumoreAbbastanza    2.204e+01  5.400e-01  40.814 < 2e-16 ***
rumoreTanto         2.628e+01  1.638e+00  16.046 < 2e-16 ***

```

---

Residual standard error: 11.11 on 18263 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.5503, Adjusted R-squared: 0.5497

F-statistic: 893.9 on 25 and 18263 DF, p-value:  $< 2.2e-16$

Si ha una diminuzione di inquinamento acustico nel periodo analizzato, anche se risulta poco rilevante (-0.1683). Il giorno con una minor concentrazione di inquinante risulta il martedì mentre, come per il NO<sub>x</sub>, il sabato risulta quello meno inquinato. Per quanto riguarda le fasce orarie si può vedere come la notte sembra quella più rumorosa: questo è potrebbe essere stato influenzato dal fatto che nei pub e nei locali in generale il volume della musica è piuttosto elevato. La casa, come ci si poteva aspettare, risulta l'ambiente meno rumoroso con una diminuzione di -5.05 db. Si può vedere quanto detto nella Figura 2.14:

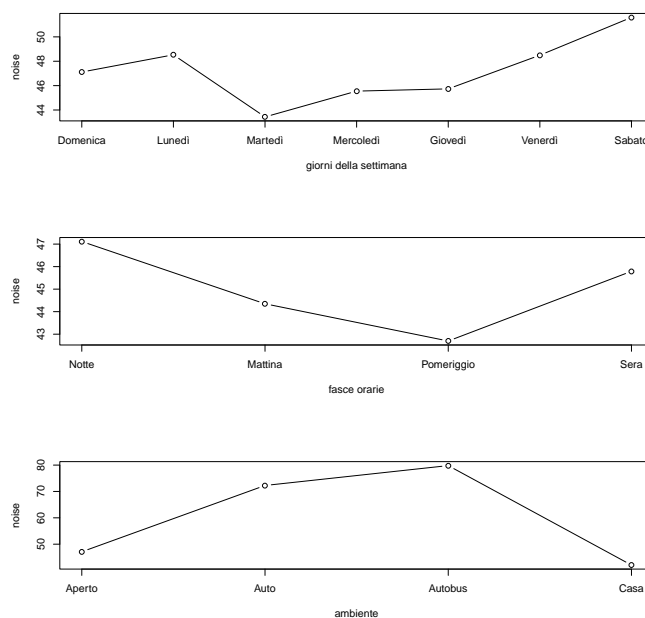


Figura 2.14: Plot tra: giorni, ora e ambiente rispetto al noise

la cosa più interessante di questo summary, è rappresentata dalla variabile del livello di carica di batteria: essa infatti sposta il valore del rumore di circa 46 Db. Probabilmente questo è dovuto al rumore elettrico che altro non è che un disturbo che colpisce un circuito elettrico dovuto a induzione elettromagnetica o a radiazioni elettromagnetiche emesse da una sorgente esterna. Per capire la fonte del problema si consiglia uno studio più approfondito.

Si osservi ora l'analisi sui residui:

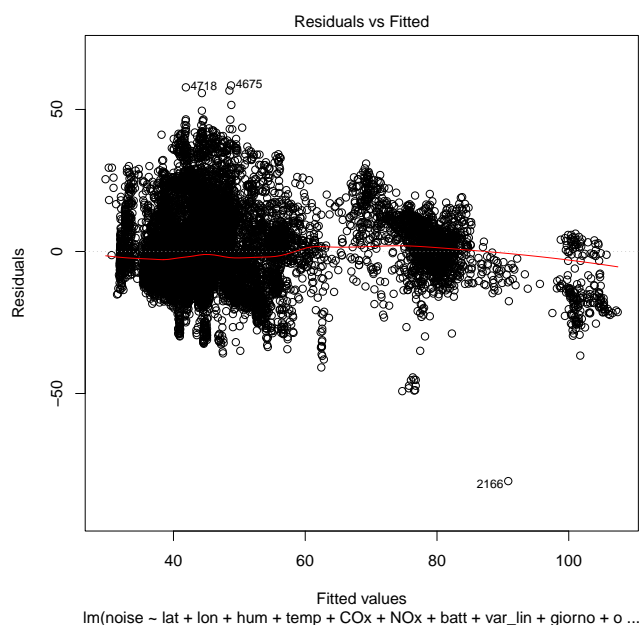


Figura 2.15: Plot tra i residui e i valori predetti

anche se questi potrebbero non sembrare omoschedastici è stato constatato che lo sono: a prima vista dalla Figura 2.15 sembrerebbe esserci una diversa variabilità dei residui che precedono e seguono il valore 65 e per questo si è deciso di verificare manualmente la varianza prima e dopo questo valore. Quello che ne è emerso è che il dubbio risulta errato in quanto la varianza è la stessa.



In conclusione si è dimostrato che tutte le tre variabili rilevate risultano significative, con l'ambiente che risulta quella di maggior influenza, per cui importanti da implementare ai dataset emessi in automatico dal nostro Sensepod.



# Capitolo 3

## Gps

In questa sezione si descrivono le analisi sulla bontà del GPS del Sensepod, in particolare le coordinate geografiche di latitudine, longitudine e quota. Per procedere nello studio, sono stati presi i dati relativi a due luoghi in cui si aveva la certezza che il Sensepod fosse esattamente in una determinata collocazione: casa mia e l'ufficio Arpav. Sono stati presi i dati relativi al lavoro rinominando la variabile ambiente in lavoro e, successivamente, è stata eseguita la stessa operazione per i dati relativi alla casa. Per studiare la bontà del GPS si costruiscono tre modelli: nel primo la variabile risposta sarà la latitudine, nel secondo la longitudine e nel terzo la quota. Si eliminano quei dati che, dopo una prima analisi, risultano anomali. Sono poco meno di un centinaio, si riferiscono al giorno 21/10/2010 quando il pod era posizionato in ufficio e il meteo era sereno, per cui in condizioni che si presume non essere di particolare disturbo per il GPS: probabilmente c'è stato un qualche tipo di problema di cui non si è a conoscenza. Detto questo si eliminano tali dati e si inizia l'analisi.

## 3.1 Latitudine

Per prima cosa si studia il modello che ha come variabile risposta la latitudine. Si è fatta un'analisi grafica delle variabili d'interesse:

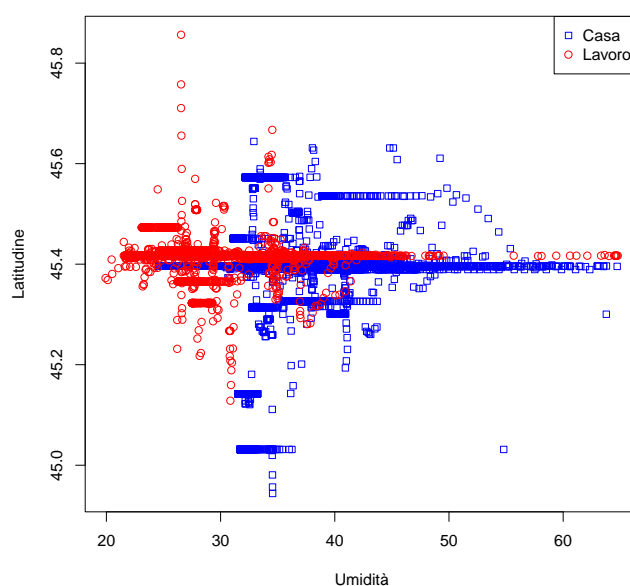


Figura 3.1: Plot dell' umidità rispetto alla latitudine

a prima vista dalle Figure 3.1 e 3.2 sembrerebbe che, sia l'umidità che la temperatura, abbiano una relazione lineare con la latitudine.

Come si può vedere dalla Figura 3.3 sembrerebbe che, quando la variabile meteo assume i valori sereno e pioggia, ci sia una variabilità minore mentre quando assume il valore poco nuvoloso la variabilità aumenta. Questo potrebbe essere determinato dal fatto che si ha una quantità minore di dati rilevati a queste condizioni climatiche. Si può inoltre osservare che, mentre in ufficio i dati sembrano essere più concentrati verso la mediana, a casa sembrano avere una variabilità maggiore: questo potrebbe essere causato dal

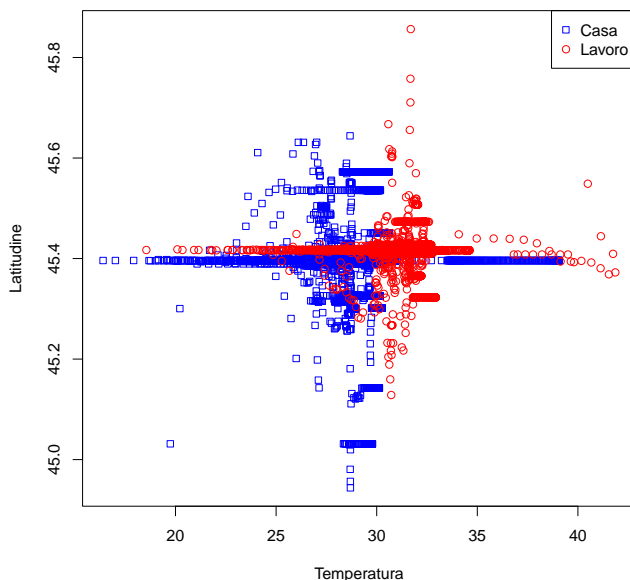


Figura 3.2: Plot della temperatura rispetto alla latitudine

fatto che, mentre in ufficio il pod veniva riposto sempre sulla stessa scrivania, a casa veniva posizionato o in soggiorno o in camera mia.

È stata eseguita un'analisi di tipo forward andando ad analizzare di quanto aumentasse  $R^2$  (indice di determinazione) dopo aver inserito una variabile. Questo indice solitamente è calcolato sottraendo a 1 il rapporto della devianza del modello analizzato con il modello con la sola intercetta, nel nostro caso l'intercetta è rappresentata da  $\beta_1 + \beta_2 * ambiente$ . Si costruiscono i modelli: dopo aver fatto un'analisi forward (andando a inserire una variabile alla volta al modello con la sola intercetta) si è visto come la varianza residua diminuisse poco significativamente da un modello a un altro finché non si è aggiunta la variabile ambiente: si veda nel dettaglio:

$$latitudine = \beta_1 + \beta_2 * ambiente \quad (3.1)$$

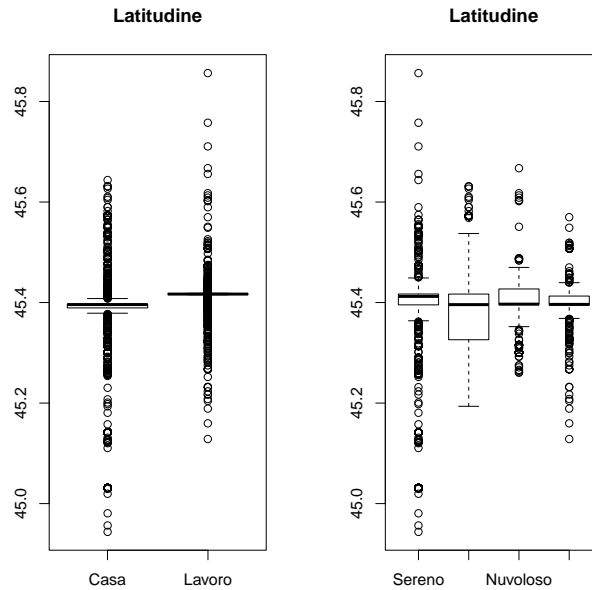


Figura 3.3: Boxplot dell'ambiente e del meteo rispetto alla latitudine

$$latitudine = \beta_1 + \beta_2 * ambiente + \beta_3 * hum \quad (3.2)$$

$$latitudine = \beta_1 + \beta_2 * ambiente + \beta_3 * hum + \beta_4 * temp \quad (3.3)$$

$$latitudine = \beta_1 + \beta_2 * ambiente + \beta_3 * hum + \beta_4 * temp + \beta_5 * meteo \quad (3.4)$$

Dopo aver analizzato gli  $R^2$  si è visto come le nostre variabili non avessero un'influenza significativa nel modello: infatti l'indice nel modello (3.4) è pari a 0.02020527. Siccome i risultati non sono stati del tutto soddisfacenti, si è deciso di utilizzare come strumento quella di minima distorsione e, come modello di riferimento, si prende il modello (3.1). Il vero valore della latitudine

si ha grazie ad un tool di google maps. Il vero valore della latitudine dell'ufficio ARPAV è 45.416846 mentre quello stimato dal modello (3.6) è pari a 45.41042 per cui con un errore pari a 400 metri. Si prova a verificare l'errore a casa: il vero valore della latitudine è 45,396052 mentre quello stimato dal nostro modello è pari a 45.38, con un errore di circa 1 km.

## 3.2 Longitudine

Si procede adesso nello stesso modo per la longitudine. Anche in questo caso si parte con un approccio grafico:

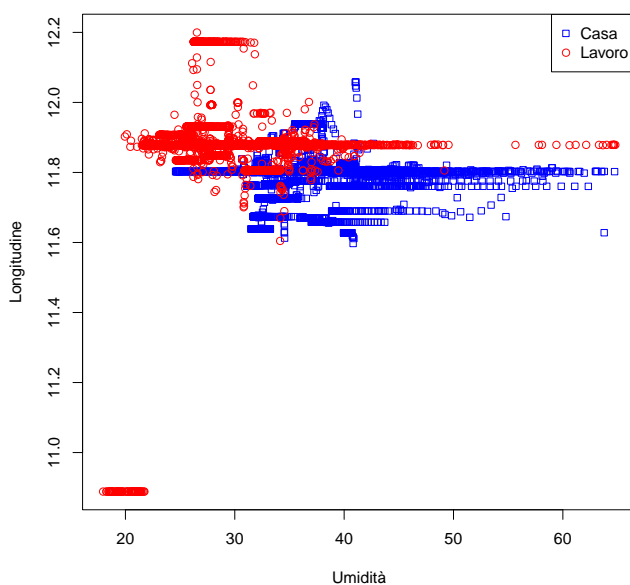


Figura 3.4: Plot dell' umidità rispetto alla longitudine

Si può osservare come le Figure 3.4 e 3.5 ricordino quelle della latitudine: l'umidità e la temperatura, a prima vista, non sembrano avere una relazione

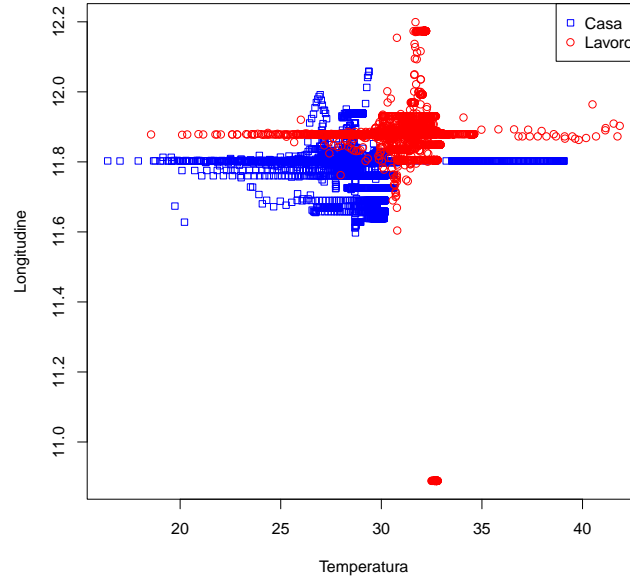


Figura 3.5: Plot della temperatura rispetto alla longitudine

lineare con la longitudine. Si osservino ora i boxplot della longitudine rispetto prima al meteo poi all'ambiente:

possiamo notare nella Figura 3.6 che la mediana per tutti e tre i fattori è sullo stesso valore di longitudine, anche se il meteo Sereno è quello con maggiore variabilità. Per quanto riguarda l'ambiente, anche in questo caso si trova una variabilità minore del livello lavoro rispetto a quello casa per il motivo descritto prima. Anche in questo caso si procede con un'analisi forward :

$$longitudine = \beta_1 + \beta_2 * ambiente \quad (3.5)$$

$$longitudine = \beta_1 + \beta_2 * ambiente + \beta_3 * hum \quad (3.6)$$



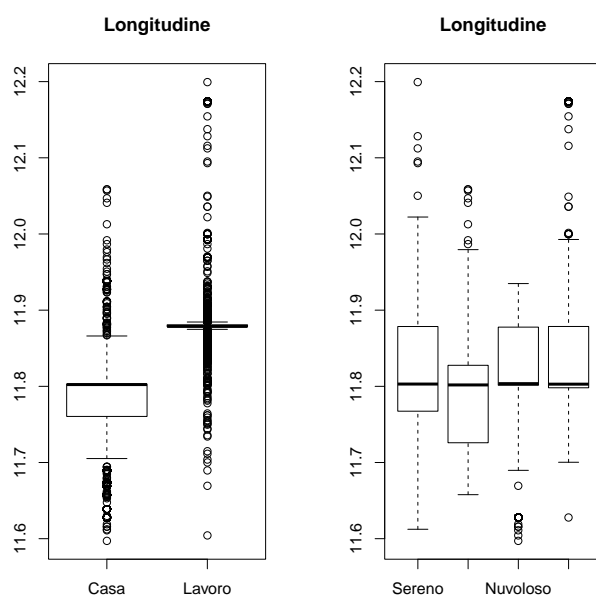


Figura 3.6: Boxplot dell'ambiente e del meteo rispetto alla longitudine

$$longitudine = \beta_1 + \beta_2 * ambiente + \beta_3 * hum + \beta_4 * temp \quad (3.7)$$

$$longitudine = \beta_1 + \beta_2 * ambiente + \beta_3 * hum + \beta_4 * temp + \beta_5 * meteo \quad (3.8)$$

Si può vedere come l' $R^2$  aumenti significativamente nei tre modelli: nel modello (3.6) vale  $3.895522e-05$ , nel (3.7)  $0.006661343$  e nel (3.8)  $0.1898483$ . Non si può tuttavia essere del tutto soddisfatti in quanto l'ultimo modello spiega solo il 18,98% della variabilità dei dati. Si decide di procedere come per la latitudine, usando lo strumento di minima distorsione. Il modello che si costruisce è il seguente:

$$longitudine = \beta_1 + \beta_2 * ambiente \quad (3.9)$$

Il vero valore fornito da google maps dell'ufficio ARPAV è 11,878425 mentre quello stimato dal nostro modello è 11.8912, con un errore di circa 500 metri rispetto al vero valore. Si veda per quanto riguarda la casa: il vero valore di longitudine è 11.802637 mentre quello stimato dal Sensepod è pari a 11.78 con un errore, anche in questo caso, di circa 500 metri.

Per quanto riguarda la variabile quota, che rileva l'altezza rispetto al livello del mare, sono stati effettuati studi che non hanno portato a risultati soddisfacenti: in ambienti chiusi, quali la casa e l'ufficio Arpav, lo strumento riporta una quota pari a circa -250 metri. Sono stati poi esaminati i dati rilevati all'aperto e, in luoghi in cui si è certi di essere stati fermi, il Sensepod produce delle stime che differiscono di centinaia di metri rispetto ad altre. Per questa variabile si consiglia uno studio più approfondito per capire la natura di tale problema.

In conclusione si può dire che lo strumento non è molto preciso. Si potrebbe applicare una taratura nel caso della longitudine in quanto l'errore sembrerebbe costante e pari a circa 500 metri mentre per la latitudine il discorso risulta diverso: infatti è di 400 metri per quanto riguarda il posto lavoro mentre di poco più di 1 km quando siamo a casa.

# Capitolo 4

## Taratura Microfono

Il giorno 29/10/2010, presso il laboratorio di acustica della sede ARPAV di Vicenza, assieme ai tecnici si è effettuato un esperimento per verificare la precisione del rilevatore di inquinamento acustico del Sensepod. Data una sorgente di test di rumore, si è eseguito il confronto tra quanto rilevato dal Sensepod con un fonometro integratore tarato in dotazione all' ARPAV.

L'amplificatore è stato stato posizionato per terra e, a circa due metri di distanza, sono stati posizionati il Sensepod e il fonometro di confronto. Come fonte sonora si è utilizzato un CD contenente i segnali:

1001Hz 0 dB

1001Hz -15 dB

1001Hz -16 dB

1001Hz -18 dB

1001Hz -20 dB

1001Hz -40 dB

1001Hz -60 dB

21.5 Hz, L, 0db

21.5 Hz, R, 0db

40 Hz 0 dB

100 Hz 0 dB

315 Hz 0 dB

1000 Hz 0 dB

3150 Hz 0 dB

6300 Hz 0 dB

10 kHz 0 dB

16 kHz 0 dB

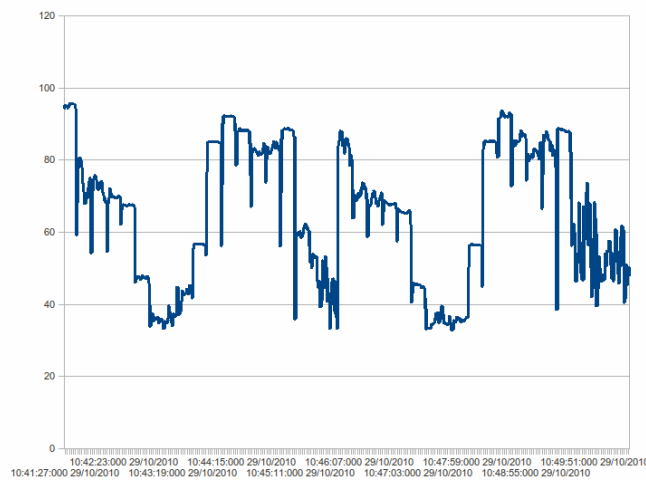
18 kHz 0 dB

20 kHz 0 dB

Si sono effettuate due prove consecutive per avere un riscontro. Tali prove sono state eseguite facendo partire la traccia sonora e lasciando registrare sia il microfono che il Sensepod per poi farne un'analisi con gli appositi software.

Come prevedibile i livelli sonori ottenuti con il Sensepod si discostavano rispetto a quelli del fonometro. E' stato possibile quindi, per confronto, effettuare una taratura del Sensepod.

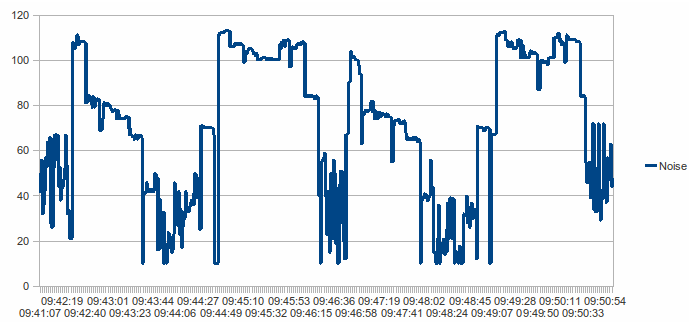
Si riporta in seguito l'andamento grafico dei livelli sonori, registrati ogni secondo dal Sensepod nelle due prove:



Come si può osservare i “picchi” corrispondono ai livelli rilevati in corrispondenza della traccia sonora. Tenuto conto che il livello sonoro è definito come:

$$L = 10 * \log \left( \frac{p}{p_0} \right)^2 \quad (4.1)$$

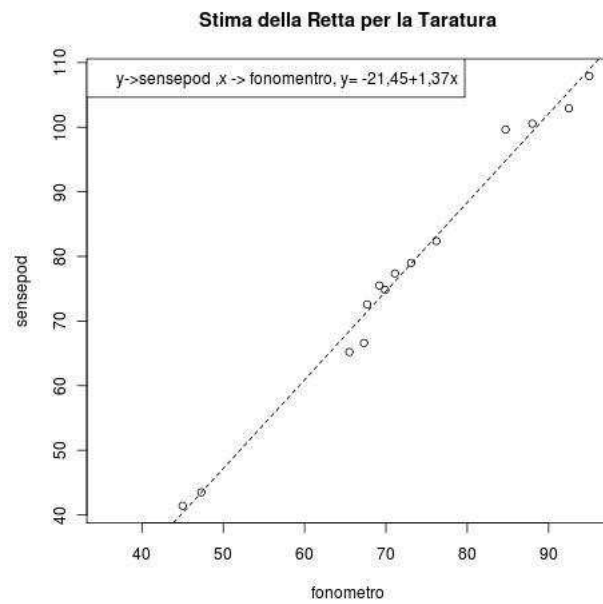
dove  $p$  è la pressione sonora e  $p_0$  la pressione di riferimento di  $20\mu\text{Pa}$ , si sono calcolati la media dei db di questi picchi per entrambe le prove.



Utilizzando i dati a 1001 Hz si è verificata una relazione di tipo lineare. I dati sono stati messi in un grafico : nell'asse delle ascisse quelli prodotti dal fonometro mentre in quello delle ordinate i dati prodotti dal Sensepod. La retta di interpolazione, attraverso un modello lineare che ha come variabile risposta i dati del Sensepod e come variabile dipendente i dati del fonometro, è la seguente:

$$Datipod = \beta_1 + \beta_2 * DatiFonometro \quad (4.2)$$

Il grafico prodotto mostra come i dati si distribuiscono su una retta; è quindi possibile applicare una taratura al Sensepod tale da rendere i dati prodotti riferibili per confronto e campioni di riferimento.







# Capitolo 5

## Stazione Fissa

In quest'ultimo capitolo si analizza un altro strumento di rilevamento di inquinamento ambientale usato nell'ambito del progetto "Area 51". Lo strumento in questione è la centralina di monitoraggio posizionata in via Colombo, al confine con lo spigolo nord-est del piazzale dell'istituto Forcellini. Gli inquinanti che verranno presi in esame saranno gli stessi che sono stati analizzati quando si è studiato il Sensepod: il monossido di carbonio ( $CO$ ) e il biossido di azoto ( $NO_2$ ), in più l'ozono ( $O_3$ ) e il  $Pm_{10}$ . In quest'analisi i dati vanno dal 1 gennaio 2005 al 30 settembre 2010, sono dati orari e tengono conto del numero della settimana e del giorno della stessa.

### 5.1 Monossido di Carbonio ( $CO$ )

Si esegue un'analisi descrittiva sulla variazione del suddetto inquinante negli anni studiati e nell'arco delle settimane dell'anno: come si può vedere dalla Figura 5.1, in mediana si ha circa lo stesso inquinamento dal 2005 al 2008 e una leggera diminuzione nel 2009 e nel 2010. La variabilità è maggiore nel 2006 mentre negli altri tre anni è circa la stessa. Si analizza ora il gra-

fico relativo alla concentrazione del suddetto inquinante nelle 53 settimane dell'anno.

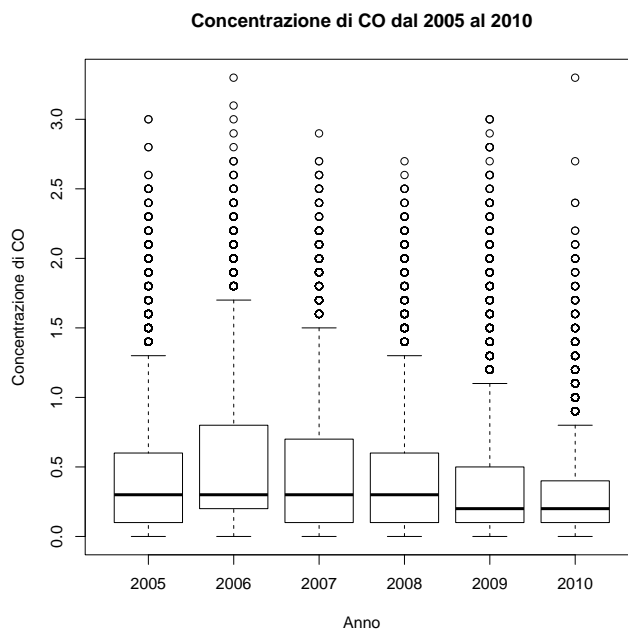


Figura 5.1: Boxplot  $CO$  annuali

Dal grafico 5.2 si può vedere come la concentrazione di  $CO$  è maggiore nei mesi invernali. Questo potrebbe essere determinato dal fatto che in inverno si tengono accesi gli impianti di riscaldamento e che si usa maggiormente l'auto come mezzo di trasporto. Viceversa in estate c'è una diminuzione del traffico dovuta sia alle ferie sia all'utilizzo di mezzi non inquinanti quali la bicicletta. Si nota come a gennaio si ha una concentrazione in mediana pari a 1,5 con un calo costante nelle settimane fino a raggiungere il minimo in quella di ferragosto con un conseguente rialzo fino al picco di gennaio.

Il modello costruito per lo studio del seguente inquinante ha 4 variabili: la prima è una variabile factor ed è l'anno in cui il dato è stato rilevato, la seconda è anch'essa una variabile factor ed è il numero della settimana

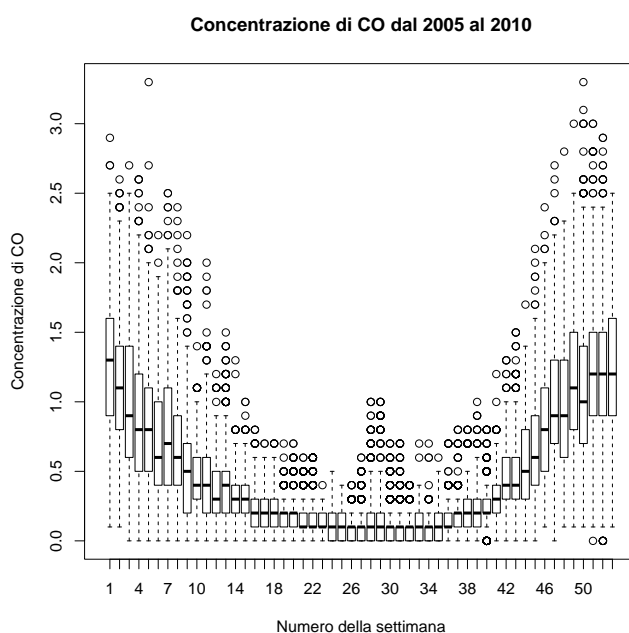


Figura 5.2: Boxplot *CO* settimanali

dell'anno (da 1 la prima settimana dell'anno a 53 ultima settimana), anche la terza è una variabile factor e descrive il giorno della settimana (dal lunedì alla domenica) e infine l'ora, anche questa factor, che altro non è che l'ora del giorno in cui si è raccolto il dato (da 0 a 23).

Il modello avrà la seguente forma:

$$\sqrt{CO} = \beta_1 + \beta_2 * anno + \beta_3 * n\_settimana + \beta_4 * giorno\_settimana + \beta_5 * ora \quad (5.1)$$

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
(Intercept)	0.262002	0.008211	31.910	< 2e-16 ***

anno2006	0.106156	0.003097	34.272	< 2e-16	***
anno2007	0.063475	0.003083	20.591	< 2e-16	***
anno2008	0.056857	0.003083	18.444	< 2e-16	***
anno2009	0.001604	0.003079	0.521	0.602362	
anno2010	0.021463	0.003383	6.344	2.26e-10	***
n_settimana1	0.877474	0.009096	96.471	< 2e-16	***
n_settimana2	0.803267	0.008977	89.477	< 2e-16	***
.					
.					
.					
n_settimana52	0.842092	0.009517	88.481	< 2e-16	***
n_settimana53	0.855194	0.015255	56.060	< 2e-16	***
giorno_settimanaLunedì	0.013807	0.003401	4.060	4.92e-05	***
giorno_settimanaMartedì	0.012087	0.003398	3.557	0.000375	***
giorno_settimanaMercoledì	0.013864	0.003398	4.080	4.51e-05	***
giorno_settimanaGiovedì	0.023229	0.003389	6.854	7.28e-12	***
giorno_settimanaVenerdì	0.026162	0.003394	7.708	1.30e-14	***
giorno_settimanaSabato	0.016422	0.003394	4.839	1.31e-06	***
ora1	-0.020021	0.006145	-3.258	0.001122	**
ora2	-0.049292	0.006143	-8.024	1.04e-15	***
.					
.					
.					
ora22	0.037958	0.006144	6.178	6.53e-10	***
ora23	0.023467	0.006145	3.819	0.000134	***
---					

Residual standard error: 0.1972 on 47237 degrees of freedom  
(3052 observations deleted due to missingness)  
Multiple R-squared: 0.6951, Adjusted R-squared: 0.6945  
F-statistic: 1252 on 86 and 47237 DF, p-value: < 2.2e-16

Si usa la trasformazione a radice quadrata della variabile risposta in quanto, dopo averne applicate diverse, risulta quella che porta a risultati più soddisfacenti. Dall'analisi del modello si può vedere che la trentaduesima settimana, presa come riferimento, sia la meno inquinata: ci si poteva aspettare questo anche prima di osservare i dati in quanto in quella di Ferragosto la maggior parte della gente è in ferie. L'ora con una più bassa concentrazione di inquinamento risulta essere le 5 del mattino, anche se in tale ora abbiamo molti dati mancanti. Per quanto riguarda il giorno, la domenica risulta essere quello con il tasso più basso di monossido di carbonio. Si può vedere quanto appena detto nella Figura 5.3

Dal grafico riportato in Figura 5.4 si può osservare che i residui non sembrano rispettare gli assunti di normalità. Si rimanda a ulteriori studi la ricerca di un modello più soddisfacente.

## 5.2 Biossido di Azoto ( $NO_2$ )

Anche in questo caso il primo passo sarà quello di eseguire un'analisi descrittiva sull'andamento della concentrazione dell'inquinante negli anni e nelle settimane dell'anno.

Come si può vedere dalla Figura 5.5 si ha, in mediana, il 2007 come anno maggiormente inquinato anche se la differenza non sembrerebbe essere così rilevante.

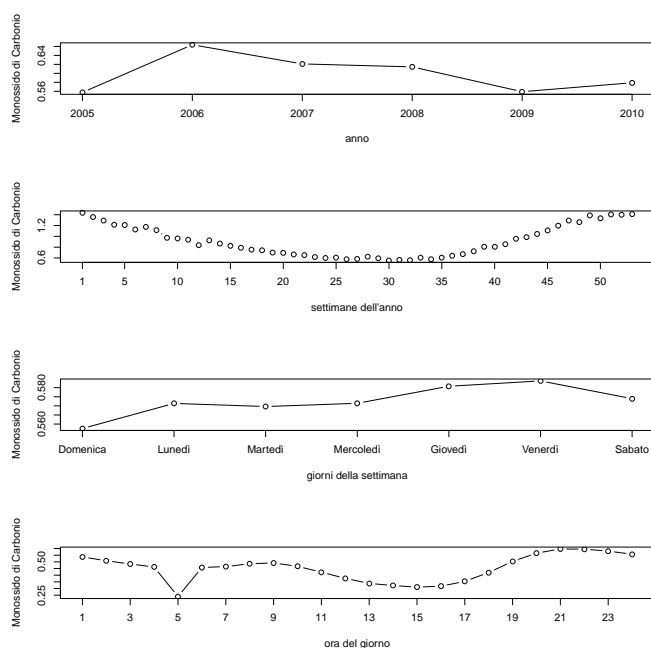


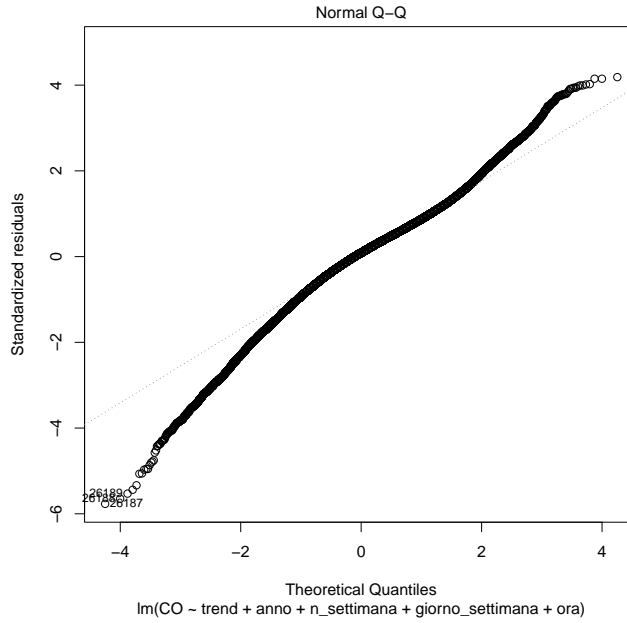
Figura 5.3: Plot tra: anni, settimane dell'anno, giorni della settimana e ore rispetto al  $CO$

Nei boxplot della Figura 5.6 del biossido di azoto, rispetto alle settimane dell'anno, si può vedere come per il monossido di carbonio la settimana meno inquinata è quella di Ferragosto mentre il periodo invernale, con il picco a gennaio, risulta più inquinato.

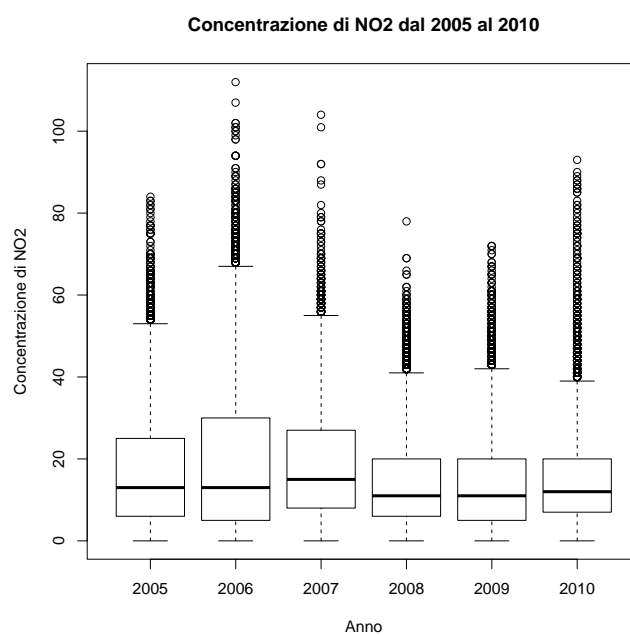
Il modello costruito avrà le variabili descritte nel modello precedente e ha la seguente forma:

$$\sqrt{NO_2} = \beta_1 + \beta_2 * anno + \beta_3 * n\_settimana + \beta_4 * giorno\_settimana + \beta_5 * ora \quad (5.2)$$

Coefficients:

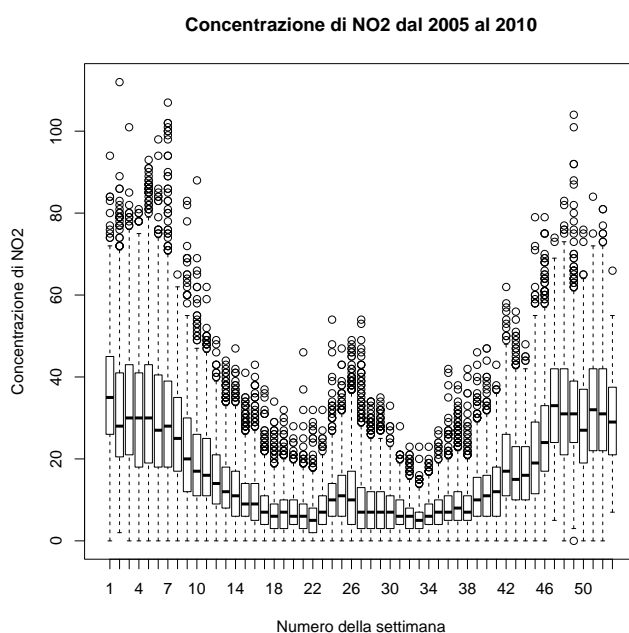
Figura 5.4: Residui del modello  $CO$ 

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
(Intercept)	2.00748	0.04596	43.683	< 2e-16 ***
anno2006	0.18974	0.01741	10.901	< 2e-16 ***
anno2007	0.19865	0.01745	11.383	< 2e-16 ***
anno2008	-0.25058	0.01745	-14.361	< 2e-16 ***
anno2009	-0.32665	0.01743	-18.739	< 2e-16 ***
anno2010	0.28651	0.01917	14.948	< 2e-16 ***
n_settimana1	3.58967	0.04993	71.889	< 2e-16 ***
n_settimana2	3.22971	0.05032	64.181	< 2e-16 ***
.				
.				
.				
n_settimana52	3.27996	0.05241	62.587	< 2e-16 ***

Figura 5.5: Boxplot  $NO_2$  annuali

n_settimana53	3.30062	0.08463	38.999	< 2e-16	***
giorno_settimanaLunedì	0.38424	0.01906	20.162	< 2e-16	***
giorno_settimanaMartedì	0.53095	0.01906	27.859	< 2e-16	***
giorno_settimanaMercoledì	0.57275	0.01900	30.147	< 2e-16	***
giorno_settimanaGiovedì	0.59987	0.01894	31.677	< 2e-16	***
giorno_settimanaVenerdì	0.65253	0.01897	34.394	< 2e-16	***
giorno_settimanaSabato	0.38136	0.01899	20.085	< 2e-16	***
ora1	-0.24696	0.03447	-7.164	7.95e-13	***
ora2	-0.47834	0.03446	-13.881	< 2e-16	***
.					
.					
.					
ora22	0.44067	0.03446	12.790	< 2e-16	***



Figura 5.6: Boxplot  $NO_2$  settimanali

```
ora23                0.21545    0.03446    6.251 4.10e-10 ***
```

```
----
```

```
Residual standard error: 1.1 on 47038 degrees of freedom
```

```
(3251 observations deleted due to missingness)
```

```
Multiple R-squared:  0.6007, Adjusted R-squared:    0.6
```

```
F-statistic: 822.9 on 86 and 47038 DF,  p-value: < 2.2e-16
```

Si è applicata una trasformazione della variabile risposta come in precedenza in quanto, anche in questo caso, tale trasformazione è quella che porta a migliori risultati. Dal summary si può vedere che l'anno meno inquinato risulta essere il 2009 mentre quello con un tasso maggiore di inquinamento

è il 2010 . Per quanto riguarda le settimane si può notare che quella meno inquinata è la ventiduesima mentre le più inquinate sono quelle del periodo invernale. Anche in questo caso la domenica risulta il giorno con una minor concentrazione di  $NO_2$  mentre il venerdì quello più inquinato. Le 15 risulta l'ora meno inquinata, viceversa le 20 quella con una maggior concentrazione di  $NO_2$ . Si può vedere quanto detto in Figura 5.7

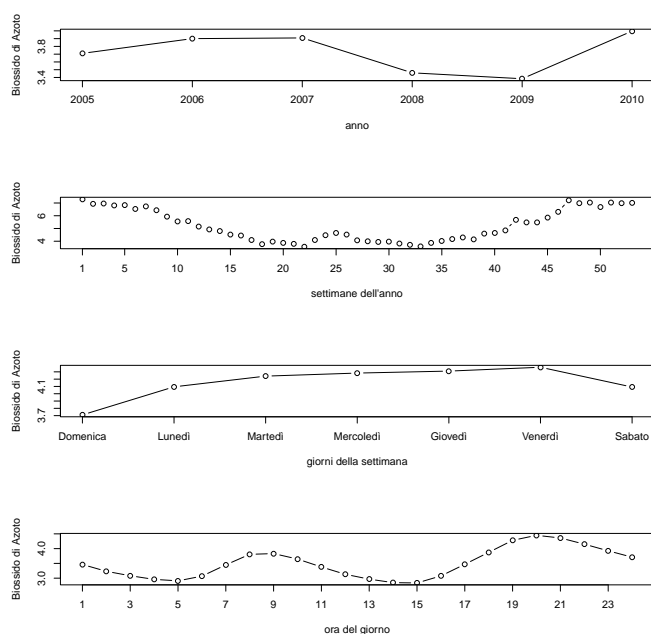
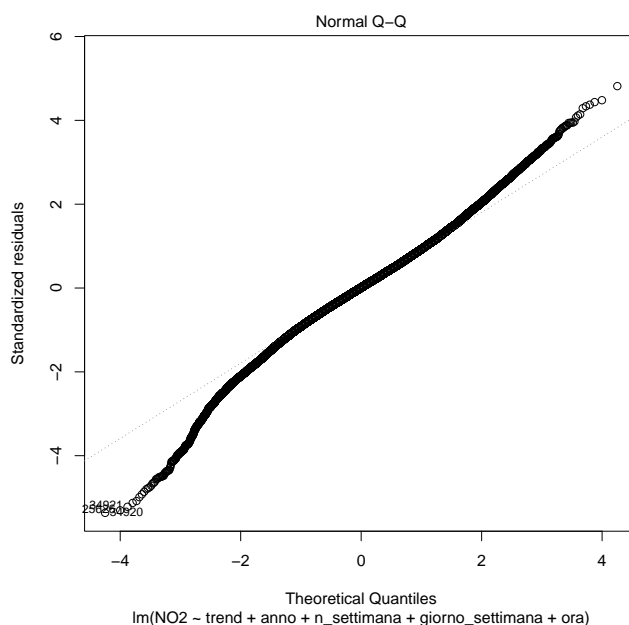


Figura 5.7: Plot tra: anni, settimane dell'anno, giorni della settimana e ore rispetto al  $NO_2$

Dall'analisi dei residui (Figura 5.8) si osserva che anche in questo caso non sembrano rispettare gli assunti di normalità e si rimanda a ulteriori studi la ricerca di un modello più soddisfacente.

Figura 5.8: Residui del modello  $NO_2$ 

### 5.3 Ozono ( $O_3$ )

Come prima cosa si procede nello studio dei grafici relativi alla concentrazione di questo inquinante negli anni:

si può vedere dal grafico riportato in Figura 5.9 che in mediana si ha circa lo stesso valore per i cinque anni analizzati con un leggero incremento nel 2010.

Si analizza poi l'andamento dell'ozono nelle settimane dell'anno:

a differenza degli inquinanti presi prima in esame si può vedere in Figura 5.10 che nel periodo invernale, con gennaio punto di minima, si ha una bassa quantità di ozono nell'aria viceversa, nel periodo estivo con picco intorno alla trentesima settimana, si ha la massima concentrazione di  $O_3$ .

Si procede nello studio del modello, che presenterà le stesse variabili dei

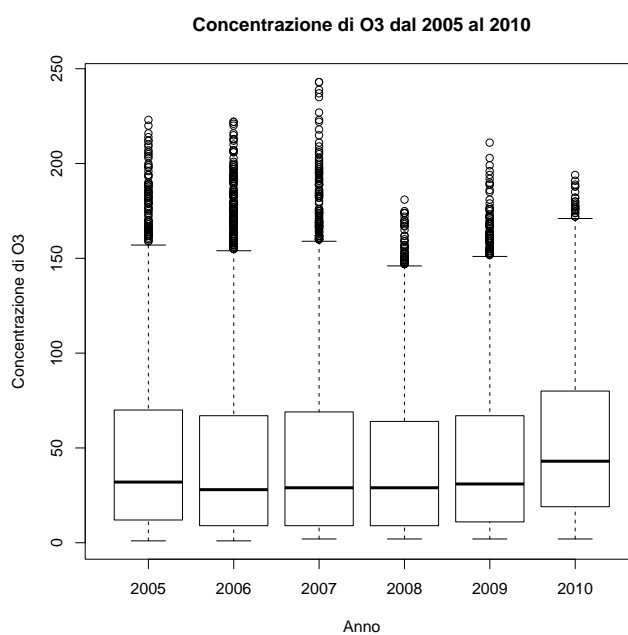


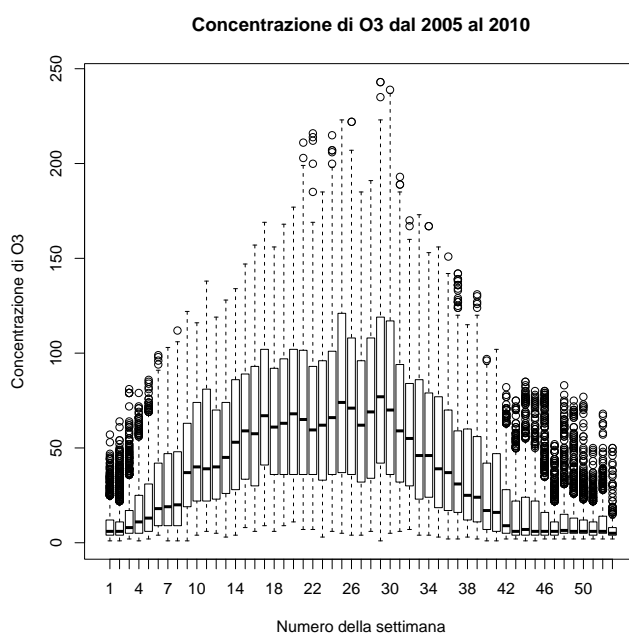
Figura 5.9: Boxplot  $O_3$  annuali

modelli precedenti:

$$\sqrt{O_3} = \beta_1 + \beta_2 * anno + \beta_3 * n\_settimana + \beta_4 * giorno\_settimana + \beta_5 * ora \quad (5.3)$$

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )	
(Intercept)	6.30953	0.06159	102.438	< 2e-16	***
anno2006	-0.12152	0.02287	-5.313	1.08e-07	***
anno2007	-0.07176	0.02293	-3.129	0.001755	**
anno2008	-0.32285	0.02303	-14.019	< 2e-16	***
anno2009	-0.10984	0.02301	-4.774	1.81e-06	***

Figura 5.10: Boxplot  $O_3$  settimanali

anno2010	-0.06419	0.02536	-2.531	0.011378	*
n_settimana1	-4.46473	0.06737	-66.271	< 2e-16	***
n_settimana2	-4.39572	0.06756	-65.062	< 2e-16	***
.					
.					
.					
n_settimana52	-4.31192	0.07070	-60.989	< 2e-16	***
n_settimana53	-4.54137	0.11416	-39.779	< 2e-16	***
giorno_settimanaLunedì	-0.14957	0.02544	-5.879	4.16e-09	***
giorno_settimanaMartedì	-0.26966	0.02541	-10.612	< 2e-16	***
giorno_settimanaMercoledì	-0.21007	0.02535	-8.287	< 2e-16	***
giorno_settimanaGiovedì	-0.17767	0.02531	-7.020	2.25e-12	***
giorno_settimanaVenerdì	-0.20042	0.02534	-7.908	2.67e-15	***

giorno_settimanaSabato	-0.13086	0.02535	-5.163	2.45e-07	***
ora1	-0.12727	0.04609	-2.761	0.005761	**
ora2	-0.25397	0.04607	-5.513	3.55e-08	***
.					
.					
.					
ora22	0.46913	0.04608	10.180	< 2e-16	***
ora23	0.20528	0.04609	4.454	8.44e-06	***
---					

Residual standard error: 1.485 on 47987 degrees of freedom

(2302 observations deleted due to missingness)

Multiple R-squared: 0.7534, Adjusted R-squared: 0.753

F-statistic: 1705 on 86 and 47987 DF, p-value: < 2.2e-16

Come in precedenza si è applicata una trasformazione alla variabile risposta per aver un risultato migliore. Come si può vedere da questo output, l'anno che risulta meno inquinato è il 2008 con un aumento progressivo fino al picco nel 2010. Come anticipato, la ventinovesima settimana risulta quella più inquinata mentre le meno inquinate sono quelle invernali con un minimo toccato nella prima settimana dell'anno. Anche per il giorno della settimana si ha un andamento opposto rispetto agli inquinanti studiati in precedenza: il giorno più inquinato è la domenica mentre il martedì quello con un tasso di  $O_3$  minore. Per quanto riguarda l'ora, si osserva che le 15 è quella che risulta maggiormente inquinata mentre le 6 quella con un tasso minore di ozono. Anche in questo caso si può notare quanto appena detto in Figura 5.11

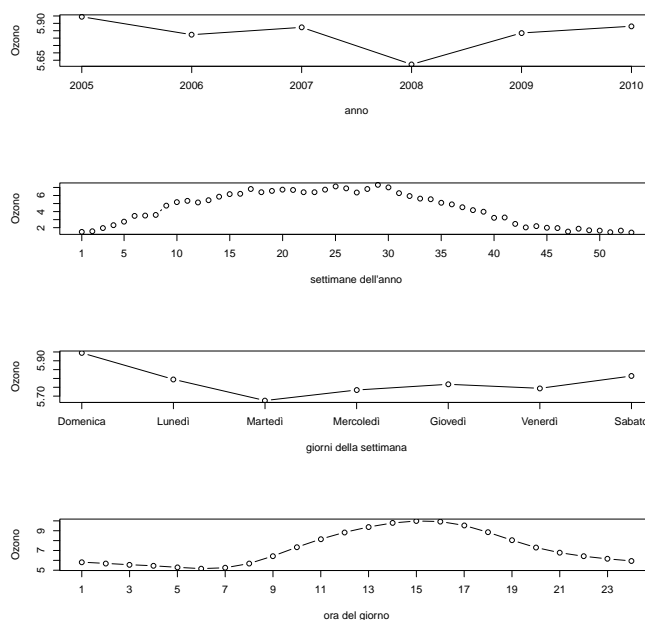


Figura 5.11: Plot tra: anni, settimane dell'anno, giorni della settimana e ore rispetto al  $O_3$

Come si può osservare dal grafico dei residui riportato in Figura 5.12 questi non sembrano rispettare gli assunti di normalità. Anche in questo caso si rimanda a ulteriori studi la ricerca di un modello più soddisfacente per dati in nostro possesso.

## 5.4 Particolato ( $PM_{10}$ )

Si esaminano i boxplot di questo inquinante rispetto agli anni:

come si può vedere dal grafico riportato in Figura 5.13 negli anni c'è un progressivo calo, anche se non sembra essere rilevante, di  $PM_{10}$  con il minimo del 2010.

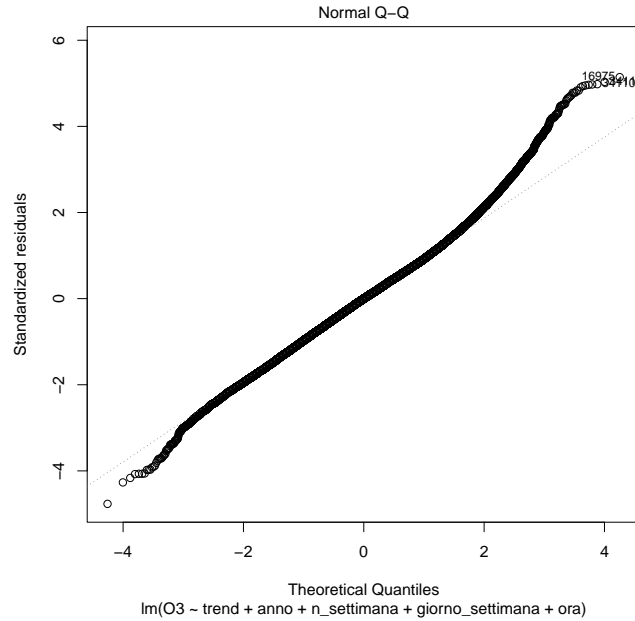


Figura 5.12: Residui del modello  $O_3$

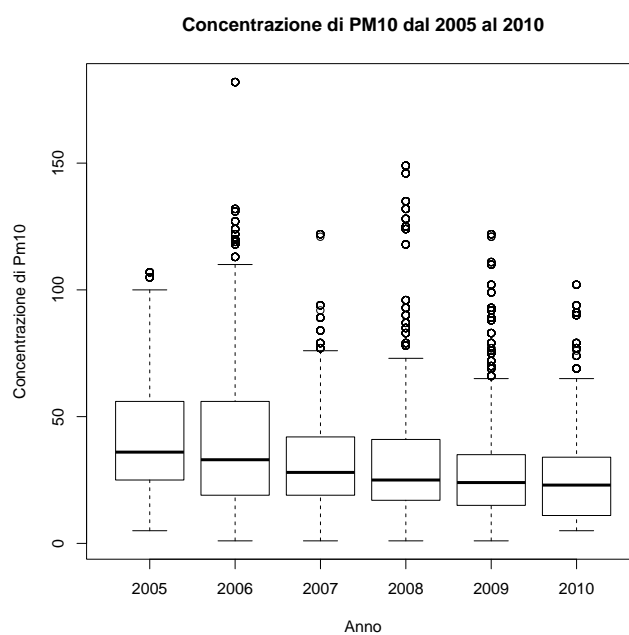
Si analizzano ora i boxplot di questo inquinante rispetto alle settimane dell'anno:

dalla Figura 5.14 emerge che si ha una maggiore quantità di inquinante nell'aria per quanto riguarda il periodo invernale con il picco nella prima settimana dell'anno, mentre il minimo è rilevabile intorno alla trentatreesima settimana.

È stato costruito il seguente modello, costruito con le variabili descritte in precedenza:

$$\sqrt{PM_{10}} = \beta_1 + \beta_2 * anno + \beta_3 * n\_settimana + \beta_4 * giorno\_settimana + \beta_5 * ora \quad (5.4)$$



Figura 5.13: Boxplot  $PM_{10}$  annuali

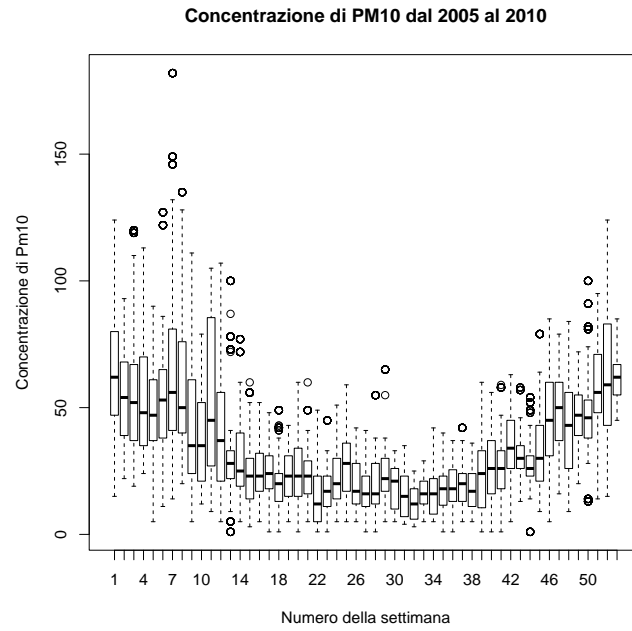
Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
(Intercept)	4.1358479	0.0693563	59.632	< 2e-16 ***
anno2006	-0.1183594	0.0243209	-4.867	1.14e-06 ***
anno2007	-0.7326839	0.0242258	-30.244	< 2e-16 ***
anno2008	-0.8230686	0.0240776	-34.184	< 2e-16 ***
anno2009	-1.0093534	0.0244004	-41.366	< 2e-16 ***
anno2010	-1.0791613	0.0262060	-41.180	< 2e-16 ***
n_settimana1	4.3407304	0.0727983	59.627	< 2e-16 ***
n_settimana2	3.5872749	0.0758906	47.269	< 2e-16 ***

.

.

.

Figura 5.14: Boxplot  $PM_{10}$  settimanali

n_settimana52	4.0606652	0.0763860	53.160	< 2e-16	***
n_settimana53	4.3194149	0.1163358	37.129	< 2e-16	***
giorno_settimanaLunedì	-0.0007208	0.0264467	-0.027	0.97826	
giorno_settimanaMartedì	-0.0819486	0.0261258	-3.137	0.00171	**
giorno_settimanaMercoledì	0.0710030	0.0261125	2.719	0.00655	**
giorno_settimanaGiovedì	0.2387207	0.0261186	9.140	< 2e-16	***
giorno_settimanaVenerdì	0.2213685	0.0260811	8.488	< 2e-16	***
giorno_settimanaSabato	0.0742136	0.0259941	2.855	0.00431	**
ora1	-0.0041063	0.7696560	-0.005	0.99574	
ora2	-0.0041063	0.7696560	-0.005	0.99574	
.					
.					
.					

ora22	0.0154385	0.0454850	0.339	0.73430
ora23	0.0162677	0.0454905	0.358	0.72064
---				

Residual standard error: 1.331 on 36304 degrees of freedom

(13985 observations deleted due to missingness)

Multiple R-squared: 0.5235, Adjusted R-squared: 0.5224

F-statistic: 463.8 on 86 and 36304 DF, p-value: < 2.2e-16

Anche per quest'ultima variabile si è applicata la trasformazione a radice quadrata in quanto è quella che portava a migliori risultati. Si può vedere dall'output una diminuzione di  $PM_{10}$  negli anni anche se con il trascorrere degli stessi risulta essere sempre minore. Per quanto riguarda le settimane, la più inquinata risulta essere la prima mentre la meno la ventiduesima. Il giovedì risulta essere il giorno con un tasso maggiore di inquinamento mentre il martedì quello con uno minore. Come per il  $CO$  e per il  $NO_2$ , l'ora meno inquinata risulta essere le 5, anche se in questa bisogna sottolineare il fatto che si hanno pochi dati registrati, mentre quella con un maggior tasso di  $PM_{10}$  è le 9. Si può vedere quanto appena descritto in Figura 5.15

Dal grafico in Figura 5.16 si osserva che anche in questo caso i residui non sembrano rispettare gli assunti di normalità per cui si rimanda ad ulteriori studi la ricerca di un modello più soddisfacente.

In conclusione si può dire che, per quanto riguarda gli anni, l'inquinamento minimo è stato registrato nel 2005 mentre il massimo nel 2010. Le settimane meno inquinate risultano essere quelle estive per il monossido di carbonio, il biossido di azoto e il  $PM_{10}$ ; l'unico inquinante che ha un andamento opposto agli altri è l'ozono che ha il picco in concomitanza con la

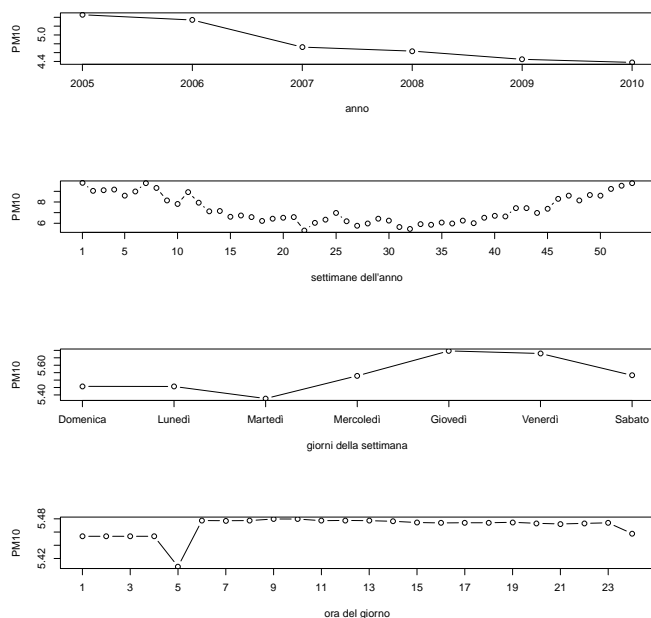
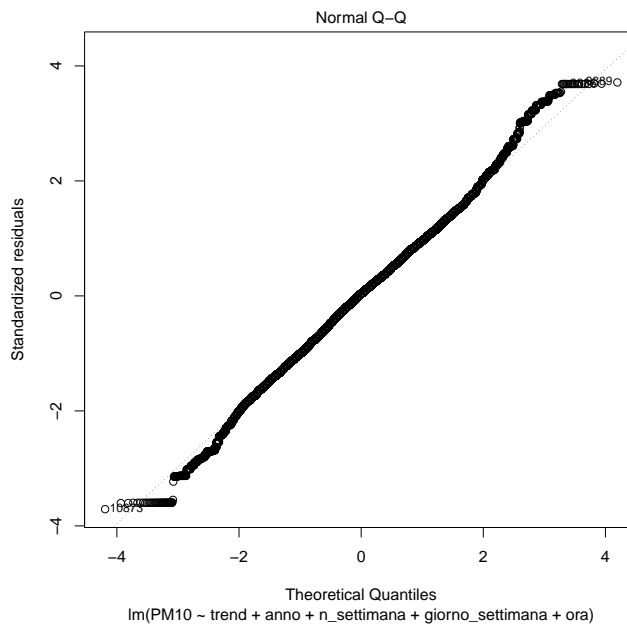


Figura 5.15: Plot tra: anni, settimane dell'anno, giorni della settimana e ore rispetto al  $PM_{10}$

settimana di Ferragosto. I giorni più inquinati sono quelli del fine settimana: per il monossido di carbonio e per il biossido di azoto è il venerdì, per l'ozono la domenica e infine per il  $PM_{10}$  il giovedì; viceversa i giorni meno inquinati sono la domenica sia per il monossido di carbonio sia per il biossido di azoto mentre il martedì per l'ozono e il  $PM_{10}$ . Per quanto riguarda le ore, il monossido di carbonio e il biossido di azoto determinano un alto tasso di inquinamento la sera, l'ozono in pomeriggio (con picco alle 15), il  $PM_{10}$  la mattina. Viceversa le ore meno inquinate sono quelle del pomeriggio per il monossido di carbonio (anche se il minimo viene toccato alle 5 del mattino) e per il biossido di azoto, mentre quelle della mattina sia per l'ozono che per il  $PM_{10}$ .

Figura 5.16: Residui del modello  $PM_{10}$



# Bibliografia

- [1] **Niccolò Iandelli.** (2010). City Sensing Feltre: rete diffusa di sensori per il monitoraggio integrato in tempo reale del territorio e dell'ambiente. <http://www.ricercasit.it/clamSiTel/Content.aspx?page=120.pdf>
- [2] **ARPAV Dipartimento Provinciale di Belluno, Servizio Sistemi Ambientali, Ufficio Reti di Monitoraggio.** (2009). Rapporto sulla qualità dell'aria per il comune di Feltre. <http://www.arpa.veneto.it/home2/htm/home.asp>
- [3] **Niccolò Iandelli.** (2010). Iuav giornale dell'università. Grafiche Veneziane, Venezia (VE)
- [4] **Alessandra Dalla Valle & Carlo Gaetan.** (2001). Materiale didattico per il corso di Inferenza Statistica I
- [5] **Francesco Pauli, Laura Ventura, Gianfranco Adimari & Alessandra R. Brazzale.** (2009). Materiale didattico per i laboratori di Modelli Statistici I

## Siti Web Consultati

[6] GPS Tracking Mysteries: What Is Elevation: <http://technology.ezinemark.com/gps-tracking-mysteries-what-is-elevation-1695fee4c4b.html>

[7] Mappa Interattiva: <http://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos-earth.php?lang=it>

[8] Calcolo del Numero del Giorno nell' Anno e del Numero della Settimana: <http://xoomer.virgilio.it/esongi/numerogiorno.html>

[9] Rante mailing list di R: <https://groups.google.com/group/rante?hl=it>