

BASSA FRIULANA ORIENTALE

SINTESI SULLA QUALITÀ DELL'ARIA

(anni 2015-2020)

Sommario

1. INTRODUZIONE	1
2. IL MONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA NELLA BASSA FRIULANA	3
2.1 CONTESTO METEOROLOGICO	4
3. PARAMETRI MONITORATI	8
3.1 OSSIDI DI AZOTO	9
3.1.1 Biossido di azoto	9
3.1.2 Effetto del <i>lockdown</i> 2020 sulle concentrazioni di NO₂	14
3.1.3 Misure di NO_x per la protezione della vegetazione	16
3.2 OZONO	17
3.3 MATERIALE PARTICOLATO	23
3.3.1 PM₁₀	23
3.3.2 PM_{2.5}	28
4. CONCLUSIONI	31
5. BIBLIOGRAFIA	33

Indice delle figure

Figura 1: attuale zonizzazione della regione Friuli Venezia Giulia.....	1
Figura 2: mappa dell'area monitorata.	4
Figura 3: principali parametri meteorologici rilevati dalla stazione OSMER di Cervignano del F. fra il 2015 e il 2020.	6
Figura 4: altezza dello strato di rimescolamento (misurata in metri) per l'anno 2020 per Morsano al T., Torviscosa e Udine. Dall'alto in basso medie mensili, settimana tipo e giorno tipo.....	7
Figura 5: concentrazioni medie orarie di NO ₂ presso le cinque stazioni della Bassa friulana e Udine durante il 2020.....	11
Figura 6: concentrazioni medie annue di NO ₂ nelle 5 stazioni della Bassa Friulana e Udine negli ultimi 6 anni. Mancano gli istogrammi di Carlino 2016 e Castions 2020 in quanto i dati sono parziali e quindi non sono rappresentativi dell'intero anno.....	12
Figura 7: settimana tipo delle concentrazioni di NO ₂ nel 2020 nelle cinque stazioni della Bassa friulana e nella stazione di fondo urbano di Udine.	13
Figura 8: giorno tipo delle concentrazioni di NO ₂ nel 2020 nelle cinque stazioni della Bassa friulana e nella stazione di fondo urbano di Udine. Le prime due ore del giorno sono state eliminate a causa dei controlli notturni automatici della strumentazione di cabina.	13
Figura 9: concentrazioni medie mensili di NO ₂ delle stazioni di Torviscosa (sinistra) e Nogaro (destra). Confronto fra gli andamenti nel corso del 2020 e dei quattro anni precedenti.	14
Figura 10: Operatività della centrale Edison S.p.A. di Torviscosa espressa in potenza erogata (MW). Confronto fra gli andamenti nel corso del 2020 e dei quattro anni precedenti.....	15
Figura 11: grafici relativi alla media annua e al numero di sforamenti della quota di 120 e 180 µg/m ³ per l'ozono nelle stazioni della Bassa friulana e di Udine (via Cairolì) negli ultimi sei anni. Il numero di sforamenti dei 120 µg/m ³ non dovrebbe superare i 25 giorni in un anno.....	19
Figura 12: grafici relativi alla media mensile (sinistra) e media estiva da aprile a settembre (destra) dell'irraggiamento solare (kJ/m ²) misurato dalla stazione-OSMER di Cervignano del Friuli negli ultimi sei anni.....	20
Figura 13: andamenti mensili dei descrittori dell'ozono (conteggio del numero di superamenti), dell'irraggiamento solare (media) e della piovosità (conteggio del numero di giorni di pioggia) per la stazione di Malisana dal 2016 al 2020.....	21
Figura 14: andamento delle medie mensili di ozono nel 2020 presso le stazioni di Udine, Malisana e Nogaro.	22
Figura 15: settimana tipo delle concentrazioni di ozono nel 2020 presso le stazioni di Udine, Malisana e Nogaro.	22
Figura 16: giorno tipo delle concentrazioni di ozono nel 2020 presso le stazioni di Udine, Malisana e Nogaro.....	22
Figura 17: concentrazioni medie giornaliere di PM ₁₀ nelle 7 stazioni nel 2020.....	25
Figura 18: concentrazioni medie mensili di PM ₁₀ nelle 7 stazioni indagate dal 2015 al 2020.....	26
Figura 19: concentrazioni medie annue di PM ₁₀ nelle 7 stazioni indagate dal 2015 al 2020.....	26
Figura 20: grafico a dispersione XY della concentrazione di PM ₁₀ contro l'altezza dello strato di rimescolamento dell'aria (PBL). Dati 2020 relativi alle stazioni di Torviscosa, Udine e Morsano. Sono state escluse le tre giornate di fine marzo interessate dal trasporto di polveri caucasiche.....	27
Figura 21: giorno tipo relativo alle concentrazioni di PM ₁₀ della stazione di Nogaro (da marzo a dicembre 2020) e all'altezza dello strato di rimescolamento (Torviscosa 2020). Si osserva una correlazione inversa.	27
Figura 22: concentrazioni medie mensili di PM ₁₀ della stazione di Torviscosa. Confronto fra gli andamenti nel corso del 2020 e dei cinque anni precedenti.....	28
Figura 23: PM _{2,5} - concentrazioni medie mensili (2019-2020).....	29
Figura 24: PM _{2,5} - concentrazioni medie mensili nella seconda metà del 2020.....	30
Figura 25: PM _{2,5} - concentrazioni medie giornaliere nella seconda metà del 2020.....	30

Indice delle tabelle

Tabella 1: configurazione delle cinque stazioni della Bassa friulana. Nelle celle bianche i parametri non più monitorati, nelle celle azzurre quelli attualmente monitorati.....	8
Tabella 2: NO ₂ - valori di riferimento previsti dalla normativa.....	9
Tabella 3: massime orarie e medie annue di NO ₂ dal 2015 al 2020 presso le cinque stazioni.....	10
Tabella 4: NO _x - valori di riferimento previsti dalla normativa.....	16
Tabella 5: medie annue di NO _x dal 2015 al 2020 presso le cinque stazioni della Bassa friulana e, per confronto, la stazione di fondo urbano di Udine. ^a Dati fino a luglio 2020; ^b Dati parziali per l'anno 2016.	16
Tabella 6: O ₃ - valori di riferimento previsti dalla normativa.....	17
Tabella 7: massime orarie e medie annue di O ₃ dal 2015 al 2020 presso quattro stazioni della Bassa friulana e, per confronto, la stazione di fondo urbano di Udine. ^a Dati fino a luglio 2020.	18
Tabella 8: numero di ore di superamento della soglia di informazione (µg/m ³) e numero di giorni di superamento del valore bersaglio (µg/m ³) di O ₃ dal 2015 al 2020 presso quattro stazioni della Bassa friulana e, per confronto, la stazione di fondo urbano di Udine. ^a Dati fino a luglio 2020.	18
Tabella 9: PM ₁₀ - valori di riferimento previsti dalla normativa.....	23
Tabella 10: media annua e numero di superamenti del limite giornaliero per il PM ₁₀ . Nelle stazioni Şişecam non sono stati riportati alcuni dati in quanto la copertura annua non è risultata sempre sufficiente (problemi strumentali).....	24
Tabella 11: altri dati statistici per il PM ₁₀ non richiesti dalla normativa. Nelle stazioni Şişecam non sono stati riportati alcuni dati in quanto la copertura annua non è risultata sempre sufficiente (problemi strumentali).	24
Tabella 12: PM _{2,5} – valori di riferimento previsti dalla normativa.....	28
Tabella 13: PM _{2,5} – concentrazioni medie annue nelle varie stazioni. *Dati a partire da agosto 2020. Nelle stazioni Şişecam non sono stati riportati alcuni dati in quanto la copertura annua non è risultata sempre sufficiente (problemi strumentali).....	29

1. INTRODUZIONE

La valutazione e la gestione della qualità dell'aria ambiente in Italia sono attualmente regolamentate dal D.Lgs. 155/2010, recepimento della Direttiva Europea 2008/50/CE. Questo Decreto dà indicazioni rispetto alla zonizzazione del territorio da monitorare, catalogando i vari siti di monitoraggio in base alla loro collocazione e in base a quali sono i principali impatti che essi subiscono, elenca gli inquinanti da monitorare e i rispettivi limiti di legge e specifica quali devono essere le strategie da adottare per eseguirne il monitoraggio (non solo misurazioni ma anche modelli).

La regione Friuli Venezia Giulia è stata ripartita in tre zone (di montagna, di pianura e triestina) sulla base di aspetti come il carico emissivo, le caratteristiche orografiche, le caratteristiche meteo-climatiche e il grado di urbanizzazione (Figura 1).

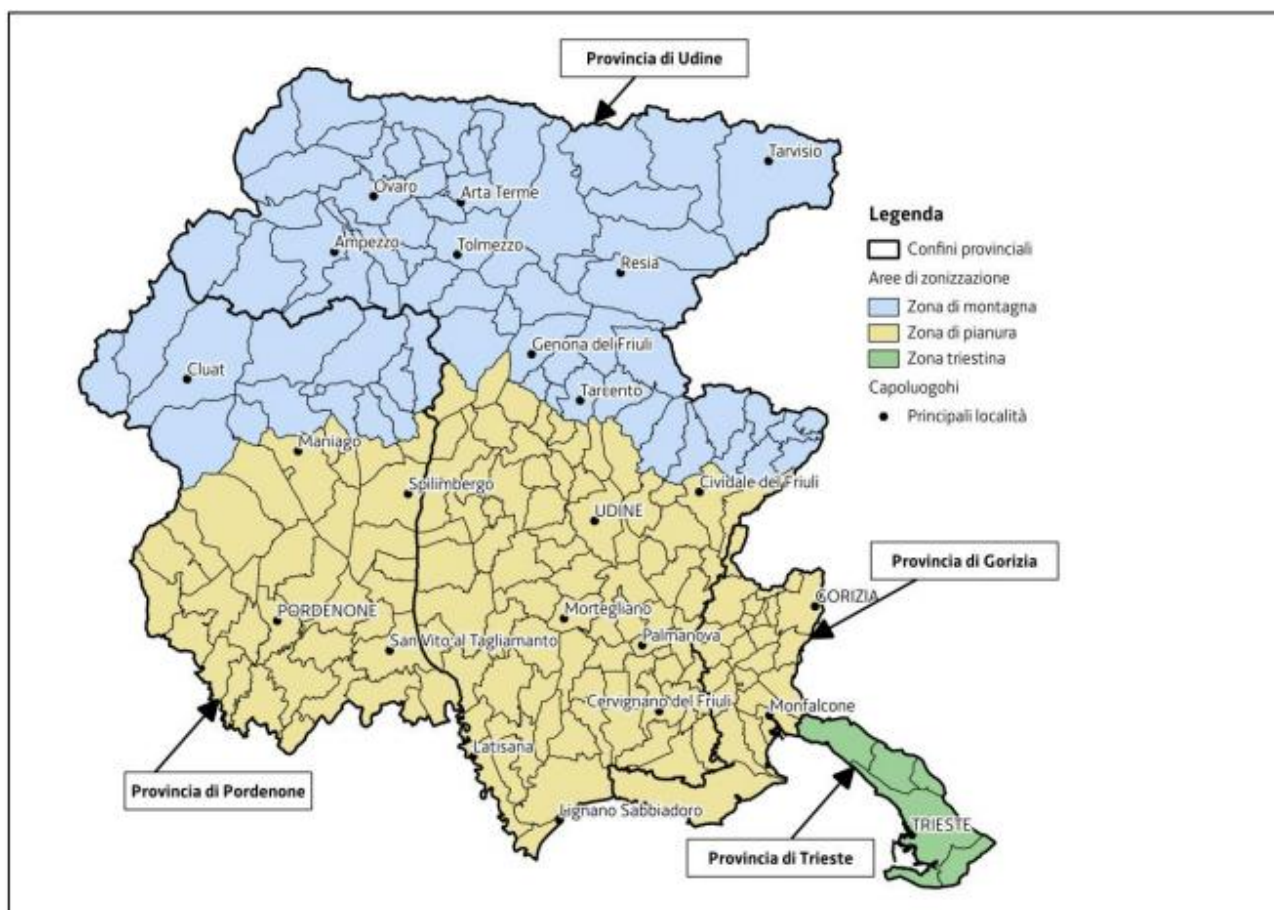


Figura 1: attuale zonizzazione della regione Friuli Venezia Giulia.

Sull'intero territorio regionale sono dislocate più di trenta stazioni fisse di monitoraggio della qualità dell'aria che costituiscono la Rete Regionale di Rilevamento della Qualità dell'Aria (RRQA). Tali stazioni, in base al loro posizionamento, vengono classificate come stazioni urbane, suburbane o rurali. Si definisce urbano un sito inserito in un'area edificata in continuo o almeno in modo predominante (è questo il caso delle città), suburbano è invece un sito inserito in un'area largamente edificata in cui sono presenti sia zone edificate, sia zone non

urbanizzate (è questo il caso della maggior parte delle realtà locali della nostra regione). Tutti gli altri siti sono considerati rurali e si definiscono rurali remoti quelli posti a più di 50 km dalle fonti di emissione.

In base al principale impatto che le diverse stazioni subiscono, esse vengono distinte in industriali, da traffico o di fondo. Le stazioni di maggior interesse ai fini del D.Lgs. 155/2010, quindi ai fini della tutela della salute umana, sono le stazioni di fondo, ovvero quelle stazioni che non sono impattate direttamente da una fonte ben specifica (come il traffico veicolare, il riscaldamento residenziale o specifiche attività industriali) ma dal contributo integrato di tutte le fonti. Esse dunque si prestano a descrivere la qualità dell'aria che mediamente si respira in un dato contesto territoriale.

Il D.Lgs. 155/2010 fa un elenco ben preciso di quelli che sono i parametri da monitorare ai fini della tutela della salute umana e degli ecosistemi. Gli inquinanti attualmente normati si distinguono in due famiglie: quella dei macroinquinanti, fra cui si annoverano il materiale particolato (PM_{10} e $PM_{2,5}$), il biossido di azoto (NO_2), l'ozono (O_3), il monossido di carbonio (CO), il biossido di zolfo (SO_2) e il benzene (C_6H_6), e quella dei microinquinanti, fra cui compaiono gli Idrocarburi Policiclici Aromatici (dei quali IPA il solo normato risulta essere il benzo(a)pirene) e alcuni metalli pesanti (Cadmio Cd, Nichel Ni, Arsenico As, piombo Pb).

Non tutti i siti di monitoraggio misurano tutti i parametri sopraelencati; questi ultimi vengono indagati in base alle reali esigenze del territorio nel rispetto dei canoni di efficienza, efficacia ed economicità propugnati dalla normativa stessa.

Il Decreto indica per tali sostanze i "valori limite" e i "valori obiettivo". I primi, nello specifico, sono delle soglie che non debbono essere superate per alcun motivo onde tutelare la salute pubblica; i secondi, invece, sono delle soglie che si deve cercare di raggiungere, ma solo se è possibile in base alle attuali tecnologie e conoscenze. I valori obiettivo, pertanto, sono delle soglie di fatto meno vincolanti per gli amministratori locali, dato che il loro mancato rispetto non comporta delle particolari responsabilità qualora siano state messe in campo le tecnologie e conoscenze disponibili per rispettarli.

Qualora per taluni inquinanti venga superato il limite di legge (o se ne preveda il superamento tramite appositi modelli matematici) l'ente preposto al controllo, ovvero ARPA, informa gli enti locali i quali procedono a loro volta ad informare la popolazione e/o attuare i piani di azione comunali la cui funzione è quella di agire sul contenimento delle fonti emissive (es. blocco del traffico in ambito urbano).

Non da ultimo, i dati relativi alla qualità dell'aria vengono annualmente trasmessi all'UE e, in caso di reiterati superamenti dei limiti, uno Stato membro può anche essere sottoposto a regime sanzionatorio.

Così come ampiamente descritto nella "Relazione sulla qualità dell'aria nella Regione Friuli Venezia Giulia" del 2019 [1], la nostra regione è caratterizzata nel complesso da una buona qualità dell'aria. Alcuni parametri come CO ed SO_2 presentano oggi concentrazioni ambientali così esigue che ne è stato interrotto il monitoraggio presso la maggior parte delle stazioni. L'emissione di tali sostanze è venuta meno alcuni decenni fa con l'introduzione delle marmitte catalitiche e il bando di combustibili fossili ad alto tenore di zolfo. Anche per NO_2 e benzene, entrambi legati al traffico veicolare e al riscaldamento residenziale, non emergono criticità. Le concentrazioni di PM_{10} e $PM_{2,5}$ sono sotto controllo su quasi tutta la regione ma tendono ad aumentare risultando più problematiche spostandosi verso la parte sud-occidentale della regione in prossimità del confine con il Veneto. Le concentrazioni di ozono nel periodo estivo presentano delle criticità su tutta la regione fatta salva la zona montana. Riguardo ai microinquinanti, se per i metalli non si osservano criticità, per gli IPA si osservano su tutta la zona di pianura valori non trascurabili; questi composti derivano soprattutto dalla combustione delle biomasse, quindi da una fonte che è diffusa su tutto il territorio, e raggiungono valori prossimi al limite in quelle zone dove la densità abitativa, l'orografia e le condizioni meteo-climatiche lo consentono.

2. IL MONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA NELLA BASSA FRIULANA

La bassa pianura friulana è quella porzione del Friuli Venezia Giulia delimitata a nord dalla linea delle risorgive (Sacile-Cordoipo-Cervignano del Friuli), a est dal fiume Isonzo, a ovest dal fiume Livenza e a sud dal Mare Adriatico ed è divisa dal fiume Tagliamento nelle metà orientale (UD) ed occidentale (PN).

In questo studio è stata presa come riferimento la parte orientale, in particolare la zona compresa fra Cervignano del Friuli e Muzzana del Turgnano; quest'area è ben coperta in quanto a monitoraggio della qualità dell'aria, infatti vi sono dislocate ben cinque stazioni di rilevamento. Ciò deriva dal fatto che qui sono presenti alcune realtà industriali fra cui la centrale termoelettrica a turbogas di Edison S.p.A. collocata nel comune di Torviscosa e la vetreria Şişecam S.p.A. collocata invece nell'ampia zona industriale Aussa-Corno. Queste due realtà produttive, in base alle prescrizioni AIA/AUA, sono tenute ad effettuare specifici controlli di qualità dell'aria perciò sono rispettivamente proprietarie di alcune stazioni di rilevamento che vengono gestite da Arpa FVG. Come indicato in Figura 2 le tre stazioni Edison sono collocate nei tre centri abitati limitrofi all'omonima centrale: Torviscosa (a 1 km a ONO dalla centrale), Malisana (a 2 km a ovest dalla centrale) e Castions (a 3 km a NNE dalla centrale). Riguardo alle stazioni Şişecam, la stazione di Nogaro si trova anch'essa collocata nel centro abitato a poca distanza dalla zona industriale Aussa-Corno (a 1 km a nord rispetto ai primi stabilimenti produttivi e a 5 km dalla vetreria) mentre la stazione di Carlino è stata scelta come riferimento di fondo rurale in quanto distante alcuni chilometri dai centri abitati, dalle strade e dalla zona industriale (si trova a circa 7 km a ovest dalla vetreria). In base alle definizioni di cui al paragrafo 1, le altre quattro stazioni sono classificabili come stazioni di fondo suburbano.

La presente indagine non è tanto volta a individuare eventuali ricadute delle attività produttive, che non risultano particolarmente impattanti, quanto piuttosto a valutare la qualità dell'aria in una zona ben rappresentativa di un più ampio territorio omogeneo in termini di orografia (tutta la zona della bassa pianura friulana), meteorologia (l'area è caratterizzata soprattutto nel periodo invernale dal ristagno delle masse d'aria con formazione di fitte nebbie) e densità abitativa (non vi è la presenza di grossi centri urbani e le zone edificate sono alternate ad ampi spazi di territorio coltivati).

Di seguito verrà fatta una disamina del contesto meteorologico locale e verranno presi in esame, ove possibile, i dati registrati dalle sopracitate stazioni nel corso degli ultimi sei anni.



Figura 2: mappa dell'area monitorata.

2.1 CONTESTO METEOROLOGICO

Per descrivere le condizioni meteorologiche di cui risente la zona indagata sono state prese come riferimento le rilevazioni effettuate dalla stazione meteo-OSMER di Cervignano del Friuli (UD) dal 2015 al 2020.

Come si vince dai grafici di Figura 3

Figura 3 si può individuare una notevole variabilità interannuale soprattutto per quanto riguarda la piovosità e la velocità del vento. Meno variabili risultano essere la temperatura media e l'irraggiamento solare.

Ma come possono agire queste variabili (dette determinanti meteorologici) sulla qualità dell'aria?

In generale una maggior piovosità determina un maggior dilavamento dell'atmosfera e quindi un abbattimento degli inquinanti. Minore è la velocità del vento più probabili sono invece fenomeni di stagnazione delle masse d'aria e quindi di aumento delle concentrazioni di inquinanti soprattutto se ciò si verifica in inverno quando le basse temperature determinano la contrazione dello strato di rimescolamento dell'aria, oltre che la necessità di utilizzo del riscaldamento domestico. Infine l'irraggiamento solare, soprattutto nella stagione estiva, determina un aumento delle concentrazioni di ozono, inquinante che si forma in atmosfera a seguito di reazioni innescate proprio dalla luce solare (reazioni fotochimiche).

Si noti come siano strettamente legati i parametri piovosità, temperatura e irraggiamento solare; ad esempio nei mesi di aprile e maggio del 2019 si è registrata una maggior piovosità rispetto allo stesso periodo degli altri anni in concomitanza della quale si sono registrati bassi valori di irraggiamento solare e temperatura. Viceversa il mese di giugno dello stesso anno è stato caratterizzato dalle maggiori temperature, maggior irraggiamento solare e minor piovosità e tutto ciò si è riflesso sulle concentrazioni di ozono. Relativamente al 2020 si osserva come durante i primi due mesi dell'anno si siano verificate condizioni di scarsissima piovosità e ventilazione, ovvero condizioni che, come si vedrà, hanno favorito il ristagno delle masse d'aria e l'accumulo di inquinanti (in

particolare delle polveri). Il mese di aprile del 2020 è stato caratterizzato da scarsissima piovosità e alto irraggiamento solare, condizioni queste ideali per l'aumento delle concentrazioni di ozono.

In Figura 4 è rappresentata, come andamento mensile, settimana tipo¹ e giorno tipo², la variazione dell'altezza dello strato di rimescolamento dell'aria (in inglese *Planetary Boundary Layer* - PBL). Questo parametro si riferisce a quella parte di atmosfera (i primi 2-3 km) che viene direttamente influenzata dalla presenza della superficie terrestre e risponde ai cambiamenti indotti dalla superficie terrestre in breve tempo (circa un'ora o meno) [2]. L'interazione fra atmosfera e superficie può avvenire attraverso diversi meccanismi: attrito meccanico, evaporazione e traspirazione, trasferimento di calore, emissione di sostanze inquinanti e variazioni della circolazione atmosferica dovuta alla conformazione del terreno. L'altezza di rimescolamento, che può essere definita come l'altezza dello strato adiacente alla superficie all'interno del quale un composto viene disperso verticalmente per turbolenza meccanica o convettiva, influenza direttamente la concentrazione degli inquinanti immessi vicino alla superficie terrestre.

Questo parametro viene calcolato col modello matematico CALMET dal centro regionale di modellistica ambientale di Arpa FVG. CALMET è un modello meteorologico diagnostico che ricostruisce i campi 3D di vento e temperatura a partire da misure meteorologiche, dati di orografia ed utilizzo del suolo. Oltre ai campi di vento e temperatura, CALMET determina i campi 2D di variabili micro meteorologiche necessarie per effettuare simulazioni di dispersione atmosferica degli inquinanti fra cui l'altezza di rimescolamento.

I dati analizzati sono quelli dell'anno 2020 riguardanti Morsano al Tagliamento, Torviscosa e Udine. Sono state scelte queste località per rappresentare rispettivamente il basso Friuli occidentale, il basso Friuli orientale e il medio Friuli. Come si evince dai tre grafici di Figura 4 le maggiori altezze di rimescolamento si riscontrano tipicamente nel periodo estivo e nelle ore centrali della giornata quando cioè, l'irraggiamento solare è maggiore e determina i maggiori fenomeni convettivi. Non si riscontra ovviamente alcuna correlazione fra altezza dello strato di rimescolamento e giorno della settimana. La zona in cui lo strato di rimescolamento è inferiore è quella della bassa pianura orientale, mentre sono abbastanza simili le altezze calcolate per la bassa pianura occidentale e il medio Friuli. Ciò è probabilmente connesso alla vicinanza rispetto alla linea di costa (Torviscosa 7 km, Morsano 20 km, Udine 35 km) più che all'altitudine (Torviscosa 3 m s.l.m., Morsano 14 m s.l.m., Udine 113 m s.l.m.) o l'orografia (tutti i siti sono collocati in pianura).

¹ Settimana tipo: calcolata facendo la media dei dati giornalieri distinguendo per giorno della settimana (lunedì, martedì, ecc.) relativamente ai 366 giorni del 2020.

² Giorno tipo: calcolato effettuando la media dei dati orari distinguendo per ora del giorno (h 00:00, h 01:00, ecc.) relativamente ai 366 giorni del 2020.

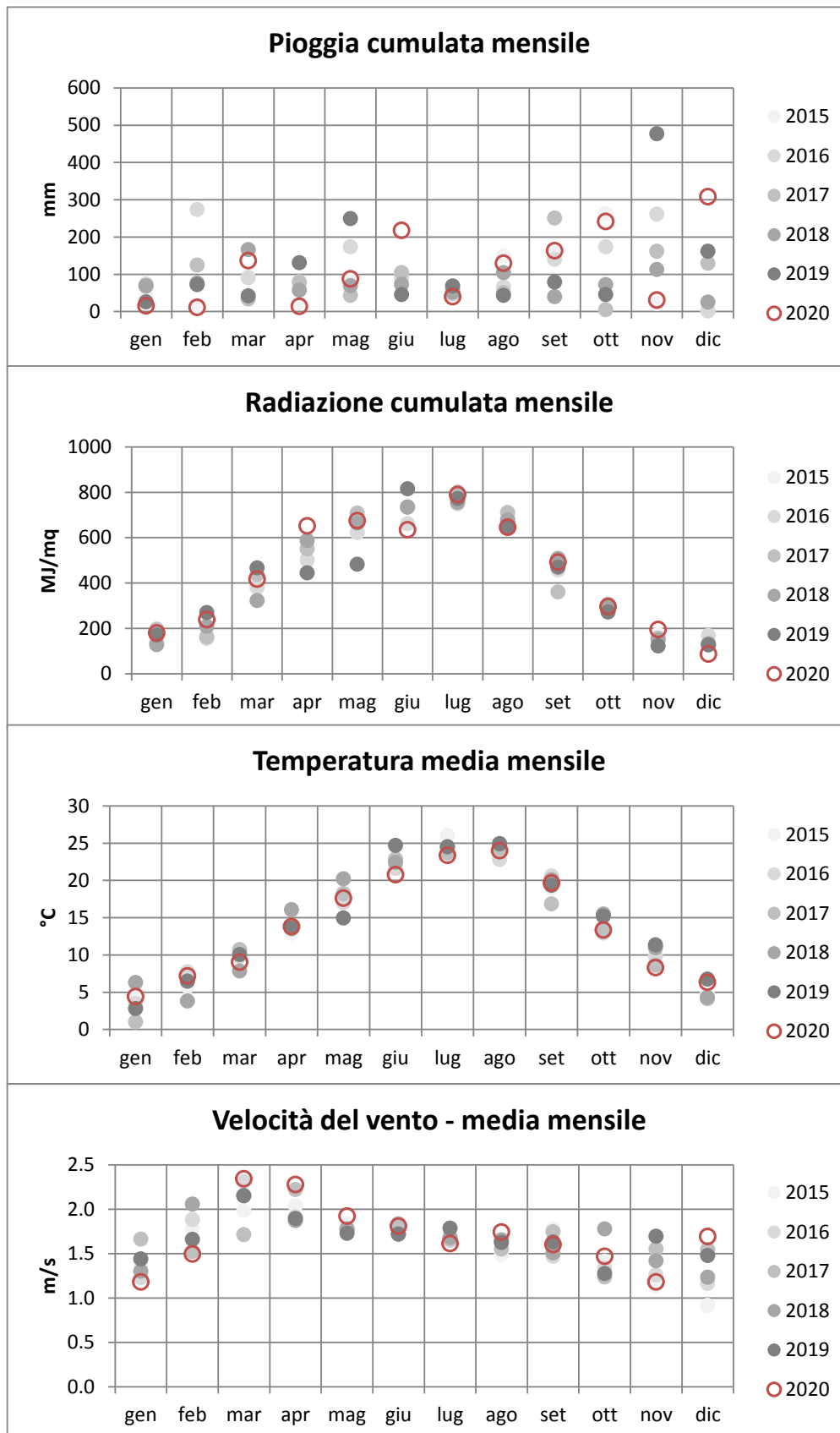


Figura 3: principali parametri meteorologici rilevati dalla stazione OSMER di Cervignano del F. fra il 2015 e il 2020.

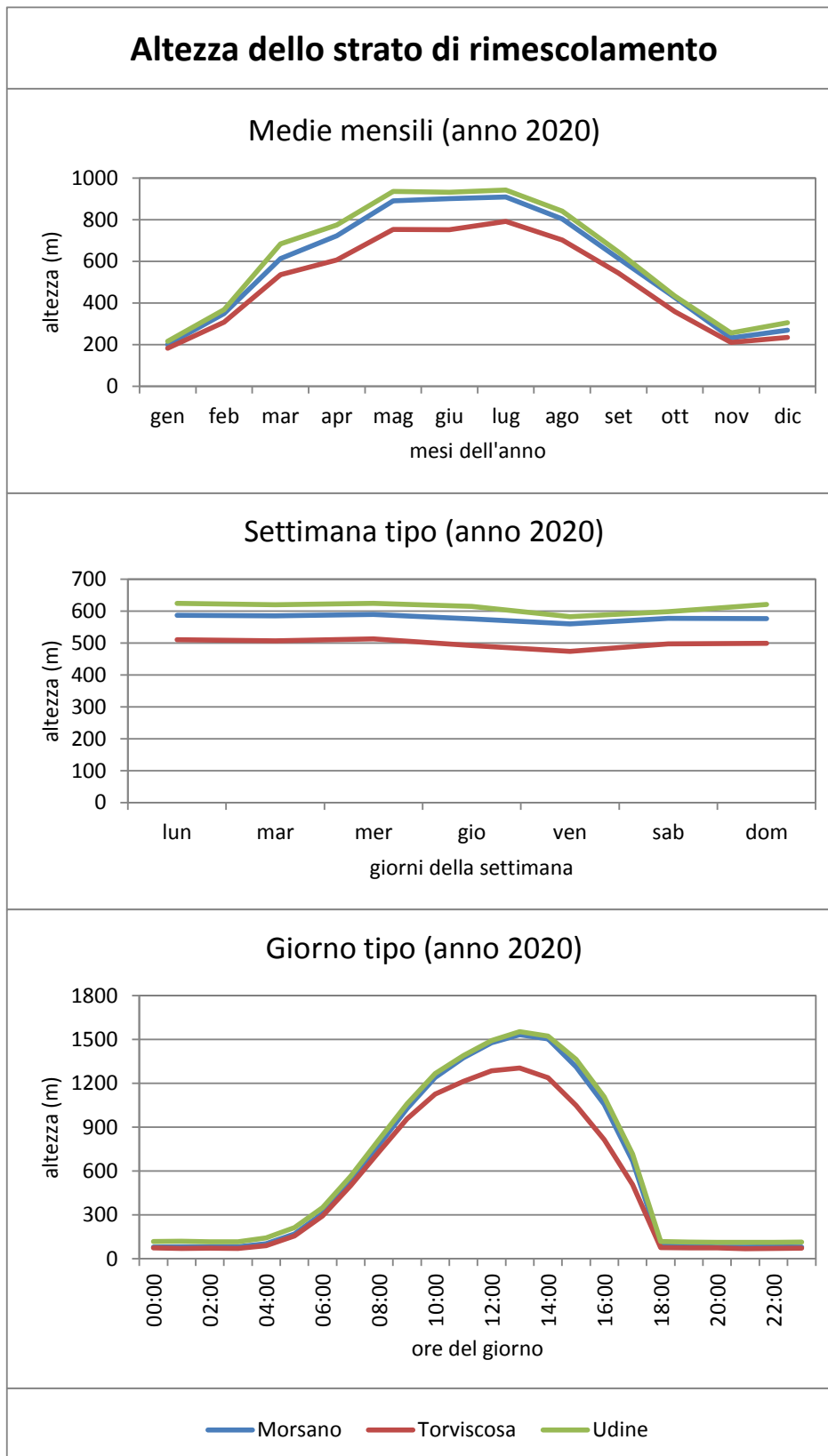


Figura 4: altezza dello strato di rimescolamento (misurata in metri) per l'anno 2020 per Morsano al T., Torviscosa e Udine. Dall'alto in basso medie mensili, settimana tipo e giorno tipo.

3. PARAMETRI MONITORATI

Come precedentemente specificato, le cinque stazioni della Bassa friulana sono stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria ai sensi del D.Lgs. 155/2010 e, in quanto tali, si riferiscono alle indicazioni e ai limiti previsti da tale decreto. In Tabella 1 vengono riportati i parametri che erano (celle bianche) e che sono a tutt'oggi monitorati (celle azzurre) dalle cinque stazioni.

Tabella 1: configurazione delle cinque stazioni della Bassa friulana. Nelle celle bianche i parametri non più monitorati, nelle celle azzurre quelli attualmente monitorati.

	NO _x	O ₃	benzene	PM ₁₀	PM _{2,5}	SO ₂	CO	PTS
Torviscosa (Edison)	x	x	x	x	x	x	x	x
Malisana (Edison)	x	x	x	x	x	x	x	x
Castions (Edison)	x	x	x	x	x	x	x	x
Nogaro (Şişecam)	x	x		x	x			
Carlino (Şişecam)	x			x	x	x		

Come si evince dalla tabella, mentre le stazioni Şişecam mantengono tuttora la loro configurazione iniziale (dati acquisiti a partire da ottobre 2013), le tre stazioni Edison hanno subito nel tempo alcune modifiche. Inizialmente (a partire da maggio del 2005) esse monitoravano tutte gli stessi parametri (CO, SO₂, NO_x, ozono, benzene, PM₁₀ e PTS) mentre, a partire dall'estate 2020, la rete ha subito una semplificazione sostanziale che ha previsto l'interruzione del monitoraggio di CO ed SO₂ -inquinanti ormai presenti solo in tracce in aria ambiente-, la sostituzione delle polveri totali (PTS) con il PM_{2,5} prima non analizzato (il D.Lgs. 155/2010 prevede il monitoraggio delle polveri sottili PM₁₀ e PM_{2,5} a causa della loro conclamata tossicità) e il controllo in doppio, non più in triplo, dei parametri NO_x ed ozono. Il monitoraggio del benzene è stato mantenuto presso la stazione di Torviscosa al fine di individuare eventuali emissioni prodotte dal vicino stabilimento chimico. Tale monitoraggio non è tanto rivolto al benzene quanto ad altri composti organici volatili ad esso simili (ma meno tossici e per questo non inclusi nel D.Lgs. 155/2020) che, diversamente dal benzene (il cui impiego è proibito), sono tipicamente usati come solventi nel settore chimico.

Nei prossimi paragrafi verranno illustrati gli andamenti delle concentrazioni rilevate nella Bassa friulana durante il 2020 per i parametri normati NO₂, O₃, PM₁₀ e PM_{2,5}. Tali andamenti verranno, ove possibile, confrontati con gli andamenti riscontrati negli anni precedenti.

Non verranno invece descritti i parametri CO ed SO₂ in quanto le loro concentrazioni negli ultimi anni sono risultate sempre estremamente basse (inferiori ad un ordine di grandezza rispetto ai limiti imposti dal D.Lgs. 155/2010) a tal punto da rendere persino difficoltosa la loro rilevazione in aria ambiente e scegliere così di sospenderne il monitoraggio. Similmente, riguardo al benzene, si riporta soltanto che le concentrazioni medie annue rilevate negli ultimi cinque anni sono state al più pari ad un quinto rispetto al limite di legge (5 µg/m³ secondo le indicazioni del D.Lgs. 155/2010) con le concentrazioni maggiori riscontrate tipicamente nel periodo invernale (è noto infatti che la combustione delle biomasse determina la formazione di tale sostanza). A maggior ragione non verranno discussi gli andamenti delle polveri totali sospese (PTS) in quanto nemmeno contemplate dalla normativa vigente.

3.1 OSSIDI DI AZOTO

Fra i diversi ossidi che l'azoto può formare, per quanto attiene alle problematiche dell'inquinamento atmosferico si considerano solamente il monossido (NO) ed il biossido di azoto (NO₂) e la somma di questi due composti indicata come NO_x; questi ossidi si formano per reazione, alle alte temperature, fra l'azoto e l'ossigeno che sono i principali costituenti dell'aria atmosferica (azoto circa 78% e ossigeno circa 21%) e di conseguenza, per quanto riguarda il contributo antropico, si possono individuare come principali sorgenti tutti i processi di combustione (motori a scoppio, impianti termici civili e industriali, alcuni processi produttivi che necessitano di elevate temperature).

I gas prodotti dalla combustione contengono soprattutto monossido di azoto, che allo scarico non si decompone di nuovo ad ossigeno ed azoto a causa del brusco raffreddamento; in atmosfera, grazie a successivi processi fotochimici, il monossido viene quindi trasformato in biossido di azoto con velocità che dipendono principalmente dall'intensità dell'irraggiamento solare e dalla temperatura.

Gli ossidi di azoto presenti nell'atmosfera contribuiscono al fenomeno delle piogge acide per trasformazione in acido nitrico; inoltre l'acido nitrico formatosi viene poi salificato a nitrato d'ammonio, composto che rappresenta uno dei principali costituenti del particolato fine secondario.

3.1.1 Biossido di azoto

In considerazione del fatto che la tossicità del biossido di azoto è notevolmente superiore a quella del monossido, la normativa vigente prevede dei limiti per la protezione della salute umana solamente per il biossido di azoto (cfr. Tabella 2). Questo inquinante è un gas irritante per occhi, naso e vie respiratorie e può combinarsi con l'emoglobina del sangue (per formare metaemoglobina) impedendo così il trasporto dell'ossigeno.

Tabella 2: NO₂ - valori di riferimento previsti dalla normativa.

Riferimento normativo	Denominazione	Periodo di mediazione	Valore di riferimento
DLgs 13 agosto 2010 n. 155	valore limite orario per la protezione della salute umana	media oraria da non superare più di 18 volte per anno civile (dal 01/01/2010)	200 µg/m ³
	valore limite annuale per la protezione della salute umana	media annua (dal 01/01/2010)	40 µg/m ³
	soglia di allarme	misura su 3 ore consecutive	400 µg/m ³

Nella Tabella 3 sono riportati i valori massimi orari e le medie annue dell'NO₂ analizzato dal 2015 al 2020 nelle cinque stazioni. Per completezza viene anche riportata la serie di dati relativa alla stazione di fondo urbano di Udine (parco di via Cairoli). Sia per le massime orarie che per le medie annue i valori riscontrati nella Bassa si attestano a meno della metà dei rispettivi limiti; non si osserva un *trend* in calo o in aumento nel corso degli anni e non si osservano grosse differenze fra le cinque stazioni. Quelle che registrano i valori più elevati (cfr. massime orarie) sono quelle più direttamente impattate dal traffico veicolare cioè Torviscosa e Nogaro. In quest'ottica la meno impattata risulta la stazione di Carlino che effettivamente è la più distante dalla rete viaria locale. Anche Malisana denota concentrazioni più basse (soprattutto se osserviamo la media annua) mentre per Castions va tenuto presente che i dati sono parziali per l'anno 2020 in quanto a luglio è stato rimosso lo strumento dedicato alle misure di NO_x a seguito del *revamping* della rete Edison. Se si confrontano i dati della rete della Bassa friulana coi dati di Udine si può apprezzare che questi ultimi sono leggermente maggiori (in riferimento alle massime orarie) - fatto salvo l'anno 2020 (effetto del *lockdown*) - a riprova del maggior impatto del traffico stradale in ambito urbano.

Tabella 3: massime orarie e medie annue di NO₂ dal 2015 al 2020 presso le cinque stazioni.

^a Dati fino a luglio 2020; ^b Dati parziali per l'anno 2016.

Stazione (proprietà) ↓	Anno →	NO ₂ - Max oraria (µg/m ³)						NO ₂ - Media annua (µg/m ³)					
		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Torviscosa (Edison)		52	79	84	91	82	78	11	18	21	19	18	15
Malisana (Edison)		77	106	85	82	90	67	12	12	14	13	14	12
Castions (Edison) ^a		68	67	81	67	67	--	7	14	14	15	15	--
Nogaro (Şişecam)		97	99	105	81	86	88	18	19	20	16	16	14
Carlino (Şişecam) ^b		71	--	67	70	60	59	15	--	13	12	12	14
Udine (via Cairoli)		114	109	102	104	107	87	21	20	21	17	17	17

Nella Figura 5 sono riportati gli andamenti delle concentrazioni orarie di NO₂ durante il 2020 nelle cinque stazioni della Bassa più la stazione di Udine. Ciò che si osserva per tutte le stazioni è in primo luogo l'andamento tipicamente stagionale di questo inquinante. Le maggiori concentrazioni invernali sono dovute a più fattori: da un lato nella stagione fredda si sommano alle emissioni degli automezzi (che plausibilmente restano costanti durante tutto l'anno) quelle degli impianti termici civili. Inoltre, nel periodo invernale sono più probabili eventi meteorologici che favoriscono il ristagno delle masse d'aria e, per le basse temperature e il minor irraggiamento solare, si verifica l'abbassamento dello strato di rimescolamento dell'atmosfera adiacente al suolo con la conseguenza che tutti gli inquinanti ivi immessi si disperdono, di fatto, in una massa d'aria inferiore a quella disponibile nel periodo estivo.

In Figura 6 sono invece rappresentate le concentrazioni medie annue nelle 6 stazioni negli ultimi 6 anni; qui si mettono in evidenza le maggiori concentrazioni nelle stazioni più impattate dal traffico ovvero Udine, Nogaro e Torviscosa.

Vengono inoltre riportati i grafici delle settimane tipo (Figura 7) e dei giorni tipo (Figura 8) delle concentrazioni di NO₂ per ogni stazione nell'anno 2020. Queste rappresentazioni dei dati evidenziano come tale inquinante sia strettamente legato al traffico veicolare, infatti, si osserva un aumento dal lunedì al venerdì cui segue un netto calo nel weekend (grafico delle settimane tipo) e, nell'arco della giornata, si osservano le concentrazioni maggiori in concomitanza delle ore di punta mattutine e pomeridiano-serali (grafico dei giorni tipo). Si può notare come la stazione di Udine sia quella più soggetta agli impatti del traffico urbano mentre si può scorgere una peculiarità della stazione di Carlino che presenta un ritardo nei picchi di massimo rispetto alle altre stazioni, il che suggerisce

un probabile fenomeno di trasporto di tale inquinante dalla fonte alle zone più lontane e una maggior permanenza dello stesso nelle ore notturne.

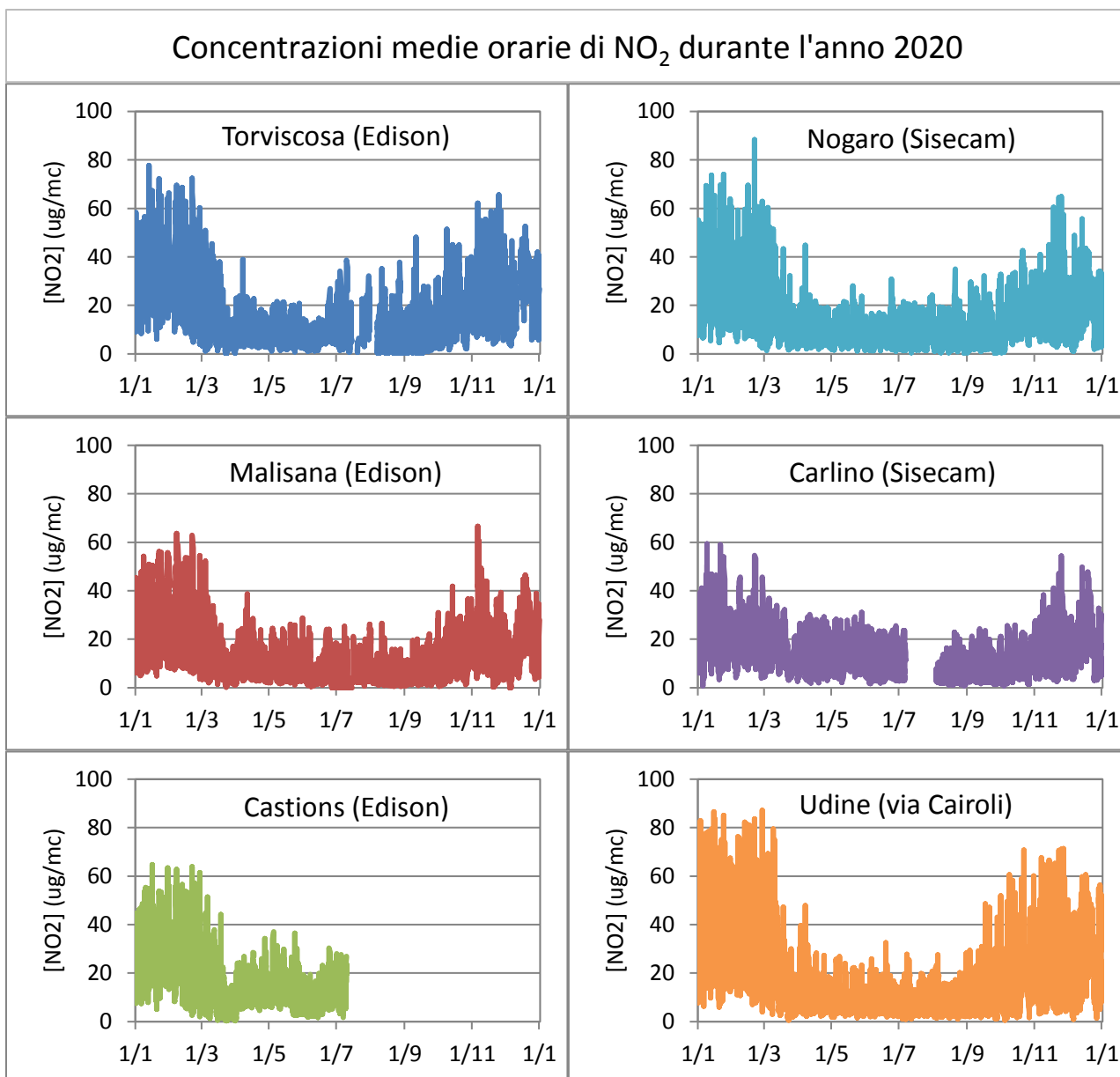


Figura 5: concentrazioni medie orarie di NO₂ presso le cinque stazioni della Bassa friulana e Udine durante il 2020.

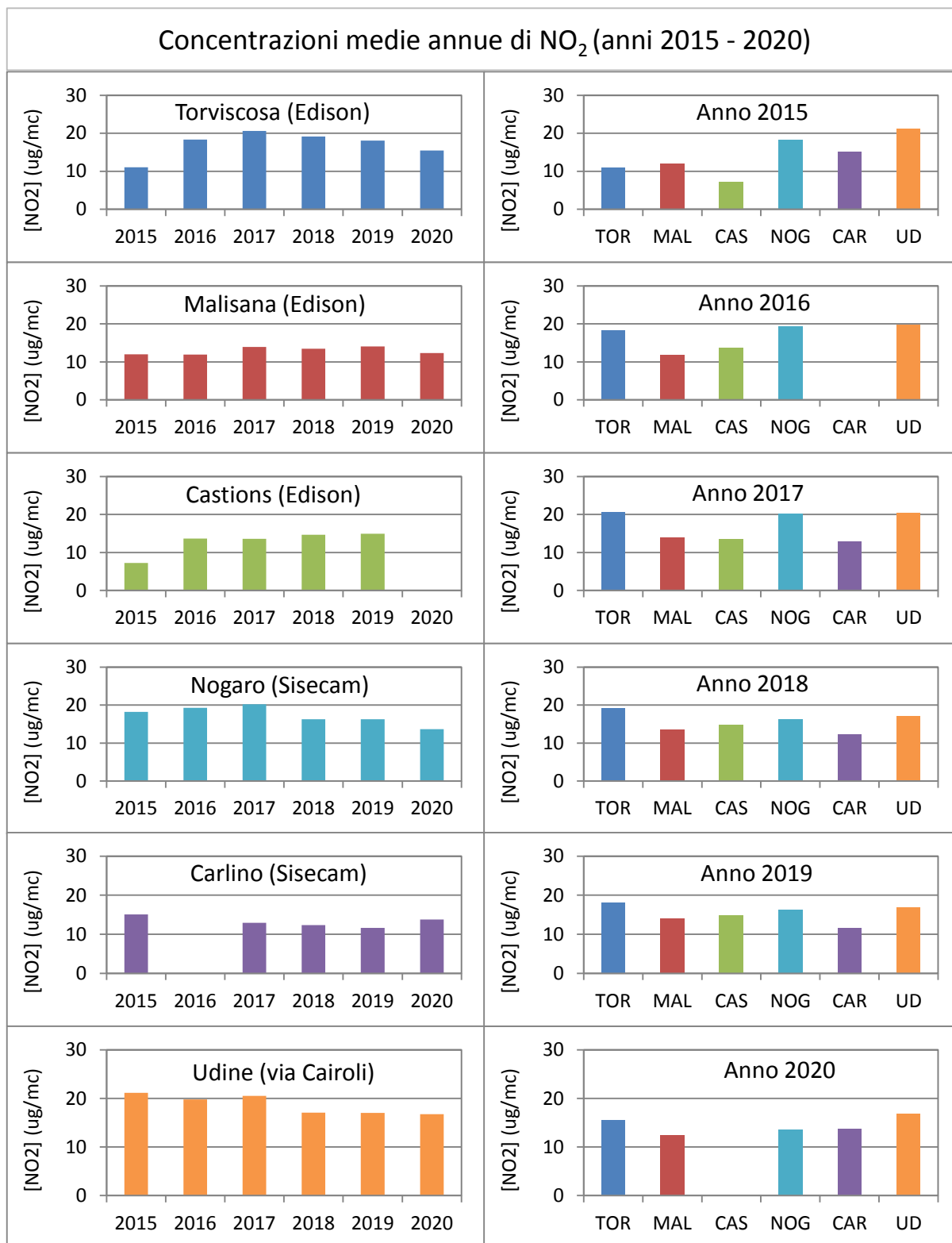


Figura 6: concentrazioni medie annue di NO₂ nelle 5 stazioni della Bassa Friulana e Udine negli ultimi 6 anni. Mancano gli istogrammi di Carlino 2016 e Castions 2020 in quanto i dati sono parziali e quindi non sono rappresentativi dell'intero anno.

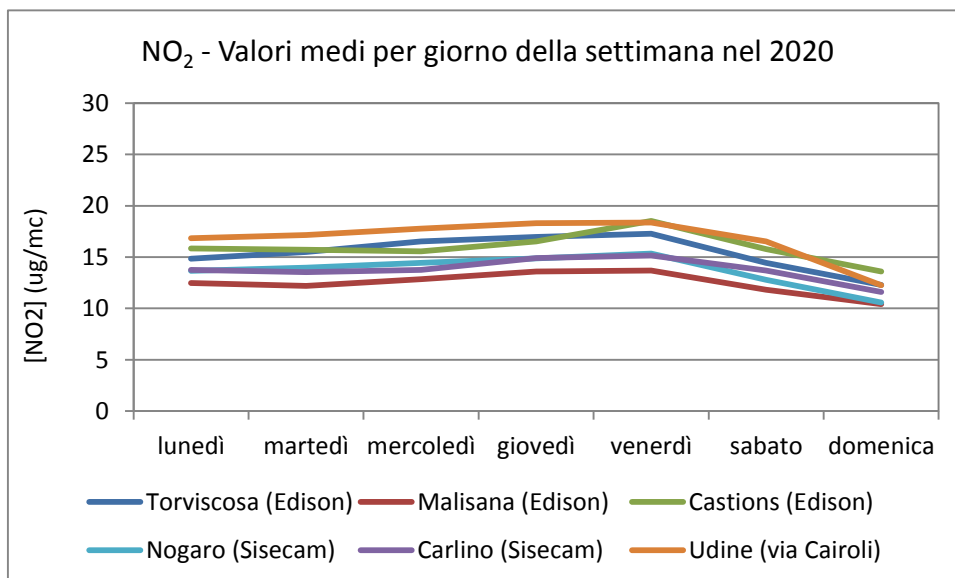


Figura 7: settimana tipo delle concentrazioni di NO₂ nel 2020 nelle cinque stazioni della Bassa friulana e nella stazione di fondo urbano di Udine.

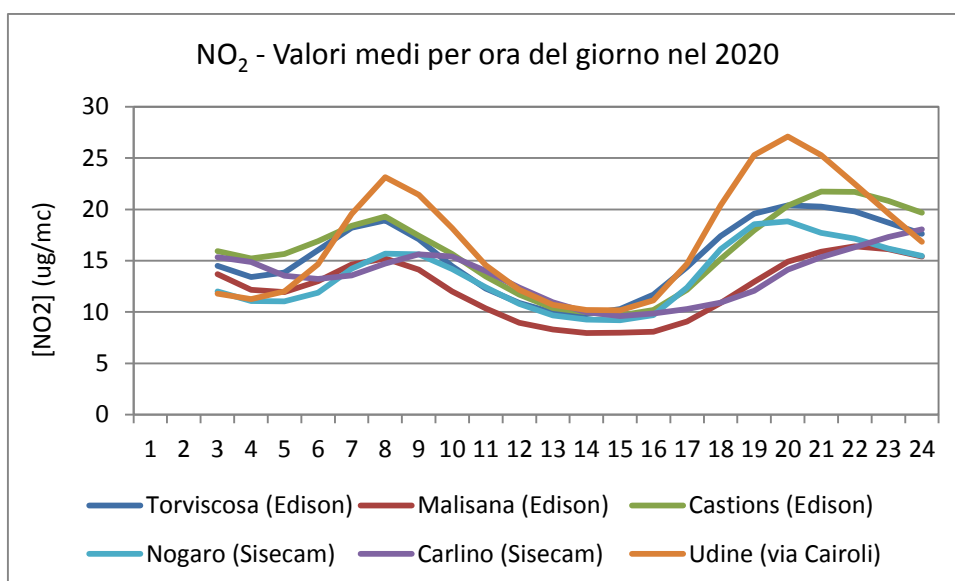


Figura 8: giorno tipo delle concentrazioni di NO₂ nel 2020 nelle cinque stazioni della Bassa friulana e nella stazione di fondo urbano di Udine. Le prime due ore del giorno sono state eliminate a causa dei controlli notturni automatici della strumentazione di cabina.

3.1.2 Effetto del lockdown 2020 sulle concentrazioni di NO₂

Come noto, nei primi mesi del 2020 l'epidemia da COVID-19 ha coinvolto drammaticamente l'Italia. Per contenere il contagio, limitare l'impatto sul SSN, ridurre i decessi, sono stati attuati a più riprese provvedimenti restrittivi che hanno determinato la limitazione della mobilità e l'interruzione parziale di alcune attività produttive e commerciali. Il lockdown imposto fra marzo e aprile è stato quello più stringente ma la situazione non è mai ritornata alla normalità fino a giungere a un ulteriore lockdown a fine anno. Questi blocchi hanno impattato prevalentemente sulla circolazione stradale che in alcuni periodi si è ridotta anche drasticamente determinando una riduzione sostanziale delle emissioni di ossidi di azoto (tipicamente legati alla combustione interna dei motori). Questo fenomeno è stato ampiamente descritto in varie pubblicazioni di Arpa FVG e altri enti a livello nazionale [3], [4] ed è emerso anche dall'analisi dei dati raccolti nelle stazioni della Bassa friulana.

Sono stati analizzati i dati relativi alle stazioni di Torviscosa e Nogaro in quanto nella Bassa sono i siti che meglio rendicontano l'impatto del traffico stradale; il primo sito è più specificamente connesso al traffico civile tipico di un piccolo centro abitato, il secondo più specificamente al traffico pesante legato alla realtà industriale Aussa-Corno. Nei grafici di Figura 9 risulta ben evidente la riduzione delle concentrazioni di NO₂ nel 2020 rispetto agli anni precedenti in ambo i siti a partire dal mese di marzo.

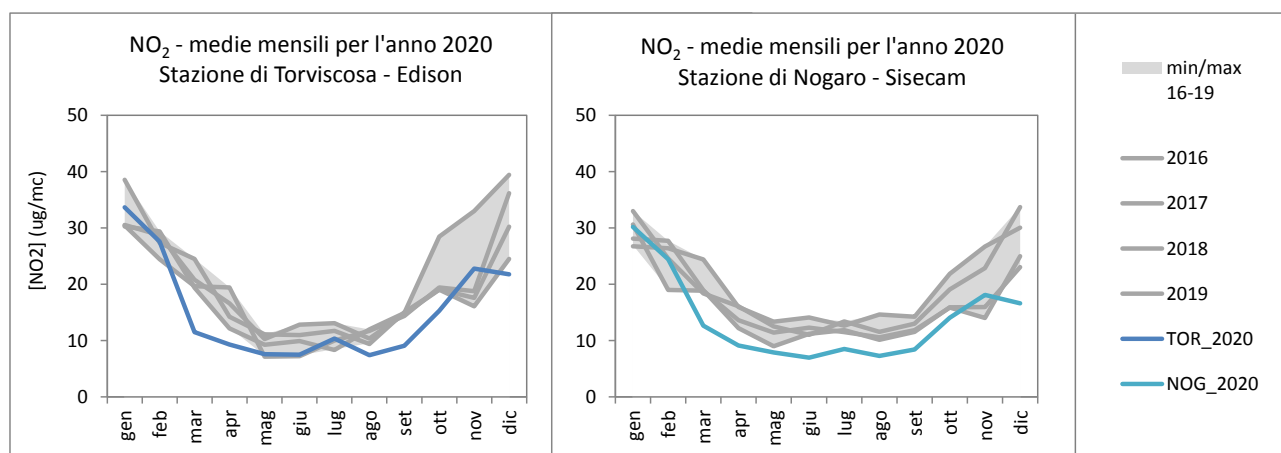


Figura 9: concentrazioni medie mensili di NO₂ delle stazioni di Torviscosa (sinistra) e Nogaro (destra). Confronto fra gli andamenti nel corso del 2020 e dei quattro anni precedenti.

Si voglia a questo punto formulare l'ipotesi che, localmente, oltre alle emissioni di ossidi di azoto da parte dei mezzi di trasporto e degli impianti di riscaldamento civili si possa avere l'impatto della vicina centrale termoelettrica; anch'essa infatti, per le alte temperature di esercizio, determina la formazione di ossidi di azoto. Per indagare questo aspetto è stata valutata l'effettiva operatività della centrale nel periodo del *lockdown* (Figura 10). Si nota che la centrale è sempre stata in funzione (a parte in novembre 2020 per talune attività di manutenzione dell'impianto). Se si prende come riferimento il mese di marzo 2020, durante il quale, come già detto, si è registrata una drastica riduzione dell' NO_2 , non si osserva una riduzione della produttività della centrale. Non pare plausibile ammettere una riduzione dell'uso del riscaldamento domestico dato che le temperature medie del periodo erano in linea con gli anni precedenti (Figura 3) e, oltretutto, la permanenza in casa della cittadinanza ha più probabilmente determinato un maggior utilizzo del riscaldamento. L'unica fonte che è venuta meno durante il *lockdown* producendo una riduzione degli ossidi di azoto è stata perciò anche qui il traffico veicolare.

In base a queste evidenze si può dunque affermare che, effettivamente, la principale fonte di NO_x che viene rilevata dalle stazioni della qualità dell'aria nella Bassa friulana è appunto il traffico degli automezzi.

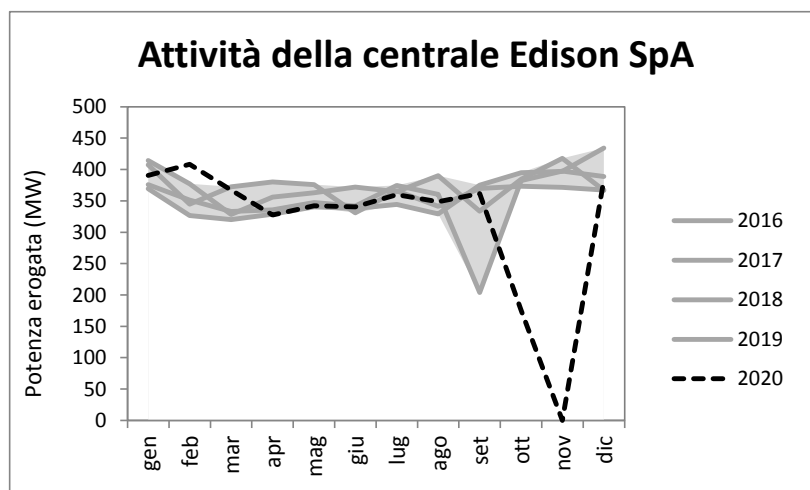


Figura 10: Operatività della centrale Edison S.p.A. di Torviscosa espressa in potenza erogata (MW). Confronto fra gli andamenti nel corso del 2020 e dei quattro anni precedenti.

3.1.3 Misure di NO_x per la protezione della vegetazione

Per quanto riguarda gli ossidi totali di azoto NO_x (come somma di monossido di azoto NO e di biossido di azoto NO₂), la normativa vigente (D. Lgs. 155/2010) fissa solamente un limite annuale per la protezione della vegetazione pari a 30 µg/m³ di NO_x (Tabella 4).

Tabella 4: NO_x - valori di riferimento previsti dalla normativa.

Riferimento normativo	Denominazione	Periodo di mediazione	Valore di riferimento
D. Lgs. 13 agosto 2010 n. 155	livello critico per la protezione della vegetazione	media annua	30 µg/m ³

Si precisa che nessuno dei cinque punti di campionamento della Bassa friulana risponde propriamente a quanto richiesto dal D. Lgs. 155/2010 per la protezione della vegetazione e degli ecosistemi naturali (Allegato III, punto 3.2.1) in quanto nessuno di essi è collocato "... a più di 20 km dalle aree urbane e ad oltre 5 km da altre zone edificate, impianti industriali, autostrade o strade principali ...". Fra le cinque stazioni della Bassa friulana quella che più si attiene a tale definizione è la stazione di Carlino che è la più distante dalle zone antropizzate e meglio si presta a descrivere gli impatti delle attività antropiche sugli ecosistemi naturali.

Nella Tabella 5 sono riportate le medie annue di NO_x calcolate a partire dai dati raccolti negli ultimi sei anni dalle 5 stazioni della Bassa friulana e dalla stazione di fondo urbano di Udine (parco comunale di via Cairoli). Come si può osservare, nel corso degli anni c'è stato un lieve decremento delle concentrazioni di NO_x e, negli ultimi tre anni, di fatto per tutte le stazioni il limite di 30 µg/m³ è stato rispettato. Si osservano comunque le concentrazioni minori presso le stazioni di Malisana e Carlino che sono quelle meno impattate dal traffico veicolare.

Tabella 5: medie annue di NO_x dal 2015 al 2020 presso le cinque stazioni della Bassa friulana e, per confronto, la stazione di fondo urbano di Udine. ^a Dati fino a luglio 2020; ^b Dati parziali per l'anno 2016.

Stazione (proprietà) ↓	Anno →	NO _x - Media annua (µg/m ³)					
		2015	2016	2017	2018	2019	2020
Torviscosa (Edison)		25	30	30	27	23	22
Malisana (Edison)		22	18	18	18	19	17
Castions (Edison) ^a		16	22	19	20	19	--
Nogaro (Şişecam)		35	38	35	26	25	22
Carlino (Şişecam) ^b		25	--	19	17	16	19
Udine (via Cairoli)		34	29	27	23	23	23

3.2 OZONO

L'ozono a livello del suolo - da non confondere con lo strato di ozono nell'atmosfera superiore - è uno dei principali componenti dello smog fotochimico. E' formato dalla reazione con la luce solare (reazione fotochimica) di inquinanti come gli ossidi di azoto (NO_x) nelle emissioni da veicoli e industria e di composti organici volatili (COV) sia di origine antropica (emessi dai veicoli, solventi e l'industria) che di origine naturale (ecosistemi terrestri e marini). I più alti livelli di inquinamento da ozono si verificano durante i periodi di tempo soleggiato. Un'eccessiva quantità di ozono nell'aria può avere un profondo effetto sulla salute umana. Può causare problemi respiratori, asma, ridurre la funzione polmonare e causare malattie polmonari. In Europa è attualmente uno degli inquinanti atmosferici più problematici. Diversi studi europei hanno riferito che la mortalità giornaliera aumenta dello 0,3% e quella per malattie di cuore dello 0,4%, per l'aumento di 10 µg/m³ dell'esposizione all'ozono. Per questo motivo la normativa vigente in materia di qualità dell'aria richiede il monitoraggio di tale inquinante. Come si evince dalla Tabella 6 esistono diversi limiti previsti dal D.Lgs. 155/2010. Se si verificano o si prevedono superamenti delle soglie di informazione ed allarme, gli enti pubblici vengono tempestivamente informati per poter a loro volta dare comunicazione alla cittadinanza, invitando quantomeno le fasce della popolazione più a rischio a rimanere in casa. Il valore bersaglio è invece il livello fissato al fine di evitare a lungo termine effetti nocivi sulla salute umana e sull'ambiente nel suo complesso, da conseguirsi per quanto possibile entro un dato periodo di tempo.

Tabella 6: O₃ - valori di riferimento previsti dalla normativa.

Riferimento normativo	Denominazione	Periodo di mediazione	Valore di riferimento
DLgs 13 agosto 2010 n. 155	Soglia di informazione	media oraria	180 µg/m ³
	Soglia di allarme	media oraria	240 µg/m ³
	Valore bersaglio	Come massima media giornaliera su 8 ore da non superare più di 25 giorni per anno civile	120 µg/m ³

Nella Tabella 7 e nella Tabella 8 sono riportate le principali statistiche riguardanti le concentrazioni di ozono misurate nelle cinque stazioni della Bassa friulana e nella stazione di fondo urbano di Udine negli ultimi sei anni. La Tabella 8 non riporta il numero di superamenti della soglia di allarme (240 µg/m³) in quanto negli ultimi sei anni non è mai stata superata in nessuna delle stazioni prese in esame.

Tabella 7: massime orarie e medie annue di O₃ dal 2015 al 2020 presso quattro stazioni della Bassa friulana e, per confronto, la stazione di fondo urbano di Udine. ^aDati fino a luglio 2020.

Stazione (proprietà) ↓	Anno →	O ₃ - Max oraria (µg/m ³)						O ₃ - Media annua (µg/m ³)					
		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Torviscosa (Edison) ^a		181	153	211	216	188	--	63	51	59	57	52	--
Malisana (Edison)		174	154	184	205	214	177	58	54	63	59	55	52
Castions (Edison)		186	162	177	209	214	175	57	50	54	56	52	52
Nogaro (Şişecam)		189	168	175	187	168	157	55	53	51	50	45	47
Udine (via Cairoli)		187	173	186	185	211	166	56	53	56	55	51	52

Tabella 8: numero di ore di superamento della soglia di informazione (µg/m³) e numero di giorni di superamento del valore bersaglio (µg/m³) di O₃ dal 2015 al 2020 presso quattro stazioni della Bassa friulana e, per confronto, la stazione di fondo urbano di Udine. ^aDati fino a luglio 2020.

Stazione (proprietà) ↓	Anno →	O ₃ - superamenti soglia di informazione (ore)						O ₃ - superamenti valore bersaglio (giorni)					
		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Torviscosa (Edison) ^a		3	0	9	7	3	--	78	20	70	63	17	--
Malisana (Edison)		0	0	2	5	10	0	62	22	66	54	25	17
Castions (Edison)		5	0	0	6	9	0	67	26	45	57	30	28
Nogaro (Şişecam)		11	0	0	1	0	0	71	37	46	37	19	14
Udine (via Cairoli)		2	0	4	2	11	0	51	32	58	36	31	28

Per una più immediata comprensione dei dati tabulati si vedano i grafici di Figura 11 dove sono riportate le medie annue, il numero di sforamenti del valore bersaglio (120 µg/m³) e il numero di sforamenti della soglia di informazione (180 µg/m³).

Riguardo alle medie annue va detto che esse sono simili per tutte le stazioni nel corso degli anni e oscillano nell'intorno dei 50 µg/m³, senza un *trend* in crescita o in calo ben specifico. Di anno in anno si osservano invece oscillazioni molto ampie del numero di sforamenti, soprattutto del valore bersaglio che spesso supera la soglia delle 25 giornate all'anno. Si noti che non sempre un alto numero di sforamenti del valore bersaglio corrisponde ad un alto numero di sforamenti della soglia di informazione e viceversa. Ciò si spiega tenendo sempre presente che l'ozono si forma in caso di forte irraggiamento solare e tenendo presente che la soglia d'informazione conteggia il numero di ore in cui si superano i 180 µg/m³ (e possono esserci anche più ore in un giorno particolarmente soleggiato in cui tale condizione è soddisfatta) mentre il valore bersaglio conteggia i giorni in cui la media mobile su otto ore oltrepassa i 120 µg/m³ (le condizioni meteorologiche che portano a questa situazione sono più frequenti e non necessariamente associate a situazioni più estreme che comportino anche il superamento della soglia d'informazione).

Nella Bassa, riguardo al numero di sforamenti, le stazioni sono fra loro abbastanza confrontabili di anno in anno (esclusa eventualmente la stazione di Nogaro, forse in relazione alla maggior presenza di NO_x sopra descritta); è meno simile il sito di Udine che, oltre ad essere un sito urbano, e cioè subire un più marcato impatto del traffico, può essere soggetto a condizioni meteorologiche locali ben diverse da quelle della Bassa.

Tutto ciò concorre a dimostrare che la presenza di ozono in aria ambiente dipende notevolmente dal meteo ed in particolare dall'irraggiamento solare e dalla piovosità che agiscono in maniera opposta, l'uno favorendo la

formazione di ozono l'altra favorendo il dilavamento dell'atmosfera. Analizzando la Figura 12 si riscontra che effettivamente gli anni in cui si sono registrati i valori medi annui più bassi (2016 e 2019) sono anche quelli mediamente meno soleggiati. Caso a parte pare essere il 2020 che, pur essendo un anno caratterizzato nella media da elevato soleggiamento, non ha presentato un numero rilevante di sforamenti delle soglie imposte per l'ozono.

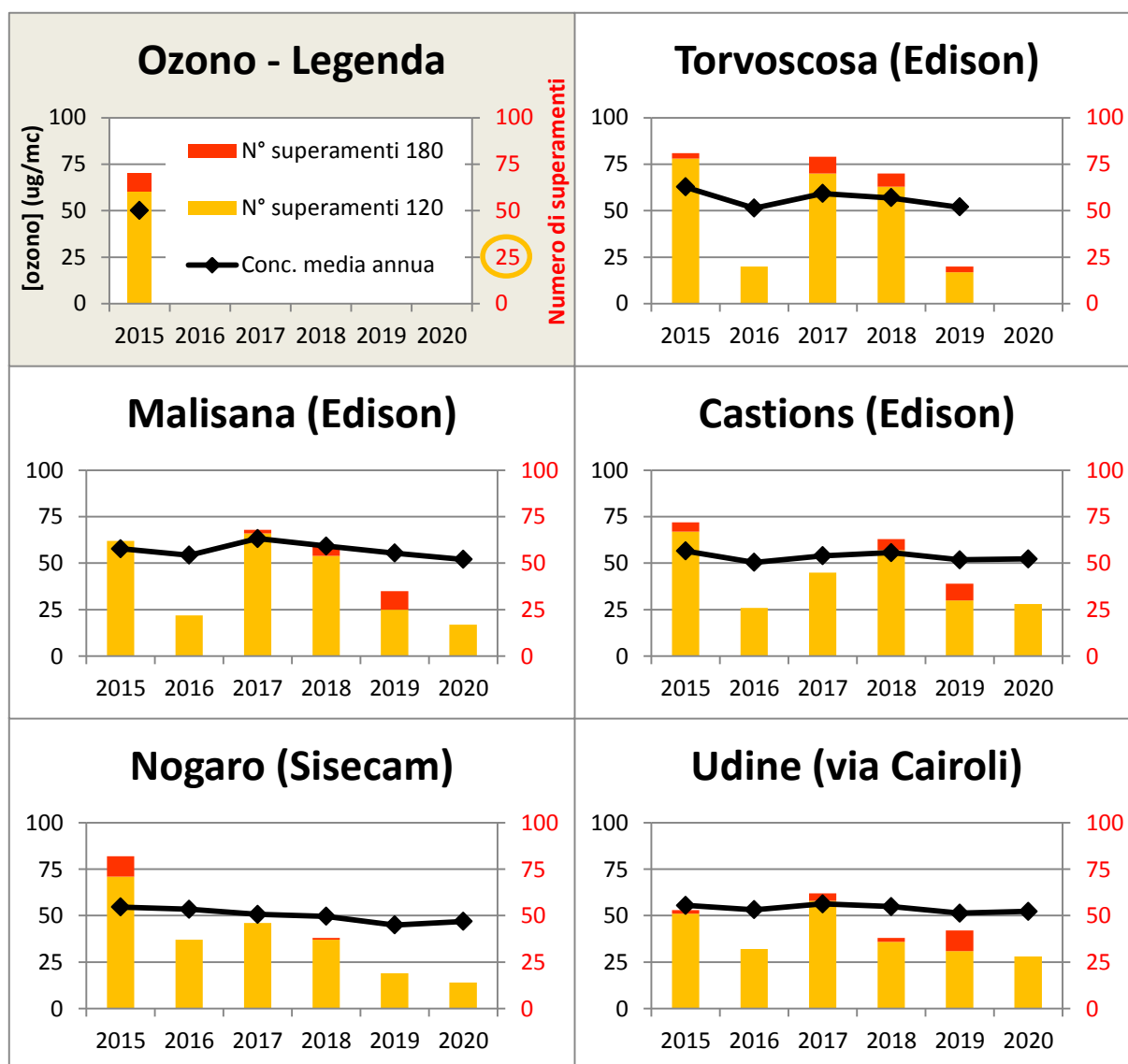


Figura 11: grafici relativi alla media annua e al numero di sforamenti della quota di 120 e 180 µg/m³ per l'ozono nelle stazioni della Bassa friulana e di Udine (via Cairoli) negli ultimi sei anni. Il numero di sforamenti dei 120 µg/m³ non dovrebbe superare i 25 giorni in un anno.

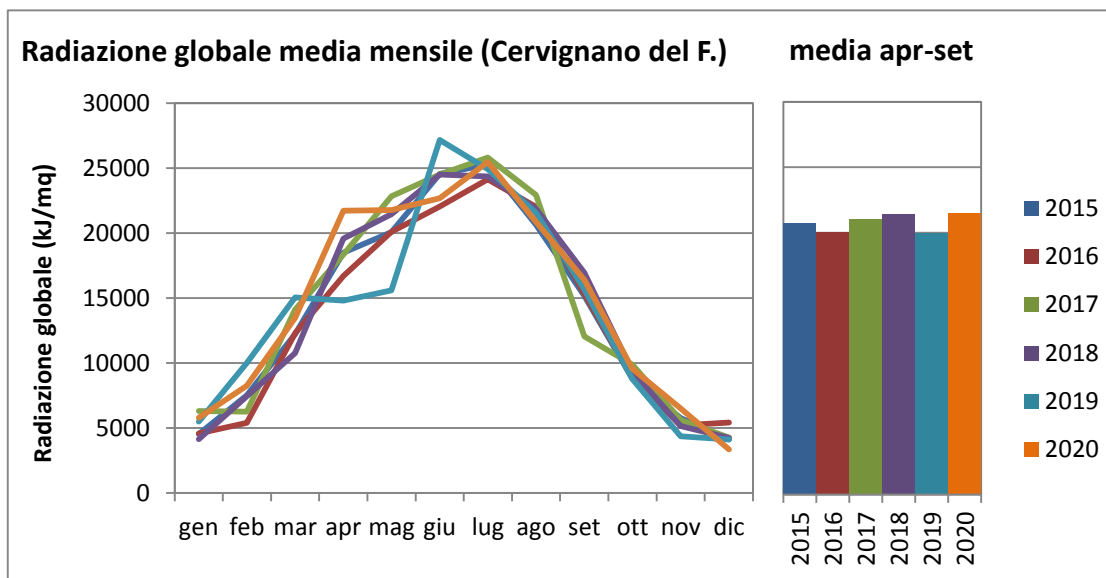


Figura 12: grafici relativi alla media mensile (sinistra) e media estiva da aprile a settembre (destra) dell'irraggiamento solare (kJ/m²) misurato dalla stazione-OSMER di Cervignano del Friuli negli ultimi sei anni.

Per approfondire ulteriormente la relazione che lega la presenza di ozono ai determinanti meteorologici si propone di seguito (Figura 13) un insieme di grafici che rappresentano l'andamento mensile dell'irraggiamento solare e della piovosità (espressa in numero di giorni di pioggia) unitamente alla somma mensile degli sforamenti delle soglie di informazione e del valore bersaglio relativi all'ozono. In questo caso è stata presa a mero titolo esemplificativo la stazione di Malisana ed è stato riprodotto lo stesso grafico sui sei anni studiati (2016-2020). Non è facile interpretare questi grafici ma si possono comunque osservare talune evidenze. Ad esempio per gli anni 2015 e 2017 la situazione è abbastanza simile, ad eccezione del fatto che nel 2017 si sono avuti degli sforamenti della soglia di informazione assenti invece nel 2015. Ciò è probabilmente dovuto alla maggior siccità che ha caratterizzato il mese di luglio del 2017. A riprova di ciò si consideri ora il 2019. Come già anticipato, mediamente questo è stato un anno caratterizzato da un minor irraggiamento solare e un basso numero di superamenti del valore bersaglio. Ciò nonostante si sono avuti molti superamenti della soglia di informazione, per lo più concentrati nel mese di luglio che è risultato estremamente siccitoso e soleggiato. Probabilmente, se il totale dei giorni oltre la soglia dei 120 µg/m³ è rimasto basso è perché i mesi di aprile e maggio sono stati molto piovosi. Giungendo al grafico del 2020 si può osservare come i mesi di maggio e giugno siano stati più piovosi della media e ciò ha certamente influito sulle concentrazioni di ozono.

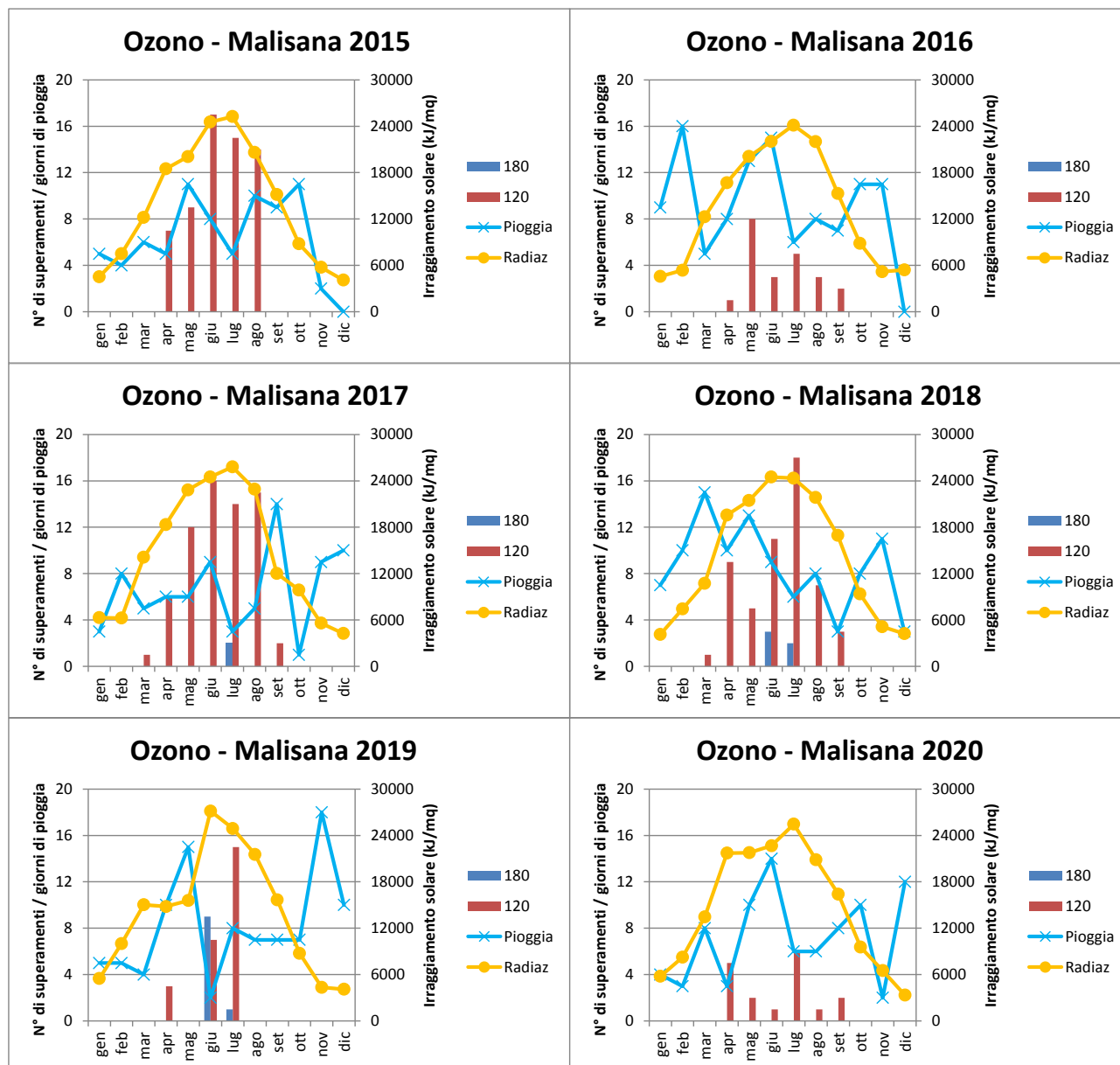


Figura 13: andamenti mensili dei descrittori dell'ozono (conteggio del numero di superamenti), dell'irraggiamento solare (media) e della piovosità (conteggio del numero di giorni di pioggia) per la stazione di Malisana dal 2016 al 2020.

Di seguito si riporta l'andamento mensile (Figura 14), l'andamento della settimana tipo (Figura 15) e l'andamento del giorno tipo (Figura 16) di ozono per l'anno 2020 nelle stazioni di Udine, Malisana e Nogarò. Risulta evidente che le concentrazioni maggiori si riscontrano nei periodi (dell'anno o della giornata) più soleggiati. Riguardo alla settimana tipo si osserva un leggero incremento nel weekend, contrariamente a quanto si osserva per gli ossidi di azoto. È noto infatti che un aumento delle concentrazioni di NO (emissione diretta degli scarichi degli autoveicoli) determina un calo delle concentrazioni di O₃ (i due reagiscono a formare NO₂ ed O₂). A ben osservare si nota anche una flessione delle concentrazioni di ozono fra le 7 e le 8 del mattino (orario di punta).

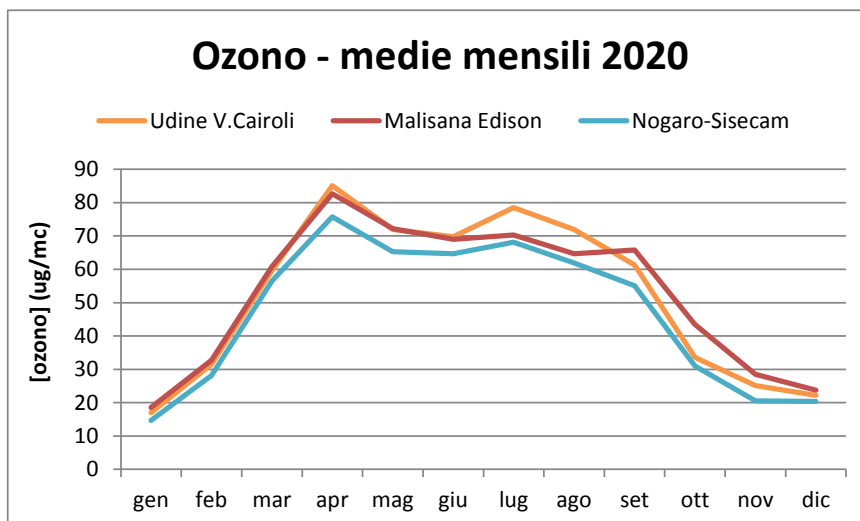


Figura 14: andamento delle medie mensili di ozono nel 2020 presso le stazioni di Udine, Malisana e Nogaro.

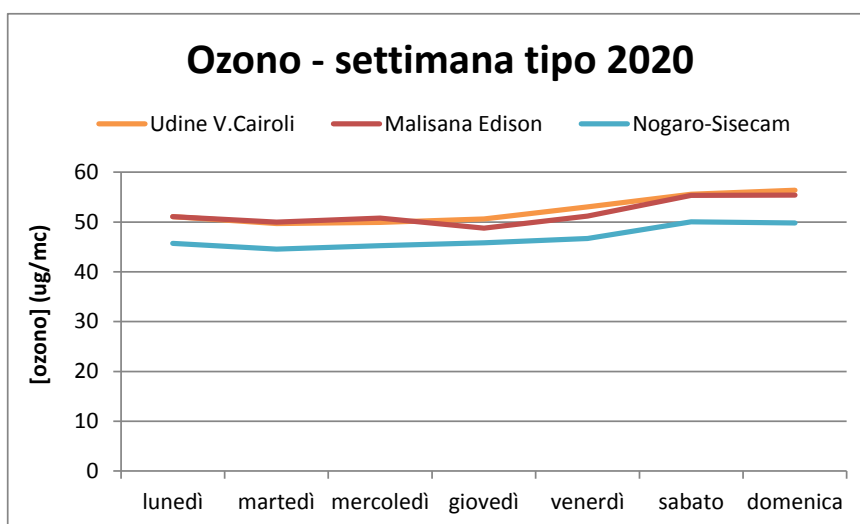


Figura 15: settimana tipo delle concentrazioni di ozono nel 2020 presso le stazioni di Udine, Malisana e Nogaro.

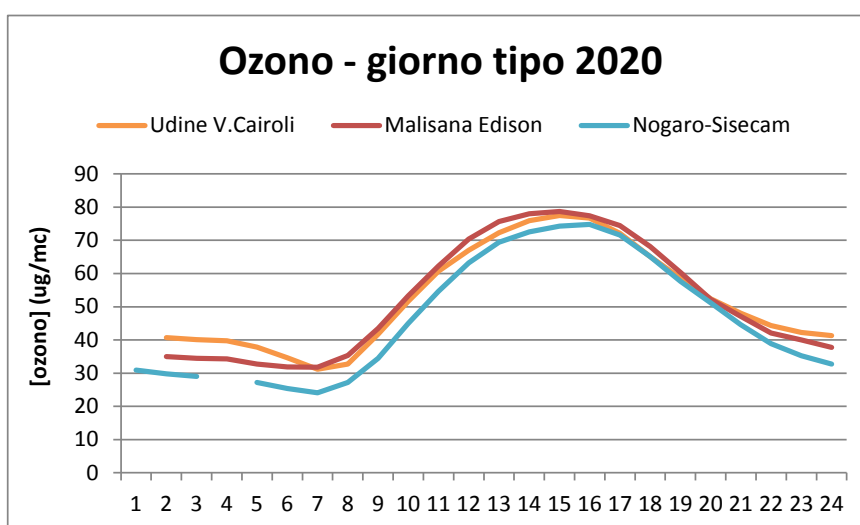


Figura 16: giorno tipo delle concentrazioni di ozono nel 2020 presso le stazioni di Udine, Malisana e Nogaro.

3.3 MATERIALE PARTICOLATO

Il materiale particolato è rappresentato dalle sostanze solide o liquide in forma di aerosol disperse nell'atmosfera che, a causa delle ridotte dimensioni, hanno un comportamento paragonabile a quello dei gas sia in termini di diffusione che di penetrazione all'interno dell'apparato respiratorio.

Il materiale particolato aerodisperso viene in parte emesso direttamente in atmosfera (ad esempio dal traffico, dal riscaldamento domestico e dalle realtà produttive ma anche da fonti naturali) e in parte si forma in aria (particolato secondario) a seguito di complesse reazioni chimiche fra alcuni precursori (biogenici ed antropogenici). Uno di questi precursori, che richiederà particolare attenzione sia dal punto di vista del monitoraggio che delle politiche di contenimento, è l'ammoniaca, rilasciata in atmosfera in particolare dal settore agricolo e zootecnico. Essa può reagire con gli ossidi di zolfo e di azoto a formare i rispettivi sali d'ammonio.

Il materiale particolato è monitorato sia nella frazione più grossolana (il PM₁₀, cioè con diametro inferiore ai 10 µm), che nella frazione più fina (PM_{2,5}, cioè con diametro inferiore ai 2,5 µm). Questo inquinante è stato classificato come cancerogeno del gruppo 1 (certamente cancerogeno per l'uomo) dalla IARC (agenzia internazionale per la ricerca sul cancro) in quanto le piccole particelle che lo costituiscono possono determinare stati infiammatori cronici dei tessuti delle vie respiratorie e conseguenti neoformazioni; la sua tossicità è ulteriormente accentuata qualora nelle polveri vi siano contenuti microinquinanti a loro volta tossici e/o cancerogeni quali idrocarburi policiclici aromatici e metalli pesanti.

Per questo motivo le concentrazioni in aria ambiente del materiale particolato sono attualmente regolamentate dal D.Lgs. 155/2010, il quale fissa, per protezione della salute umana, le soglie e i limiti riportati nei seguenti paragrafi.

3.3.1 PM₁₀

Per il PM₁₀ le soglie di legge contemplano sia il valore medio annuo, che deve rimanere al di sotto dei 40 µg/m³, sia il valore medio giornaliero, che non deve superare più di 35 volte in un anno quota 50 µg/m³ (Tabella 9).

Tabella 9: PM₁₀ - valori di riferimento previsti dalla normativa

Riferimento normativo	Denominazione	Periodo di mediazione	Valore di riferimento
DLgs 13 agosto 2010 n. 155	valore limite di 24 ore per la protezione della salute umana	media giornaliera da non superare più di 35 volte per anno civile (dal 01/01/2005)	50 µg/m ³
	valore limite annuale per la protezione della salute umana	media annuale (dal 01/01/2005)	40 µg/m ³

Nel presente studio sono stati presi in considerazione i rilevamenti del PM₁₀ effettuati presso le cinque stazioni della Bassa e questi sono stati confrontati con i dati inerenti alla stazione di fondo urbano di Udine e, data la maggior incidenza delle polveri verso la parte sud-occidentale della regione, con i dati di PM₁₀ rilevati dalla stazione di fondo suburbano di Morsano al Tagliamento (PN).

In Tabella 10 sono riportate le medie annue e il numero di sforamenti del limite giornaliero in ottemperanza ai requisiti di legge. Si osserva innanzitutto che le medie annue sono tutte sotto al valore di riferimento ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) mentre per alcune stazioni in alcuni anni si sono registrati più di 35 superamenti del limite giornaliero. Premesso che non si osserva un *trend* nel corso del tempo ma soltanto oscillazioni interannuali legate alla meteorologia, si può anche apprezzare che le stazioni della Bassa friulana si collocano a valori intermedi fra il dato del medio Friuli (minor numero di superamenti e minor media annua) e il dato del Friuli occidentale (maggior numero di superamenti e maggiore media annua).

Tabella 10: media annua e numero di superamenti del limite giornaliero per il PM_{10} . Nelle stazioni Şişecam non sono stati riportati alcuni dati in quanto la copertura annua non è risultata sempre sufficiente (problemi strumentali).

Stazione (proprietà) ↓	Anno →	PM_{10} - Media annua ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)						PM_{10} - Superamenti limite giornaliero (n° giorni)					
		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Torviscosa (Edison)		28	24	23	22	21	23	37	21	28	11	17	32
Malisana (Edison)		30	27	25	22	21	25	39	26	30	9	14	35
Castions (Edison)		27	25	25	22	23	23	38	24	29	8	19	28
Nogaro (Şişecam)		27	--	--	23	22	--	35	--	--	14	17	--
Carlino (Şişecam)		25	--	--	--	24	25	28	--	--	--	22	31
Udine (via Cairoli)		26	22	23	20	20	20	28	15	24	5	8	13
Morsano al T. (PN)		25	27	29	28	28	28	36	29	45	20	38	50

In Tabella 11 sono riportate ulteriori elaborazioni statistiche dei valori registrati negli ultimi sei anni presso le stazioni selezionate. Si può osservare come il 90.4° percentile presenti valori mediamente doppi rispetto alla media annua mentre i valori massimi registrati ogni anno sono ben più elevati. Questi ultimi infatti sono legati ad eventi rari quali ad esempio condizioni meteorologiche particolarmente favorevoli al ristagno delle masse d'aria e/o alla formazione di aerosol secondario oppure trasporti *long-range* di sabbie desertiche.

Tabella 11: altri dati statistici per il PM_{10} non richiesti dalla normativa. Nelle stazioni Şişecam non sono stati riportati alcuni dati in quanto la copertura annua non è risultata sempre sufficiente (problemi strumentali).

Stazione (proprietà) ↓	Anno →	PM_{10} - Massimo giornaliero ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)						PM_{10} - 90.4° percentile ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)					
		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Torviscosa (Edison)		111	165	82	76	104	140	51	44	44	38	39	49
Malisana (Edison)		88	144	106	78	106	133	54	46	47	39	40	51
Castions (Edison)		96	147	109	75	111	136	52	47	46	37	44	47
Nogaro (Şişecam)		91	--	--	85	92	--	51	--	--	41	42	--
Carlino (Şişecam)		93	--	--	--	108	130	46	--	--	--	44	49
Udine (via Cairoli)		86	148	82	76	89	117	47	37	44	34	37	36
Morsano al T. (PN)		104	140	110	84	119	146	52	49	61	46	53	57

Per una miglior visione d'insieme di quanto appena esposto vengono di seguito raffigurati gli andamenti delle concentrazioni di PM_{10} rappresentati in diversi modi.

Nel grafico di Figura 17 si osserva l'andamento delle concentrazioni medie giornaliere nell'anno 2020 presso le sette stazioni. Come si può osservare, le fluttuazioni sono sincrone a dimostrazione del fatto che la presenza delle polveri aerodisperse è diffusa e si evolve in maniera omogenea ovvero non si tratta di un fenomeno localizzato. Nello stesso grafico si osservano molti sforamenti al limite giornaliero nei primi due mesi dell'anno e poi a fine marzo si osserva un picco molto intenso legato all'arrivo di polveri desertiche provenienti dal Caucaso che ha interessato diverse regioni italiane. Da aprile a settembre si riscontrano concentrazioni sempre inferiori ai $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per poi osservare nuovamente degli sforamenti nell'ultimo trimestre dell'anno.

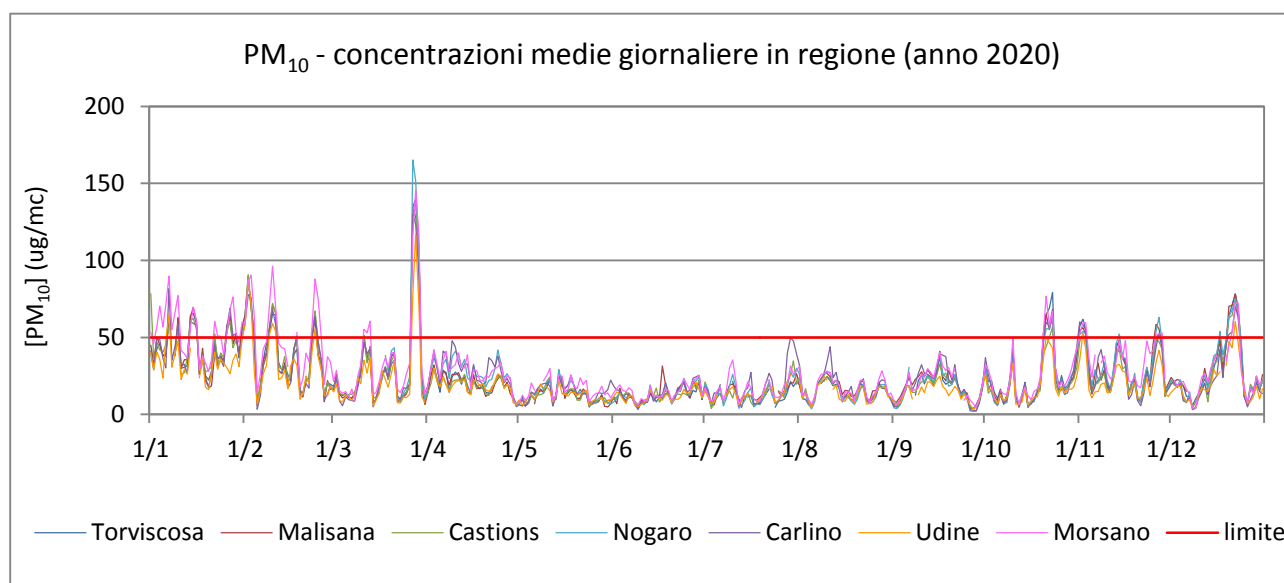


Figura 17: concentrazioni medie giornaliere di PM_{10} nelle 7 stazioni nel 2020.

Il grafico di Figura 18 relativo alle concentrazioni medie mensili di PM_{10} dal 2015 al 2020 rappresenta ancora meglio del grafico precedente quella che è la stagionalità di questo tipo di inquinante. I picchi massimi si registrano sempre fra dicembre e febbraio a causa delle rigide temperature che implicano l'uso del riscaldamento domestico e l'abbassamento dello strato di rimescolamento dell'aria mentre i picchi di minimo spesso si riscontrano in primavera o autunno, quando cioè sono più probabili e abbondanti le precipitazioni che abbattano gli inquinanti aerodispersi.

Il grafico di Figura 19 rappresenta le medie annue registrate nei vari siti. In questo grafico, meglio che negli altri, si può osservare come le concentrazioni nella Bassa friulana siano intermedie fra le più alte concentrazioni rilevate verso il pordenonese e quelle minori registrate nel medio Friuli. Questa evidenza suggerisce una sorta di gradiente in aumento da nord verso sud e da est verso ovest.

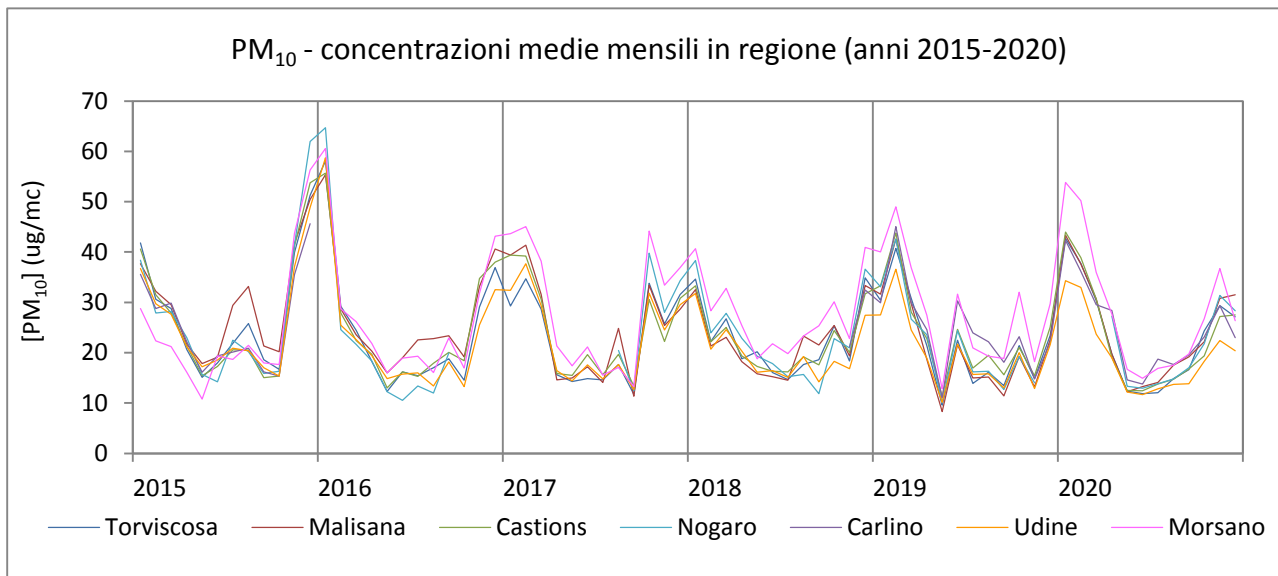


Figura 18: concentrazioni medie mensili di PM₁₀ nelle 7 stazioni indagate dal 2015 al 2020.

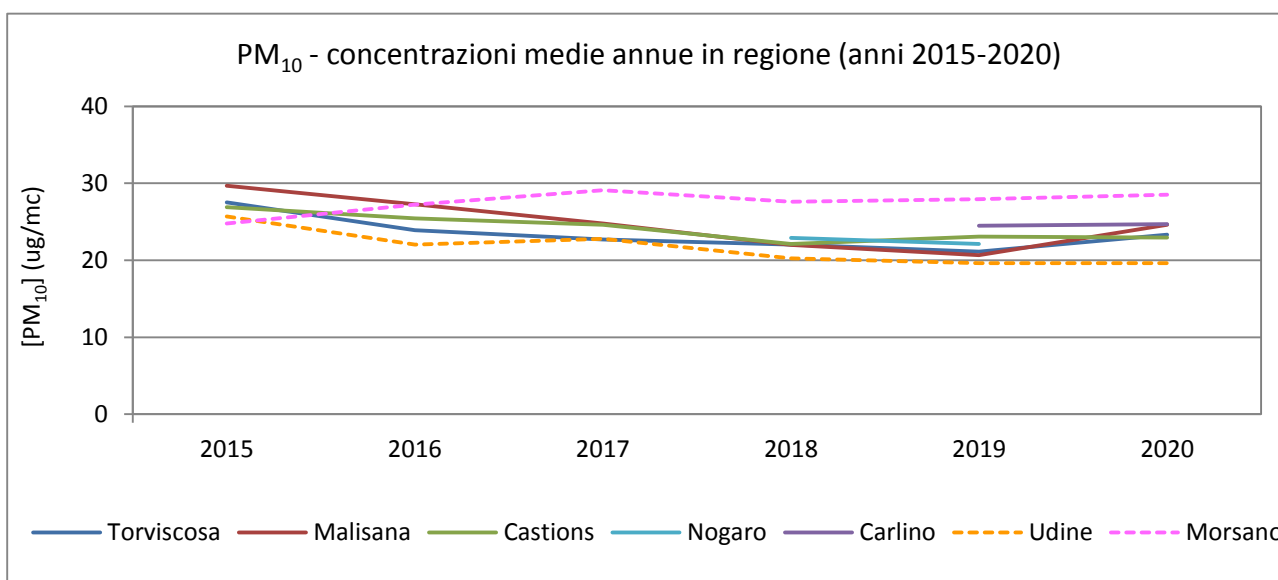


Figura 19: concentrazioni medie annue di PM₁₀ nelle 7 stazioni indagate dal 2015 al 2020.

Nel grafico di Figura 20 viene riportata la distribuzione sul piano cartesiano dei punti la cui ascissa corrisponde all'altezza dello strato di rimescolamento dell'aria (PBL) e la cui ordinata corrisponde alla concentrazione del PM₁₀. Sono state prese le stazioni di Torviscosa, Morsano al Tagliamento e Udine rispettivamente come riferimento delle zone del basso Friuli orientale, del basso Friuli occidentale e del medio Friuli. Come si può osservare, i punti che si trovano al di sopra della soglia dei 50 µg/m³ corrispondono tutti a valori di PBL inferiori a 500 m di altezza. Nel grafico di Figura 21 viene preso, a mero titolo di esempio, l'andamento del giorno tipo del PM₁₀ e del PBL di Nogaro; si può osservare che la contrazione dello strato di rimescolamento tipica delle ore notturne determina un aumento delle concentrazioni di PM₁₀ come già evidenziato analizzando il comportamento del biossido di azoto.

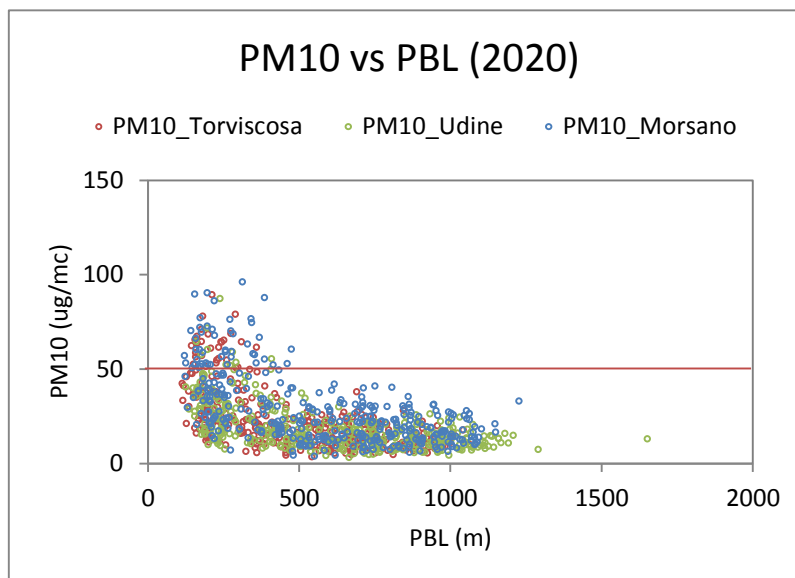


Figura 20: grafico a dispersione XY della concentrazione di PM₁₀ contro l'altezza dello strato di rimescolamento dell'aria (PBL). Dati 2020 relativi alle stazioni di Torviscosa, Udine e Morsano. Sono state escluse le tre giornate di fine marzo interessate dal trasporto di polveri caucasiche.

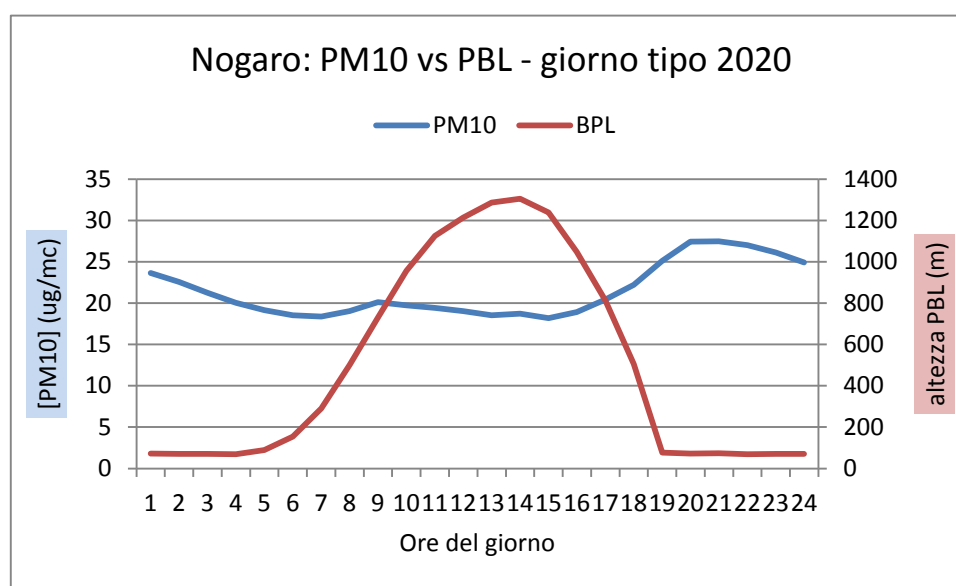


Figura 21: giorno tipo relativo alle concentrazioni di PM₁₀ della stazione di Nogaro (da marzo a dicembre 2020) e all'altezza dello strato di rimescolamento (Torviscosa 2020). Si osserva una correlazione inversa.

Nel grafico di Figura 22 viene riportato il confronto fra le medie mensili dell'anno 2020 e le medie mensili dei cinque anni precedenti (solo relativamente alla stazione di Torviscosa, a titolo di esempio). Come si può osservare, durante il *lockdown* non si sono registrate differenze significative rispetto agli anni precedenti, diversamente da quanto riscontrato per gli ossidi di azoto (Figura 9). Ciò dipende dal fatto che le polveri atmosferiche hanno varia origine, non sono cioè per lo più immesse dagli scarichi degli automezzi come accade per gli ossidi di azoto. Una fonte importante di particolato risulta essere il riscaldamento domestico, soprattutto a legna o pellet.

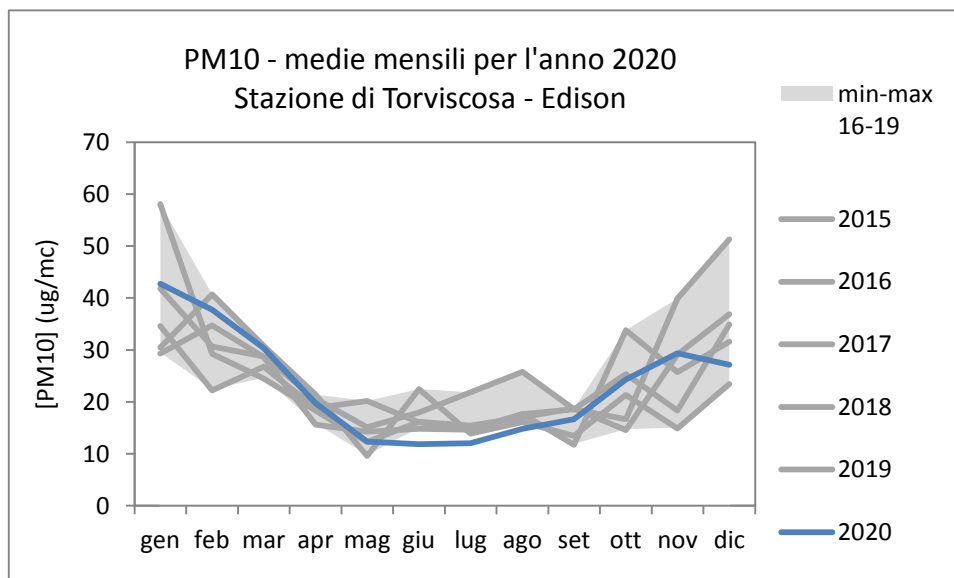


Figura 22: concentrazioni medie mensili di PM₁₀ della stazione di Torviscosa. Confronto fra gli andamenti nel corso del 2020 e dei cinque anni precedenti.

3.3.2 PM_{2,5}

In Tabella 12 viene riportato il riferimento normativo che prevede ad oggi il limite come media annuale pari a 25 µg/m³. È oltretutto previsto l'abbassamento di tale limite a 20 µg/m³.

Tabella 12: PM_{2,5} – valori di riferimento previsti dalla normativa.

Riferimento normativo	Denominazione	Periodo di mediazione	Valore di riferimento
DLgs 13 agosto 2010 n. 155	valore limite annuale per la protezione della salute umana	media annuale (dal 01/01/2005)	25 µg/m ³ (*)

(*) D.Lgs. 155/2010, Allegato XI - Fase 2: Valore limite da stabilire con successivo decreto ai sensi dell'art. 22 comma 6, tenuto conto del valore indicativo di 20 µg/m³ e delle verifiche effettuate dalla Commissione europea alla luce di ulteriori informazioni circa le conseguenze sulla salute e sull'ambiente, la fattibilità tecnica e l'esperienza circa il perseguimento del valore obiettivo negli Stati membri.

La rete di rilevamento della qualità dell'aria nella Bassa friulana contava fino alla prima metà del 2020 soltanto due misuratori di tale parametro (stazioni Şişecam). Solo a partire da agosto 2020 anche le tre stazioni Edison sono state dotate di opportuna strumentazione.

Di seguito viene riportato un confronto fra i dati raccolti nella Bassa friulana e quelli registrati presso la stazione di fondo urbano di Udine (parco di via Cairoli); il sito di Morsano non è dotato di rilevatore per PM_{2,5}.

Nella Tabella 13 viene riportata la media annua degli ultimi anni solo per le stazioni i cui dati presentavano una copertura annua sufficiente, fatte salve le tre stazioni Edison i cui valori medi, ancorché raccolti a partire da agosto 2020, vengono comunque riportati (*). Infatti, siccome le misure sono iniziate circa a metà anno e data la stagionalità tipica del materiale particolato, si suppone che i dati sulla seconda metà dell'anno possano essere confrontabili alla media calcolata sull'intero anno, essendo le due metà tendenzialmente speculari. Ciò in effetti

viene dimostrato dai dati che, per le stazioni Edison, risultano pressoché in linea coi dati delle altre stazioni i quali coprono invece l'intera annualità.

Tabella 13: PM_{2.5} – concentrazioni medie annue nelle varie stazioni. *Dati a partire da agosto 2020. Nelle stazioni Şişecam non sono stati riportati alcuni dati in quanto la copertura annua non è risultata sempre sufficiente (problemi strumentali).

PM _{2.5} (µg/m ³)	2017	2018	2019	2020
Torviscosa - Edison				16*
Malisana - Edison				17*
Castions - Edison				16*
Nogaro - Şişecam	--	18	16	--
Carlino - Şişecam	--	--	18	18
Udine - via Cairoli	17	16	14	14

Nei grafici riportati di seguito si osserva l'andamento delle medie mensili delle sei stazioni considerate negli anni 2019-2020 (Figura 23) con il dettaglio sulla seconda metà del 2020 in cui sono presenti anche i dati delle stazioni Edison (Figura 24). Come si vede le concentrazioni delle stazioni Şişecam sono pressoché sistematicamente maggiori a quelle della stazione di Udine a riprova del fatto che la Bassa friulana è maggiormente interessata dalla presenza di polveri. Osservando lo zoom sulla seconda metà del 2020 si osserva che le stazioni Edison presentano valori confrontabili con Şişecam. Per quanto i valori assoluti siano maggiori nella Bassa rispetto al medio Friuli, si può notare soprattutto nel grafico delle medie giornaliere (Figura 25) che le fluttuazioni sono assolutamente sincrone per tutti i siti di misura.

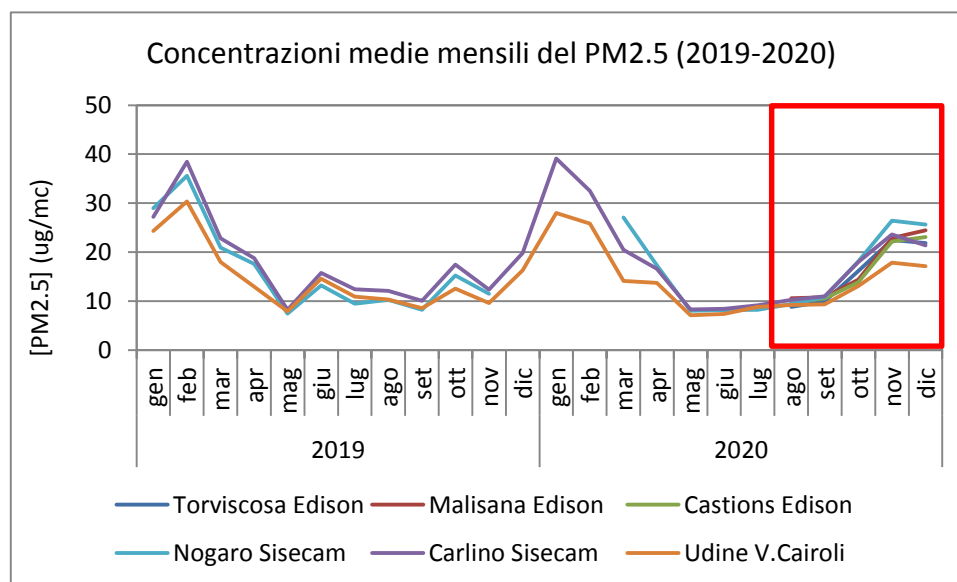


Figura 23: PM_{2.5} - concentrazioni medie mensili (2019-2020).

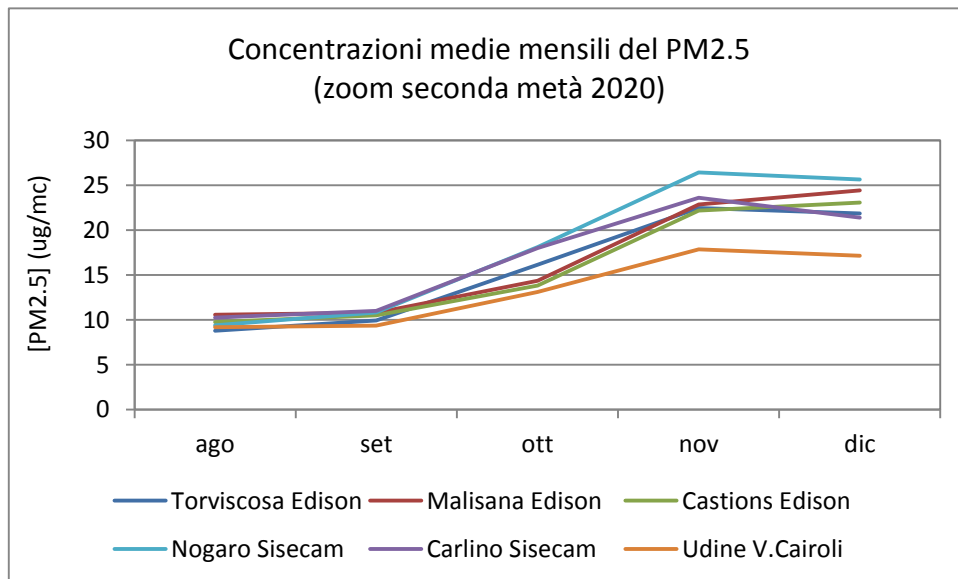


Figura 24: PM_{2,5} - concentrazioni medie mensili nella seconda metà del 2020.

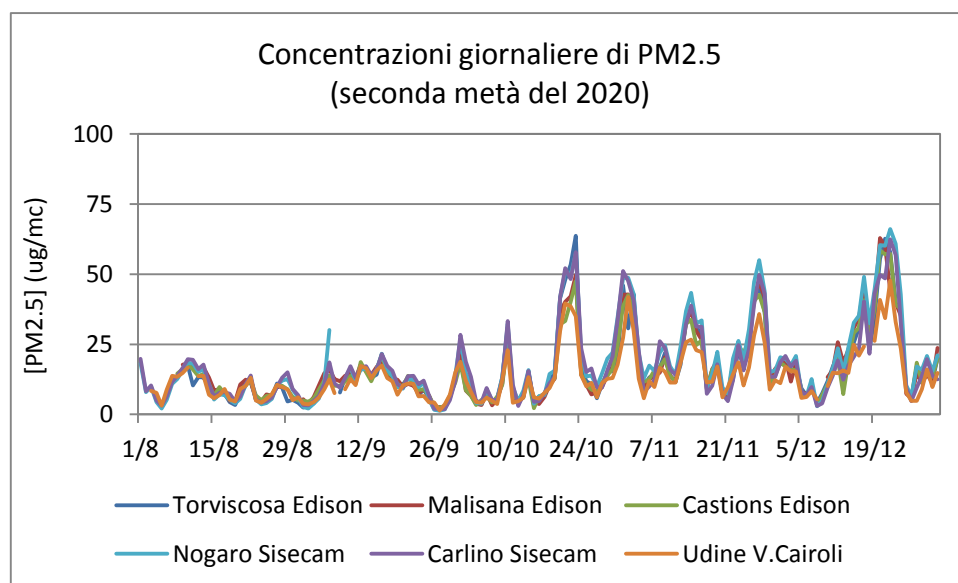


Figura 25: PM_{2,5} - concentrazioni medie giornaliere nella seconda metà del 2020.

4. CONCLUSIONI

Con questo studio si è voluto inquadrare la qualità dell'aria nella zona della bassa pianura friulana orientale a partire dai dati raccolti negli ultimi sei anni dalle stazioni di monitoraggio di proprietà della centrale termoelettrica Edison SpA e della vetreria Şişecam Srl, tutte gestite da Arpa FVG. Queste cinque stazioni risiedono a pochi km di distanza l'una dall'altra rispettivamente presso Torviscosa, Malisana, Castions delle Mura, Nogaro e Carlino ricoprendo così una superficie di circa 15 km². Si presuppone però che tale area sia rappresentativa di una porzione di territorio ben più estesa (quantomeno la bassa friulana orientale) data l'omogeneità orografica e meteorologica e dato il simile utilizzo del territorio che caratterizza quell'area.

In base alle indicazioni di legge (D. Lgs. 155/2010) in questa zona sono state monitorate le concentrazioni di biossido di zolfo (SO₂), monossido di carbonio (CO), ossidi di azoto (NO_x), benzene e polveri.

In base alle evidenze riscontrate si è scelto di non interpretare i dati inerenti ad SO₂ e CO in quanto, ormai da decenni anche nella Bassa, come del resto in tutta la regione, questi inquinanti presentano concentrazioni ambientali così basse da non essere quasi più misurabili. Nemmeno per il benzene si è proceduto alla discussione dei dati che si sono mediamente attestati ad un quinto del limite di legge (media annua di circa 1 µg/m³; limite annuo 5 µg/m³).

L'analisi dei dati relativi alle concentrazioni degli ossidi di azoto ed in particolare del biossido di azoto (NO₂) ha evidenziato concentrazioni pari a meno della metà dei limiti di legge (media annua: circa 15 µg/m³ vs 40 µg/m³; massimo orario: circa 80 µg/m³ vs 200 µg/m³), in conformità a quanto rilevato sul resto della regione.

Per questo inquinante si evidenzia una variazione stagionale e giornaliera ben definite secondo cui le concentrazioni maggiori si hanno rispettivamente nei mesi freddi e nelle ore notturne. Ciò è legato strettamente al fatto che in questi periodi si ha una contrazione dello strato di rimescolamento dell'aria (la porzione di atmosfera più vicina al terreno) che, in pratica, determina la dispersione degli inquinanti in un volume minore.

Confrontando le cinque stazioni si osservano fra esse talune differenze legate principalmente agli impatti del traffico stradale: le stazioni più interessate da questa fonte sono le stazioni di Torviscosa e Nogaro che comunque denotano un impatto inferiore rispetto al contesto prettamente urbano (cfr. con la città di Udine).

Sfruttando l'evento del rigido *lockdown* di marzo-aprile 2020 si è potuto constatare che la presenza di ossidi di azoto rilevati dalle stazioni della Bassa è espressamente legata alle emissioni dei mezzi di trasporto e non al riscaldamento domestico o alla produzione di energia elettrica della locale centrale a turbogas. La forte riduzione delle concentrazioni di NO₂ registrata in questo bimestre, rispetto al medesimo periodo degli anni precedenti, è infatti coincisa con la riduzione della mobilità determinata dal *lockdown* a cui non è corrisposta una riduzione dell'uso del riscaldamento domestico (temperature ambientali confrontabili con gli anni precedenti), né l'interruzione dell'attività dell'impianto termoelettrico che è rimasto in funzione per tutto il periodo.

L'ozono, inquinante secondario la cui formazione è determinata da reazioni fotochimiche, è tipicamente più presente nel periodo estivo. Fra aprile e settembre, infatti, su tutta la regione, con minor incidenza soltanto sulla zona montana, si possono verificare numerosi sforamenti del valore obiettivo (120 µg/m³) e, in condizioni particolarmente favorevoli (lunghi periodi di forte irraggiamento solare e scarsissima piovosità) anche superamenti della soglia di informazione (180 µg/m³); non si ha invece evidenza, negli ultimi anni, di superamenti della soglia di allarme (240 µg/m³).

Nella Bassa friulana, analogamente al resto della regione, la situazione negli ultimi anni non dimostra un *trend* in crescita o in diminuzione ma si evidenziano variazioni interannuali ascrivibili alle oscillazioni meteorologiche registrate di anno in anno.

Riguardo alle polveri aerodisperse, va detto che negli ultimi anni le concentrazioni di PM₁₀ e PM_{2,5} sono rimaste per lo più entro i limiti di legge su buona parte della regione e si sono evidenziate delle criticità principalmente nella zona sud-occidentale in prossimità del confine con il Veneto.

Come emerso anche nel presente lavoro, le fluttuazioni delle concentrazioni di PM₁₀ sono sincrone su vasta scala indicando una dipendenza pressoché univoca dai determinanti meteorologici, i quali, a loro volta, possono implicare la necessità o meno di utilizzo del riscaldamento domestico, piuttosto che la probabilità più o meno elevata di accumulo degli inquinanti (stagnazione delle masse d'aria) o di formazione dell'aerosol secondario. Spazialmente si osserva un certo gradiente di concentrazione che, nella zona di pianura, aumenta leggermente da nord a sud e da est a ovest. Infatti le concentrazioni medie annue (il cui limite normativo è di 40 µg/m³) rilevate nella bassa pianura orientale sono intermedie fra quelle del medio Friuli e della bassa pianura occidentale (rispettivamente 24, 22 e 27 µg/m³ se si confronta la media complessiva degli ultimi sei anni delle 5 stazioni indagate con la stazione di Udine e quella di Morsano al Tagliamento). Maggior scostamento nelle tre aree si evidenzia per il numero di superamenti del limite giornaliero di 50 µg/m³ che non deve essere oltrepassato più di 35 volte in un anno (rispettivamente 24, 15 e 36 sforamenti se si confronta la media complessiva degli ultimi sei anni delle 5 stazioni indagate con la stazione di Udine e quella di Morsano al Tagliamento).

Analogo è il comportamento del PM_{2,5} per il quale si può dire che, nella zona indagata, le concentrazioni medie annue rispettano anche il limite più restrittivo (20 µg/m³ anziché 25 µg/m³) in fase di adozione.

Per le polveri, in generale, si osserva una spiccata stagionalità: fra ottobre e marzo si hanno le concentrazioni più elevate e si conta la quasi totalità degli sforamenti, fatti salvi eventuali fenomeni di trasporto *long-range* o specifiche attività locali (ad es. attività agricole). Oltre al fenomeno dell'abbassamento dello strato di rimescolamento dell'aria e altri determinanti climatici od orografici, la maggior quantità di polveri nel periodo invernale è fortemente legata al riscaldamento domestico (soprattutto combustione di biomasse) che, ben più del traffico veicolare, costituisce un'importante fonte di particolato atmosferico primario.

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] AA. VV. Relazione annuale sulla qualità dell'aria 2019 - ARPA FVG.
http://www.arpa.fvg.it/export/sites/default/tema/aria/utilita/Documenti_e_presentazioni/tecnico_scienti_fiche_docs/Relazione_qa_2019_FVG.pdf
- [2] Stull, R. B., An Introduction to Boundary Layer Meteorology. Kluwer Academic Publishers (1988).
- [3] Mistaro, A., Colombi, C., Corbucci, I., Diémoz, H., Dorillo, I., Formenton, G., Galletti, M., Magri, T., Tarricone, C., Tolloi, A., Valutazione degli effetti del lockdown sulla qualità dell'aria: professionalità e creatività analitica nelle Agenzie italiane. BEA, 1-2, 1-28 (2021).
- [4] Tolloi, A., Abatangelo, A., Asquini, T., Baiutti, E., Bellini, M., Mistaro, A., Moimas, F., Montanari, F., Movia, A., Petrini, A., Stel, F., Visintin, M., Bonafè, G., Effetti del lockdown 2020 sulla qualità dell'aria in Friuli Venezia Giulia: rapporti diagnostici e speciazione chimica del particolato atmosferico. BEA, 1-2, 29-41 (2021).