

## Formazione Green al Nautico S. Giorgio per cittadini attivi e consapevoli

**Tiziana Caliman**

*Istituto Nautico San Giorgio, Genova, Docente di Matematica*

**Alessandra Casarino**

*Istituto Nautico San Giorgio, Genova, Docente di Tecnologie chimiche*

e-mail: [calimantiziana@itnautico.edu.it](mailto:calimantiziana@itnautico.edu.it);  
[casarinoalessandra@itnautico.edu.it](mailto:casarinoalessandra@itnautico.edu.it)

---

**Abstract.** The study presents an innovative, multidisciplinary laboratory for education and training in ecological transition, involving students directly in monitoring nitrogen dioxide levels around their residences. This study aims to understand the primary causes of air pollution to enhance attention to eco-sustainability and climate change as a significant segment of the educational curriculum in Italian schools. Italian schools have a long-standing tradition of developing projects aimed at fostering an understanding of the intricate relationship between humans and the environment. These educational initiatives promote the integration of various school disciplines and environmental education, assisting students in synthesizing knowledge and viewing their academic learning as a tool to comprehend both local and global realities. Furthermore, they help students recognize their roles as active citizens who can contribute to intergenerational air quality preservation through informed and rational choices.

**Keywords:** didattica laboratoriale; inquinamento atmosferico; diossido di azoto; polveri sottili

---

### 1. Introduzione: il progetto Sentinelle, dotazioni e contributo originale del nostro Istituto

*Sentinelle dell'aria* è un progetto presentato dall'Associazione Ecoistituto di Reggio Emilia e di Genova e dal Centro di Solidarietà Bianca Costa Bozzo (CEIS), nell'ambito del Patto Giovani, promosso dalla Regione Liguria. Trattasi di un percorso didattico/laboratoriale che racchiude tematiche riconducibili all'Educazione Civica e all'Educazione Ambientale che ha coinvolto alcuni plessi scolastici genovesi. Al fulcro del progetto c'è l'aria che respiriamo, un bene comune, di vitale importanza, la cui qualità, spesso, viene meno per scelte collettive, quali ad esempio, modalità di trasporto, di produzione e di consumo

e per scelte individuali, ad es. fumo di sigarette, non buona ventilazione di ambienti e usi inadeguati dei sistemi di riscaldamento.

Il nostro Istituto ha colto l'opportunità di partecipare al progetto, diventando un centro di monitoraggio della qualità dell'aria, con la partecipazione attiva degli studenti, guidati dalla Prof.ssa Casarino e dalla Prof.ssa Caliman, dagli esperti di Ecoistituto Re-Ge, dal responsabile del progetto Dott. Federico Valerio, dal fondatore della Rete CheAriaCheTira, Niccolò Villiger, e da alcuni dirigenti dell'Arpal, il Prof. Federico Grasso e il Prof. Andrea Bisignano, che si sono resi disponibili durante le analisi.

La nostra scuola ha ricevuto:

- una mini-centralina per il monitoraggio continuativo di polveri sottili ( $PM_{10}$ ) e ultra sottili ( $PM_{2,5}$ );
- un sensore per la determinazione della concentrazione di  $CO_2$ , misurata in ppm, della temperatura (T) e dell'umidità (U%) per verificare la qualità ambientale;
- alcuni campionatori passivi per misurare le concentrazioni di inquinanti problematici per Genova, quali gli ossidi di azoto e i composti organici volatili (la scelta dei campionatori passivi è motivata dal contenuto costo e da un utilizzo semplice che non richiede un'alimentazione elettrica o a batterie); trattasi di una tecnica di monitoraggio così definita poiché la cattura dell'inquinante avviene per diffusione molecolare della sostanza attraverso il campionatore e non richiede quindi l'impiego di un dispositivo per l'aspirazione dell'aria.

Gli studenti "tester" hanno ricevuto campionatori di  $NO_2$ , da tenere per una settimana in casa propria, con allegato un questionario da compilare, in cui veniva loro richiesto di descrivere dettagliatamente gli ambienti e le condizioni di vita familiari, ossia la presenza o meno di riscaldamento a legna, calderina, presenza di fumatori e altri fattori identificati come *drivers*. I ragazzi sono stati, in primo luogo, edotti sulle reazioni chimiche che avvengono tra i gas atmosferici e sui condizionamenti reciproci che si possono verificare nella troposfera. All'interno del cilindretto del campionatore c'è, infatti, una parte assorbente che "cattura" l' $NO_2$ .

In questo modo si sono raccolti numerosi dati provenienti dalle rilevazioni e dai questionari; quindi, si deciso di effettuare analisi statistico/matematiche sul DB realizzato: due classi seconde (2A di Genova e 2B di Camogli) si sono occupate della realizzazione del DB e dell'analisi statistica dei dati, mentre una classe quinta (5C di Genova) si è interessata della modellizzazione dei dati per indagare e testare le possibili determinanti del diossido di azoto e delle polveri sottili.

Il grande apporto del nostro Istituto è stato, pertanto, quello di saper coinvolgere un discreto numero di maturandi in analisi che si sono svolte in orario

extracurriculare fornendo loro:

- conoscenze su come si costruisce e si depura un DataBase attraverso
  - la selezione delle fonti opportune e accreditate
  - l'eliminazione di eventuali *outliers*
  - la conversione di dati qualitativi in variabili di tipo binario (*dummy*), ovvero categoriale (*count variable*)
  - la selezione dei regressori mediante uno studio della letteratura sul tema
  - la scelta del modello e del metodo di stima che offre la miglior rappresentazione dei dati osservati
- modalità di analisi dei risultati andando ad approfondire le motivazioni prettamente chimiche che condizionano, riducono o aumentano l'influenza dei parametri ambientali sulla qualità dell'aria
- strategie d'indagine, di procedure sperimentali e di linguaggi specifici che costituiscono la base di applicazione del metodo scientifico applicato necessariamente come protocollo operativo al fine di valutare l'impatto sulla realtà concreta di applicazioni tecnologiche specifiche; il fenomeno dell'inquinamento atmosferico è stato, quindi, affrontato per ipotesi e verifiche sperimentali, raccolta di dati, valutazione della loro pertinenza a un dato ambito, formulazione di congetture in base a essi e costruzioni di modelli, favorendo la capacità di analizzare fenomeni complessi nelle loro componenti fisiche e chimiche
- *skill* e competenze di tipo sociale e di lavoro in *team*, capacità organizzative nella divisione del compito finalizzato ad un prodotto; il progetto si è realizzato con metodologie proprie della didattica laboratoriale in un clima di inclusività e collaborazione, facilitando lo sviluppo delle capacità personali e relazionali del discente e migliorando l'autonomia di giudizio e di azione grazie alle interdipendenze positive e alla proficua collaborazione
- competenze informatiche e multimediali che derivano, inizialmente, dall'aver dovuto scegliere un software per le analisi, studiandone il pacchetto aggiuntivo (Analisi Dati), necessario per le stime prodotte, e, secondariamente, dalla produzione di una presentazione ppt dei risultati ottenuti
- competenze dell'area scientifico-tecnologica che, contribuendo a fornire la base di lettura della realtà, diventano esse stesse strumento per l'esercizio effettivo dei diritti di cittadinanza, una cittadinanza che diviene attiva e consapevole; anche l'Agenda 2030 definisce prioritaria l'acquisizione di una visione critica sulle proposte che vengono dalla comunità scientifica e tecnologica, in merito alla soluzione di problemi, specie in ambito ambien-

tale e di salvaguardia inter intragenerazionale

- competenze disciplinari in campo chimico, dal momento che la conoscenza del comportamento dei composti chimici può aiutare a identificare la sorgente che li ha generati (traffico, industria, risolleamento crostale, trasformazione in atmosfera, ecc.), nonché a comprendere le proprietà degli inquinanti atmosferici e dei loro impatti sull'ambiente e sulla salute; in particolare, si sono approfonditi aspetti quali la formazione e composizione degli inquinanti secondari in atmosfera (particolato fine e ultrafine) e l'identificazione del legame tra la composizione del particolato presente in aria e le fonti

## 2. Analisi effettuate: il progetto Sentinelle al Nautico

A seguito di alcune sessioni di *brainstorming* effettuate con gli studenti della 5C e delle necessarie analisi di fattibilità si è deciso di indagare:

- a) da una parte, come i fattori climatici influenzano la concentrazione delle polveri sottili rilevate da tre centraline della Rete CheAriaCheTira e predisposte grazie al progetto Sentinelle dell'aria, una proprio all'interno del nostro Istituto, il Nautico San Giorgio in Darsena, le altre due individuate secondo il criterio di prossimità geospaziale (via Buozzi e Corso Firenze);
- b) dall'altra, come la concentrazione del diossido di azoto rilevato dalle nostre sentinelle può essere influenzato da fattori rilevati dal questionario e che secondo la letteratura figurano come regressori; tuttavia, stante l'estrema limitatezza campionaria che non consentiva di ottenere risultati statisticamente significativi, si è proceduto a caricare i dati NO<sub>2</sub> prodotti dalla centralina dell'ARPAL più prossima al Nautico e si è esaminato il legame traffico/concentrazione NO<sub>2</sub>.

Sono state, però, riscontrate enormi difficoltà nel reperimento dei dati inerenti al traffico giornaliero medio cittadino: l'Anaf, infatti, poteva fornire solamente informazioni relative al traffico extraurbano, mentre Enex permetteva la consultazione del DB solo a personale dipendente delle PA. Considerati i tempi stretti, dettati dal concorso nazionale "La Sfida dei Big Data" ed. 2022-2023, si è deciso di operare estendendo la dimensione temporale di analisi al quadriennio 2019-2023 e introducendo una *dummy lock down* come misura indiretta del traffico.

### 2.1 Laboratorio sentinelle: posizionamento attrezzature, selezione studenti sentinelle, istruzioni sulle modalità di rilevazione dei dati

È stato inizialmente allestito un mini-laboratorio su un banco all'interno della classe 2A, dove sono stati posizionati la centralina per misurare la concentrazione di CO<sub>2</sub>, due campionatori per NO<sub>2</sub>, un termoisigrometro per la valutazione

della T e della U% relativi ad ogni intervallo temporale ritenutosi opportuno e stabilito ex ante (Figura 1). Stessa procedura è stata seguita nella classe 2B di Camogli.



**Figura 1.** Campionatori passivi di NO<sub>2</sub> (sinistra); termoisgrometro e centralina di CO<sub>2</sub> (destra)

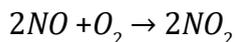
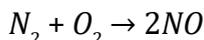
Gli studenti, incaricati delle rilevazioni in aula, per una settimana hanno preso nota (e poi riportato sul file dedicato al progetto) dei valori di T, U% e delle concentrazioni di CO<sub>2</sub> registrati in classe. I dati osservati sono stati messi in relazione con la frequenza di ricambio dell'aria e il numero di studenti/persone scolastiche presenti in classe.

Invece, agli studenti *Sentinella*, edotti sul protocollo di trasporto e modalità di corretto posizionamento, sono stati consegnati i campionatori passivi di NO<sub>2</sub> che hanno portato a casa e posizionato nel locale cucina. Agli stessi è stato somministrato un questionario, in cui si chiedevano dettagli sulla propria abitazione: piano, localizzazione in aree trafficate, prossimità geospaziale a un impianto semaforico, vista porto, presenza o meno di stufe a legna, frequenza di utilizzo dei fornelli a gas e su eventuali altre fonti di inquinamento (ad es. presenza di fumatori in casa).

Coerentemente con le attese, i ragazzi abitanti in zone molto trafficate hanno riscontrato dati "preoccupanti" per quel che riguarda la salubrità dell'aria, con valori di NO<sub>2</sub> alquanto elevati. Disattendendo i risultati previsti, la "vista porto" influenza positivamente la qualità dell'aria associandosi a un livello inferiore di NO<sub>2</sub>. Questa evidenza potrebbe giustificarsi con il fatto che, se un'abitazione ha la vista sul porto, si presuppone che la stessa sia decentrata e sopraelevata rispetto al livello del mare: quindi non essendo nel retroporto si registrano livelli inferiori di NO<sub>2</sub>.

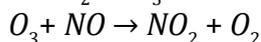
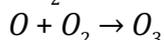
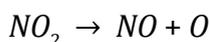
Si è riscontrata, altresì, una correlazione diretta tra l'uso dei fornelli a gas (metano) all'interno delle abitazioni e il livello di NO<sub>2</sub>. Il diossido di azoto si forma, infatti, quando ad alte temperature o ad alte pressioni l'azoto atmosferico reagisce con l'ossigeno dell'aria creando così il NO<sub>2</sub>.

Durante l'allestimento del laboratorio si è, pertanto, illustrato ai discenti che l' $\text{NO}_2$  si origina per la reazione dell'azoto contenuto nell'aria (ca. 79%  $\text{N}_2$ ) con l'ossigeno atmosferico secondo le seguenti reazioni



dando ampio spazio all'approfondimento sulle modalità con cui il monossido si converte in diossido.

Inoltre, si è spiegato loro che, alle normali temperature dell'aria, l'ossigeno e l'azoto reagiscono pochissimo tra loro e che, invece, in concomitanza di processi di combustione in cui vengono superati i 1100 °C, si ha una rapida produzione di NO mediante la prima reazione, mentre mediante la seconda reazione si forma al più lo 0.5% di  $\text{NO}_2$ . La sintesi dell' $\text{NO}_2$  inoltre può avvenire anche attraverso il ciclo fotolitico che coinvolge principalmente gli  $\text{NO}_x$ , l'ozono ( $\text{O}_3$ ), gli idrocarburi, le aldeidi e il perossiacetilnitrito (PAN), cioè gli inquinanti fotochimici. L' $\text{NO}_2$  è l'inquinante che assorbe più efficientemente la luce UV che raggiunge la Terra e questa interazione conduce ad una complessa serie di reazioni:



L' $\text{NO}_2$  viene rigenerato dalla reazione fra l'NO e l' $\text{O}_3$  formati e, pertanto, il risultato complessivo sembrerebbe una reazione ciclica continua: in condizioni di stato stazionario, l'NO e l' $\text{O}_3$  dovrebbero essere sintetizzati e distrutti in uguali quantità. Tuttavia, non mantenendosi costanti i rapporti tra  $\text{NO}_2$  e NO presenti in atmosfera, a causa dell'introduzione degli idrocarburi, si alterano gli equilibri in quanto gli idrocarburi reagiscono con gli atomi di ossigeno formando dei radicali liberi altamente reattivi che, a loro volta, ossidano l'NO a  $\text{NO}_2$ , favorendo l'accumulo di  $\text{NO}_2$  e di  $\text{O}_3$ . Questa reazione avviene senza il consumo di una equivalente quantità di  $\text{O}_3$  e, quindi, il risultato finale consiste in un accumulo di  $\text{NO}_2$  e  $\text{O}_3$  e in una rimozione di NO.

I radicali liberi possono ancora reagire con l' $\text{NO}_2$  per formare PAN o con gli idrocarburi per formare aldeidi, chetoni e alchilnitriti.

Pertanto, le fonti antropiche sono costituite dalle reazioni di combustione dei combustibili fossili sia in sorgenti stazionarie (quali le centrali termoelettriche e i riscaldamenti domestici) sia mobili (quali gli autoveicoli a com-

bustione interna), fattori che sono stati indagati dai ragazzi come variabili esplicative.

Altri fonti antropiche di  $\text{NO}_x$ , non legate a reazioni di combustione, sono rappresentate dalle industrie che utilizzano o producono l'acido nitrico ( $\text{HNO}_3$ ), da quelle che producono fertilizzanti, dai processi di saldatura e dall'uso di esplosivi. Le sorgenti antropiche, a differenza di quelle naturali, sono generalmente circoscritte a determinate aree, dove può pertanto verificarsi un rilevante accumulo di  $\text{NO}_x$ .

In sala insegnanti, infine, è stata collocata una centralina per la determinazione della concentrazione delle polveri sottili  $\text{PM}_{2,5}$  e  $\text{PM}_{10}$  (Figura 2), che ha registrato valori *outlier* solo in alcuni casi, ossia quando la stanza era troppo affollata o quando l'operatore della manutenzione del distributore di caffè muoveva la centralina e la sottoponeva a un eccesso di polveri per le operazioni di pulizia. Le principali variabili che influenzano le polveri sottili sono riconducibili alle condizioni meteorologiche che sono state indagate direttamente dai ragazzi attraverso un'analisi della letteratura sul tema e dei report ARPAL.



**Figura 2.** Centralina per le  $\text{PM}_{10}$  e  $\text{PM}_{2,5}$

## **2.2 Un'analisi sulle determinanti delle polveri sottili**

Dalla prima indagine si sono stimate 3 regressioni lineari OLS attraverso il pacchetto Excel (scaricando Analisi Dati come componente aggiuntiva), dove, come variabile dipendente, si sono considerati alternativamente i livelli di

PM<sub>10</sub> o PM<sub>2,5</sub>, rilevati dalle tre centraline prese in considerazione e, come regressori, sono stati selezionati: la temperatura media giornaliera, l'umidità, il punto rugiada, la velocità media del vento, la pressione atmosferica, la visibilità in termini di km, e una variabile *dummy* "pioggia", che assume il valore 1 qualora ci siano state in quel giorno precipitazioni di qualsiasi natura (pioggia, grandine o neve).

Nelle figure 3, 4 e 5 sono riportati gli output delle regressioni lineari delle PM<sub>2,5</sub> ricavati, rispettivamente, per la centralina in Corso Firenze, per quella di Pagano Doria e per quella posta nell'istituto Nautico San Giorgio (i dati relativi alle PM<sub>10</sub> sono del tutto comparabili).

Negli output presentati, le celle numeriche che riportano i test F di significatività dei coefficienti stimati sono state approssimate a due decimali dopo la virgola, dato che i valori ottenuti dal programma raggiungevano un numero di decimali eccessivamente elevato (fino a 10<sup>-17</sup>).

OUTPUT RIEPILOGO - CORSO FIRENZE									
<i>Statistica della regressione</i>									
R multiplo	0,49								
R al quadrato	0,24								
R al quadrato corretto	0,24								
Errore standard	4,85								
Osservazioni	779,00								
<i>ANALISI VARIANZA</i>									
	<i>gdl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>Significatività F</i>				
Regressione	7,00	5.807,82	829,69	35,32	0,00				
Residuo	771,00	18.113,83	23,49						
Totale	778,00	23.921,65							
	<i>Coefficienti</i>	<i>Errore standard</i>	<i>Stat t</i>	<i>Valore di significatività</i>	<i>Inferiore 95%</i>	<i>Superiore 95%</i>	<i>Inferiore 95,0%</i>	<i>Superiore 95,0%</i>	
Intercetta	- 196,92	24,40	- 8,07	0,00	244,81	149,03	244,81	149,03	
TMEDIA Å°C	0,17	0,13	1,30	0,19	0,08	0,42	0,08	0,42	
PUNTORUGIADA Å'	- 0,33	0,15	- 2,26	0,02	0,62	0,04	0,62	0,04	
UMIDITA %	0,08	0,03	2,75	0,01	0,02	0,13	0,02	0,13	
VISIBILITA km	- 0,74	0,10	- 7,43	0,00	0,93	0,54	0,93	0,54	
VENTOMEDIA km/h	0,15	0,03	4,82	0,00	0,09	0,21	0,09	0,21	
PRESSIONESLM mb	0,21	0,02	9,05	0,00	0,17	0,26	0,17	0,26	
pioggia	- 1,67	0,45	- 3,75	0,00	2,55	0,80	2,55	0,80	

Figura 3. Output regressione (Corso Firenze)

OUTPUT RIEPILOGO - PAGANO DORIA								
<i>Statistica della regressione</i>								
R multiplo								0,54
R al quadrato								0,29
R al quadrato corretto								0,29
Errore standard								5,41
Osservazioni								1.089,00
<i>ANALISI VARIANZA</i>								
	<i>gdl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>Significatività F</i>			
Regressione	7,00	13.158,90	1.879,84	64,30	1,87E-77			
Residuo	1.081,00	31.601,22	29,23					
Totale	1.088,00	44.760,11						
	<i>Coefficienti</i>	<i>Errore standard</i>	<i>Stat t</i>	<i>Valore di significatività</i>	<i>Inferiore 95%</i>	<i>Superiore 95%</i>	<i>Inferiore 95,0%</i>	<i>Superiore 95,0%</i>
Intercepta	- 159,30	21,58	- 7,38	0,00	201,65	116,95	201,65	116,95
TMEDIA Â°C	0,37	0,13	2,92	0,00	0,12	0,62	0,12	0,62
PUNTORUGIADA Â°C	- 0,62	0,14	- 4,26	0,00	0,90	0,33	0,90	0,33
UMIDITA %	5,65	2,71	2,09	0,04	0,33	10,97	0,33	10,97
VISIBILITA km	- 1,13	0,10	- 11,78	0,00	1,32	0,94	1,32	0,94
VENTOMEDIA km/h	0,11	0,04	3,16	0,00	0,04	0,18	0,04	0,18
PRESSIONESLM mb_rip	18,17	2,01	9,04	0,00	14,22	22,11	14,22	22,11
pioggia	- 1,85	0,43	- 4,27	0,00	2,70	1,00	2,70	1,00

Figura 4. Output regressione (Pagano Doria)

OUTPUT RIEPILOGO NAUTICO SAN GIORGIO								
<i>Statistica della regressione</i>								
R multiplo								0,30
R al quadrato								0,09
R al quadrato corretto								0,04
Errore standard								2,65
Osservazioni								134,00
<i>ANALISI VARIANZA</i>								
	<i>gdl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>Significatività F</i>			
Regressione	7,00	88,07	12,58	1,79	0,005542			
Residuo	126,00	887,42	7,04					
Totale	133,00	975,50						
	<i>Coefficienti</i>	<i>Errore standard</i>	<i>Stat t</i>	<i>Valore di significatività</i>	<i>Inferiore 95%</i>	<i>Superiore 95%</i>	<i>Inferiore 95,0%</i>	<i>Superiore 95,0%</i>
Intercepta	- 37,82	32,02	- 1,18	0,24	101,18	25,54	101,18	25,54
TMEDIA Â°C	- 0,14	0,21	- 0,71	0,48	0,55	0,26	0,55	0,26
PUNTORUGIADA Â°C	0,20	0,23	0,88	0,38	0,25	0,66	0,25	0,66
UMIDITA %	0,97	4,04	0,24	0,81	7,04	8,97	7,04	8,97
VISIBILITA km	0,00	0,13	0,01	1,00	0,25	0,25	0,25	0,25
VENTOMEDIA km/h	0,13	0,05	2,50	0,01	0,03	0,22	0,03	0,22
PRESSIONESLM mb_rij	3,91	2,94	1,33	0,19	1,91	9,72	1,91	9,72
pioggia	- 1,26	0,60	- 2,11	0,04	2,44	0,08	2,44	0,08

Figura 5. Output regressione (Nautico)

Si evidenziano problemi con la centralina disposta all'interno del nostro istituto riconducibili *in primis* all'aver dovuto installare la centralina in sala professori, piuttosto che all'esterno dell'istituto, tuttavia, questo limite sarà superato in corso del prossimo anno scolastico. Inoltre, durante le rilevazioni la centralina è stata spostata e durante le azioni di manutenzione della macchina del caffè si registravano picchi anomali; pertanto, in alcuni periodi si è proceduto alla depurazione del DB. Da qui la scarsa significatività sia delle variabili esplicative, sia la scarsa capacità esplicativa (R2) e robustezza del modello stesso (test F).

Per le altre regressioni rileviamo invece un test F di significatività congiunta dei coefficienti stimati buona e una discreta o buona capacità regressiva. Quasi tutte le variabili esplicative individuate risultano significative e di impatto non trascurabile, in particolare: pressione atmosferica; precipitazioni; vento e nebbia. Per ciascuna di queste variabili se ne sono analizzate le motivazioni con i ragazzi e con il personale ARPAL.

Quando la pressione atmosferica, ossia la forza esercitata dall'atmosfera sulla superficie terrestre, diminuisce, l'aria tende a salire verso lo spazio, portando con sé le particelle di polvere sottile presenti nell'aria. Viceversa, quando la pressione atmosferica aumenta, l'aria tende a scendere verso la superficie terrestre, trascinando con sé le particelle di polvere sottile (da qui i coefficienti stimati significativi e positivi).

Le precipitazioni d'altronde possono lavare via le particelle di polveri sottili dal cielo, pulendo l'aria. Ciò avviene perché le particelle di polvere sottile vengono raccolte e trasportate dalla pioggia o dalla neve e depositate a terra (coefficienti significativi e negativi).

Il vento diffonde le particelle di polvere sottili nell'aria; in particolare, i venti forti possono sollevare grandi quantità di polveri sottili da superfici come il suolo e spostarle in altre zone (coefficienti significativi e positivi).

La nebbia (visibilità), infine, può contribuire all'accumulo di particelle di polvere sottile nell'aria; quando la nebbia si forma, le goccioline d'acqua si condensano sulle particelle già presenti nell'aria e le fanno cadere verso il suolo (coefficienti significativi e negativi).

### ***2.3 Un'analisi dell'influenza del traffico sul diossido di azoto: il DB e le analisi con giustificazioni chimiche dei risultati***

In tabella 1 sono riportati gli output delle rilevazioni effettuate dai ragazzi coinvolti nel progetto quali sentinelle dell'aria.

Localizzazione	data: d	data:	CODset	Class	Indirizzo	Pian	traffico	semafor	vista port	uso forn	Fumo sigaret	legn	metan	NO2
Borzoli	22-nov	27-nov	OV572	2B	via Artica Romana Occ	1	1	1	0	3	0	0	0	5,00
Borzoli	16-nov	23-nov	OQ093		Salita Granarolo 24 Est	3	0	0	1	0	0	0	0	5,00
Borzoli	30-ago	06-set	OQ089		via Mazzini Bogliasco	2	0	0	0	0	0	0	0	5,00
Borzoli	25-nov	02-dic	OZ372		Esterno terrazzo	4	0	0	1	0	0	0	0	7,00
Borzoli	25-nov	02-dic	OZ372	2A	Esterno terrazzo	4	0	0	1	0	0	0	0	7,00
Borzoli	16-nov	23-nov	OQ092	1B	Salita Granarolo 24 int	3	0	0	1	0	0	0	0	7,00
Borzoli	30-ago	06-set	OQ090		via Mazzini Bogliasco	2	0	0	0	2	0	0	1	7,00
Naut. Colombo	25-nov	02-dic	OZ367	2A	Interno 2A	2	0	0	1	0	0	0	0	8,00
Naut. Colombo	16-nov	23-nov	OQ095	1B	via San Marino	0	0	0	0	3	0	0	1	8,00
Naut. Colombo	30-ago	13-set	OQ088		via Mazzini Bogliasco	2	0	0	0	2	0	0	1	9,00
Naut. Colombo	07-set	14-set	OV556		via Torti 35 esterno gia	0	1	0	0	0	0	0	0	10,00
Naut. Colombo	07-set	14-set	OV558		via Torti Sala ingresso	0	1	0	0	1	0	0	0	11,00
Naut. San Giorgio	25-nov	02-dic	OZ371	2A	via Dino Bellucci	5	0	0	0	3	1	0	0	12,00
Naut. San Giorgio	07-set	21-set	OV557		via Torti 35 esterno gia	0	1	0	0	0	0	0	0	12,00
Naut. San Giorgio	11-ott	18-ott	OV566	2A	via san felice	4	0	0	0	3	0	0	1	14,00
Naut. San Giorgio	11-ott	18-ott	OV565	2A	Interno 2A	2	0	0	1	0	0	0	0	15,00
Naut. San Giorgio	11-ott	25-ott	OV564	2A	Interno 2A	2	0	0	1	0	0	0	0	15,00
Naut. San Giorgio	22-nov	30-nov	OZ356		via Pacinotti GE	1	1	1	0	0	0	0	0	15,00
Naut. San Giorgio	26-nov	02-dic	OZ362		via Torti	1	1	0	0	1	1	0	1	16,00
Naut. San Giorgio	21-nov	28-nov	OV573	2B	Piazzale Europa	6	1	0	0	3	0	0	0	17,00
Naut. San Giorgio	11-ott	18-ott	OV559		Esterno terrazzo	4	0	0	1	0	0	0	0	17,00
Naut. San Giorgio	11-ott	25-ott	OV553	2A	Via gromagnani	7	0	0	1	3	0	0	1	17,00
Naut. San Giorgio	16-nov	23-nov	OQ097	1B	via San Marino	2	1	0	1	3	0	0	1	17,00
Naut. San Giorgio	17-nov	23-nov	OQ099	1B	via San Marino	1	0	0	1	3	1	0	1	17,00
Naut. San Giorgio	22-nov	29-nov	OQ107	3D	via Molinassi	2	0	0	0	2	1	0	1	18,00
Naut. San Giorgio	22-nov	29-nov	OQ101	3C	v. s. Biagio di Valpolcev	5	0	0	0	3	0	0	0	19,00
S. Francesco Paola	22-nov	29-nov	OQ104	3C	via Costa Verde	3	1	0	0	0	0	0	1	19,00
S. Francesco Paola	22-nov	28-nov	OV570	2B	via Andrea di Rovereto	0	0	0	0	0	0	1	1	19,00
S. Francesco Paola	25-nov	02-dic	OZ359	2A	via Monte Zovetto	2	0	1	0	3	0	0	1	20,00
S. Francesco Paola	25-nov	02-dic	OZ369	2A	via Stefano Moro	6	1	0	0	0	0	0	0	21,00
S. Francesco Paola	22-nov	28-nov	OZ353		via Marina di Robliant	5	0	0	0	3	0	0	1	21,00
S. Francesco Paola	22-nov	29-nov	OQ103	3C	via Borzoli	2	1	0	0	3	0	0	1	22,00
S. Francesco Paola	21-nov	07-dic	OV567	2B	Villa tassani	2	0	0	0	3	0	0	1	22,00
S. Francesco Paola	22-nov	29-nov	OQ105	3D	via Borzoli	5	1	0	0	3	0	0	1	23,00
ANPAS Uffici	25-nov	02-dic	OZ370	2A	via G. Pittaluga	0	1	1	0	3	1	0	1	28,00
volontario ANPAS	25-nov	02-dic	OZ368	2A	corso Martinetti	0	0	0	0	1	0	0	0	29,00
volontario ANPAS	16-nov	23-nov	OQ098	1B	via A. Scariaglia	1	1	1	0	3	0	0	1	29,00
volontario ANPAS	25-nov	01-dic	OZ361		via Cellini	0	0	0	0	1	0	0	0	30,00
Circolo Zenzero	21-nov	28-nov	OV569	2B	Via Monsignore Podest	1	1	0	0	3	0	1	0	32,00
Circolo Zenzero	16-nov	23-nov	OQ096	1B	via Faenza	4	0	0	1	3	0	0	0	32,00
Circolo Zenzero	16-nov	23-nov	OQ094	1B	via Barbareschi	6	0	0	1	3	0	0	0	33,00
Circolo Zenzero	22-nov	29-nov	OQ106	3D	via Costa Verde	4	0	0	0	2	1	0	1	34,00
Dopo scuola	22-nov	29-nov	OQ108	3C	via Pietro Leva	1	1	0	0	3	1	0	1	34,00
Dopo scuola	11-ott	25-ott	OV562		Esterno terrazzo	4	0	0	1	0	0	0	0	37,00
Bogliasco estemo	22-nov	30-nov	OZ355		V. Michele de Negri (sei	1	0	0	0	3	1	1	0	37,00
Bogliasco interno	22-nov	30-nov	OV563		viale alla Pineta	2	1	0	0	3	0	0	1	42,00
Bogliasco interno	25-nov	02-dic	OZ360		via Torti Cucina circolo	0	1	0	0	3	0	0	1	63,00

Tabella 1. Estratto DB

Si è cercato di indagare la correlazione tra i livelli di NO<sub>2</sub> riscontrati nelle loro abitazioni su una serie di variabili ritenute rilevanti e colte attraverso la somministrazione di questionari sviluppati ad hoc: la presenza di fumatori in casa, l'utilizzo dei fornelli a gas (1-3 a seconda dei pasti cucinati in casa), la localizzazione dell'abitazione in zone trafficate o in prossimità del porto o di semafori e la tipologia di riscaldamento.

Tuttavia, data la scarsa numerosità campionaria non si poteva stimare un modello regressivo: la significatività e robustezza dei risultati erano scarsi.

Pertanto, si è proceduto utilizzando dati forniti dall'ARPAL relativi ad una centralina posta in prossimità del nostro istituto (via Buozzi) e ci si è concentrati sul legame tra NO<sub>2</sub> e traffico. Infatti, in fase di accelerazione o di marcia normale veicolare, si ha maggior produzione di ossidi di azoto. Come già detto, la reazione tra l'azoto molecolare, estremamente inerte, e l'ossigeno avviene in presenza di calore, emesso dal motore, che fornisce un'elevata quantità di energia (energia di attivazione). Le marmitte catalitiche hanno invece la proprietà di riportare questi inquinanti ad azoto molecolare.

Si sono costruite due variabili lockdown, come misura indiretta del traffico cittadino, e si sono stimate due distinte regressioni. Le due variabili sono di seguito riportate:

- variabile *dummy strong*, che tiene conto dei periodi nei quali si era impossibilitati a uscire dalle proprie abitazioni, eccezion fatta per alcune limitate esigenze disciplinate legalmente; questi periodi, nel nostro DB, vengono identificati col numero 1;
- variabile *categorica easy & strong*, che tiene conto delle chiusure sia totali che parziali; questi periodi, nel DB, vengono identificati con 1 per le chiusure totali e 0,5 per le chiusure parziali.

In entrambe le regressioni (Figura 6), la *dummy strong* risulta significativa e di una magnitudo non trascurabile: circa 10 punti in meno di NO<sub>2</sub> qualora ci sia il blocco totale. Per la *categorica easy & strong*, qualora il blocco sia parziale, si ha un abbassamento di NO<sub>2</sub> di circa 5 punti, ossia il valore assunto dalla variabile in caso di limitazioni parziali diventa 10,3 × 0,5.

OUTPUT RIEPILOGO NO2 E LOCK DOWN STRONG									
<i>Statistica della regressione</i>									
R multiplo	0,251474								
R al quadrato	0,063239								
R al quadrato corr	0,06237								
Errore standard	14,73713								
Osservazioni	1079								
ANALISI VARIANZA									
	<i>gdf</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>Significatività F</i>				
Regressione	1	15790,68	15790,67776	72,70678981	5,0289E-17				
Residuo	1077	233906,1	217,1829866						
Totale	1078	249696,8							
	<i>Coefficie nti</i>	<i>Errore standard</i>	<i>Stat t</i>	<i>Valore di significatività</i>	<i>Inferiore 95%</i>	<i>Superior e 95%</i>	<i>Inferiore 95,0%</i>	<i>Superior e 95,0%</i>	
Intercetta	48,8478	0,496789	98,32715784	-	47,8730216	49,82259	47,87302	49,82259	
LOCK DOWN	-9,86378	1,156793	-8,528827652	5,02889E-17	-12,1336007	-7,59395	-12,1336	-7,59395	
OUTPUT RIEPILOGO LOCKDOWN EASY E STRONG									
<i>Statistica della regressione</i>									
R multiplo	0,26501								
R al quadrato	0,07023								
R al quadrato corr	0,069367								
Errore standard	14,68204								
Osservazioni	1079								
ANALISI VARIANZA									
	<i>gdf</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>Significatività F</i>				
Regressione	1	17536,31	17536,31318	81,35153946	8,4607E-19				
Residuo	1077	232160,4	215,5621552						
Totale	1078	249696,8							
	<i>Coefficie nti</i>	<i>Errore standard</i>	<i>Stat t</i>	<i>Valore di significatività</i>	<i>Inferiore 95%</i>	<i>Superior e 95%</i>	<i>Inferiore 95,0%</i>	<i>Superior e 95,0%</i>	
Intercetta	49,53655	0,526398	94,10481394	-	48,5036718	50,56943	48,50367	50,56943	
LIMITAZIONI									
SOFT & STRONG	-10,2502	1,136447	-9,019508826	8,46069E-19	-12,4800944	-8,02029	-12,4801	-8,02029	

Figura 6. Output regressione NO<sub>2</sub>

Si è osservata una forte correlazione tra il traffico veicolare e l'NO<sub>2</sub>, con un impatto di 10,3 su 50, sintomo di una situazione che deve essere maggiormente "regolamentata".

### 3. Conclusione

Questa attività è stata realizzata con gli studenti con un primario obiettivo: comprendere appieno il ruolo di cittadino attivo che, un domani, gli studenti dovranno saper svolgere nella società, riconoscendo il problema pressante dell'inquinamento atmosferico, capendone le sue determinanti e le possibili strategie attuabili per la salvaguardia intra e intergenerazionale.

Per questo motivo si sono studiati, modellizzandoli, gli inquinanti, le loro determinanti, con un approfondimento sugli aspetti chimici. Si è analizzato, inoltre, l'impatto che le particelle inquinanti hanno sull'ambiente e sulla salute umana.

I ragazzi partecipando a questo progetto si sono costituiti parte attiva di uno studio che ha esplorato l'asse scientifico-tecnologico del mondo circostante: hanno osservato, misurato, studiato alcuni inquinanti atmosferici. In tal modo hanno compreso il valore della conoscenza del mondo naturale e di quello delle attività umane, come parte integrante della loro formazione globale.

Durante le attività proposte gli studenti hanno acquisito metodi, concetti, atteggiamenti indispensabili a interrogarsi, osservare e comprendere il mondo e si sono misurati con la molteplicità, problematicità e trasformabilità del reale.

Per questo l'apprendimento centrato sull'esperienza e l'attività di laboratorio assume particolare rilievo. L'adozione di strategie d'indagine, di procedure sperimentali e di linguaggi specifici costituisce la base di applicazione del metodo scientifico e della matematica applicata. Secondariamente, il lavoro in gruppi eterogenei ha migliorato l'inclusività e ha creato un ambiente favorevole all'apprendimento.

In ultimo, la partecipazione al concorso nazionale ha costituito un rilevante incentivo che ha indotto alcuni ragazzi a uno notevole impiego di tempo extracurricolare grazie alla motivazione intrinseca (desiderio di riuscire a concludere il lavoro producendo stime robuste) ed estrinseca (speranza di vincere i crediti universitari come premio).

La consideriamo, pertanto, un'esperienza di successo da replicare in futuro per l'indubbio carattere multidisciplinare e *green* dell'attività, per il riscontro avuto dai ragazzi, per le conoscenze e competenze acquisite, in primis imparare a imparare, facendosi parte attiva del processo di apprendimento che è andato ben oltre i meri programmi didattici, infine per i risultati ottenuti. Si è, infatti, partecipato a un concorso nazionale per studentesse e studenti degli istituti d'istruzione di secondo grado, terza edizione 2023-24, bandito dal Dipartimento di Economia e Statistica Cognetti de Martiis dell'Università di Torino e intitolato "La sfida dei Big Data – Comprendere il cambiamento climatico grazie ai dati".

## Ringraziamenti

Le autrici desiderano ringraziare il Dirigente Scolastico dell'Istituto Nautico San Giorgio, Prof. Paolo Fasce, per la disponibilità degli ambienti ove sono state collocate le centraline e i rilevatori, il personale della scuola, che ha personalmente sorvegliato e controllato le centraline e gli studenti coinvolti, i nostri ragazzi, che hanno dimostrato una grande maturità e autonomia di gestione e, *last not least*, i colleghi che hanno pazientemente supportato le nostre attività.

## Bibliografia di riferimento

- AA.VV., *Verso una cultura della sostenibilità: educazione e formazione come leve del cambiamento*, Seminario Tecnico, 27 settembre 2021- Evento virtuale (<https://www.mase.gov.it/pagina/verso-una-cultura-della-sostenibilita-27-settembre-2021>).
- ARPAL (Agenzia regionale per la protezione dell'ambiente ligure – U.O. Qualità dell'Aria), Report sugli effetti per la qualità dell'aria del lockdown, 2020 ([https://www.arpal.liguria.it/files/ARIA/2020/Lockdown/report\\_lockdown\\_4\\_0\\_ok.pdf](https://www.arpal.liguria.it/files/ARIA/2020/Lockdown/report_lockdown_4_0_ok.pdf)).
- G. Morgan, D. Lincoln, V. Sheppard, B. Jalaludn, The effects of low-level air pollution on daily mortality and hospital admissions in Sydney, Australia, 1994 to 2000, *ISSE-571, Epidemiology*, 2003, **14**(5), S111-S112.
- E. Garnett, Developing a feeling for error: Practices of monitoring and modelling air pollution data, *Big Data & Society*, 2016, **3**, 1-12 (DOI: 10.1177/2053951716658061).
- D. Traversi, C. Pignata, E. Anedda, G. Gilli, Perspective of low-cost biosensors for genotoxic potential evaluation of urban air, *European Journal of Public Health*, 2020, **30** (Supplement 5), V562-V563 (<https://doi.org/10.1093/eurpub/ckaa166.090>).
- G. A. Hurst, et al., International perspectives on green and sustainable chemistry education via systems thinking, *Journal of Chemical Education*, 2019, **96**, 2794-2804 (<http://dx.doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00341>).
- X. Li, L. Ma, S. Khan, X. Zhao, The role of education and green innovation in green transition: advancing the United Nations Agenda on Sustainable Development, *Sustainability*, 2023, **15**, 12410 (<https://doi.org/10.3390/su151612410>).
- WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub>), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228>)

## Siti dai quali si sono ricavati i dati

Sito usato per accedere alle centraline di monitoraggio della qualità dell'aria, installate grazie al progetto Sentinelle dell'Aria nella provincia di Genova:

<http://www.cheariatira.it/rete-centraline-di-monitoraggio-provincia-di-genova/>

Sito usato per estrarre i dati meteorologici riguardanti vento, temperatura media, precipitazioni, pressione atmosferica e altri dati nel periodo 01/01/2019 - 31/03/2023: <https://www.ilmeteo.it/portale/archivio-meteo/Genova/>

Siti usati per risalire ai giorni di lockdown durante la pandemia per valorizzare una variabile dummy come misura indiretta del traffico: <https://www.ilgiorno.it/cronaca/lockdown-1.6111968>; [https://it.wikipedia.org/wiki/Gestione\\_della\\_pandemia\\_di\\_COVID-19\\_in\\_Italia](https://it.wikipedia.org/wiki/Gestione_della_pandemia_di_COVID-19_in_Italia)

Sito usato per estrarre i dati relativi al diossido di azoto (NO<sub>2</sub>): <https://www.arpal.liguria.it/area-riservata/58-flexicontent/temi-news/4755-report-arpal-sugli-effetti-per-la-qualità-dell-aria-del-lockdown.html>