

## **CENTRALE TERMOELETTRICA DI MONFALCONE**

Installazione del sistema di abbattimento degli Ossidi di Azoto (DeNOx)  
sui gruppi a carbone 1 e 2 per l'adeguamento ai valori limite  
nel rispetto delle MTD

## **VALUTAZIONE DELLA DIFFUSIONE ATMOSFERICA DEGLI EFFLUENTI AERIFORMI**

Doc. P01MF00189 Rev. 00

26 novembre 2013



CENTRALE TERMOELETTRICA DI MONFALCONE

Installazione del sistema di abbattimento degli Ossidi di Azoto (DeNOx) sui gruppi a carbone 1 e 2 per l'adeguamento ai valori limite nel rispetto delle MTD

Elaborato n.  
P01MF00189 Rev.00

Pag. 2 di 133

**A2A** S.p.A.

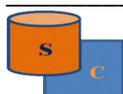
Corso di Porta Vittoria, 4 - 20122 Milano  
T [+39] 02 7720 1 - F [+39] 02 7720 3920  
[www.a2a.eu](http://www.a2a.eu)

---

ing. Massimo Tiberga  
.....Project Director

---

ing. Roberto Scottoni  
Project Manager





CENTRALE TERMOELETTRICA DI MONFALCONE

Elaborato n.  
P01MF00189 Rev.00

Installazione del sistema di abbattimento degli Ossidi di Azoto  
(DeNOx) sui gruppi a carbone 1 e 2 per l'adeguamento ai valori  
limite nel rispetto delle MTD

Pag. 3 di 133



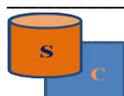
**Autori**

G. Tinarelli, A. Nanni

**Riferimento**

ARIANET R2013.21

**Novembre 2013**



**INDICE**

<b>1</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>CLIMATOLOGIA E METEOROLOGIA .....</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>NORMATIVA SULLA QUALITÀ DELL'ARIA .....</b>	<b>19</b>
<b>3.1</b>	<b>NORMATIVA VIGENTE.....</b>	<b>20</b>
<b>4</b>	<b>SITUAZIONE ATTUALE DELLA QUALITÀ DELL'ARIA ..</b>	<b>24</b>
<b>4.1</b>	<b>ANALISI DEI DATI DI QUALITÀ DELL'ARIA.....</b>	<b>27</b>
4.1.1	Biossido di Zolfo.....	27
4.1.2	Ossidi di azoto .....	33
4.1.3	Polveri Fini – PM10-PM2,5 .....	38
4.1.4	Ozono .....	42
4.1.5	Monossido di carbonio .....	47
4.1.6	Microinquinanti.....	48
<b>5</b>	<b>STIMA DEGLI EFFETTI DELL'IMPIANTO .....</b>	<b>49</b>
<b>5.1</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOGRAFICO .....</b>	<b>51</b>
<b>5.2</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE METEOROLOGICA DEL SITO .....</b>	<b>55</b>
<b>5.3</b>	<b>QUADRO EMISSIVO .....</b>	<b>76</b>
<b>5.4</b>	<b>CONFIGURAZIONE DEL SISTEMA MODELLISTICO.....</b>	<b>80</b>
<b>5.5</b>	<b>RISULTATI DELLE SIMULAZIONI.....</b>	<b>84</b>
5.5.1	Ossidi di Azoto .....	85
5.5.2	SO <sub>2</sub> .....	95
5.5.3	Polveri.....	106
<b>5.6</b>	<b>QUALITÀ DELL'ARIA COMPLESSIVA.....</b>	<b>112</b>
<b>6</b>	<b>MICROINQUINANTI .....</b>	<b>120</b>
<b>6.1</b>	<b>RISULTATI DELLE SIMULAZIONI.....</b>	<b>122</b>
6.1.1	Concentrazioni in aria .....	122

## 1 PREMESSA

L'obiettivo del lavoro descritto nella presente relazione è l'analisi della diffusione degli inquinanti emessi dalla centrale termoelettrica di Monfalcone nelle due configurazioni anteriore e posteriore all'adeguamento delle sezioni 1-2 a carbone (165 e 171 MW) della centrale, mediante Installazione del sistema DeNOx, che porta complessivamente ad una riduzione delle emissioni dell'impianto.

In accordo con le Linee Guida per la Scelta dei Modelli di Dispersione Atmosferica e della Valutazione di Dispersione di Inquinanti ai Fini degli Studi di Impatto Ambientale, si è reso necessario uno studio di impatto approfondito mediante l'uso del codice Lagrangiano a particelle per la modellizzazione tridimensionale della dispersione in atmosfera dei diversi inquinanti. I risultati ottenuti hanno consentito di stimare i livelli di inquinamento atmosferico al suolo in tutto il dominio di interesse e la loro evoluzione temporale ora per ora, nelle diverse condizioni meteorologiche tipiche del sito per un periodo pari ad un anno solare.

Essendo l'impianto oggetto di studio posizionato in sito costiero, caratterizzato sia dalla presenza di interfaccia terra-mare che dalla presenza di un profilo topografico relativamente complesso, è necessario l'utilizzo di modellistica tridimensionale in grado di tenere conto di aspetti quali:

- simulazione della dispersione in situazioni di calma di vento con riproduzione dei fenomeni di stagnazione ed accumulo;
- riproduzione dell'impatto orografico con l'evoluzione spaziale e temporale dei fenomeni di brezza locale;

- possibilità di considerare i cambiamenti di direzione e di intensità del vento sia con la quota che in zone diverse.

Per la realizzazione dello studio è stato quindi utilizzato il pacchetto ARIA/Industry, un sistema di modellistica tridimensionale costituito dalle seguenti componenti:

- il modello per la ricostruzione tridimensionale del campo di vento diagnostico a divergenza nulla SWIFT/MINERVE;
- il processore per la definizione dei parametri di turbolenza SurfPro;
- il modello lagrangiano a particelle SPRAY per la dispersione degli inquinanti su terreno complesso.

Nei paragrafi successivi sono illustrati in maggiore dettaglio le caratteristiche del sistema modellistico utilizzato.

Tale sistema è in grado di soddisfare le esigenze specifiche del caso in esame.

Le simulazioni sono state condotte su base oraria per un intero anno di riferimento scelto sulla base della disponibilità di dati tridimensionali necessari ad un sistema modellistico di questo tipo, relativamente agli inquinanti ossidi di azoto, biossido di zolfo e particolato.

## 2 CLIMATOLOGIA E METEOROLOGIA

Il clima è, per definizione, il tempo meteorologico mediamente osservato su una predefinita zona ed in un determinato periodo temporale; questo valore medio deve essere calcolato su un periodo sufficientemente lungo da coprire quella che è la naturale variabilità inter-annuale. l'O.M.M. (Organizzazione Meteorologica Mondiale) raccomanda l'utilizzo di serie temporali di almeno trenta anni.

La caratterizzazione climatologica e meteorologica di un'area viene pertanto generalmente condotta prendendo in esame oltre alle caratteristiche geografiche, orografiche e morfologiche del territorio le statistiche meteorologiche di lungo periodo ricavate da stazioni meteorologiche presenti nella zona di interesse.

Nel seguito verranno pertanto descritti i caratteri meteo-climatici presenti sia a scala regionale che a livello locale, nell'intorno del sito, interessato dal presente progetto relativo alla trasformazione a carbone della Sezione 4 della Centrale di Monfalcone.

La Centrale di Monfalcone è ubicata in Provincia di Gorizia, nell'area industriale della periferia sud-orientale del comune di Monfalcone; è localizzata sul mare Adriatico ed è posta all'apice nordoccidentale del Golfo di Trieste collocandosi al margine tra il settore orientale della pianura friulana e l'altopiano del Carso, al confine con la Slovenia.

### *Il mare Adriatico*

Il mare Adriatico è un bacino semichiuso orientato longitudinalmente in direzione NO-SE che si estende nella sua parte settentrionale tra le coste italiane, slovene e croate.

Esso può essere suddiviso, relativamente alla latitudine, in tre bacini: l'Alto Adriatico, dalle coste venete e friulane fino alla linea che congiunge fra le due coste Ancona e Zara; il Medio Adriatico, da quest'ultima linea al promontorio del Gargano e all'isola di Lastovo ed il Basso Adriatico, dal Gargano al canale d'Otranto.

La sua funzione termoregolatrice risulta limitata per la scarsa profondità delle acque (bassa capacità termica) che le rende soggette a notevoli variazioni stagionali e a modeste capacità mitigatrici.

L'Adriatico è peraltro una importante area di convergenza e smistamento delle masse d'aria che provengono dall'Atlantico, dal Mediterraneo e dall'Europa centro - orientale, con scambi che avvengono prevalentemente nel senso dei meridiani determinando una continua alternanza del tempo.

Tale variabilità è riconducibile principalmente ai seguenti due fattori:

- transito delle depressioni di origine atlantica. Il Nord Italia rappresenta infatti il punto d'incontro tra le perturbazioni che dalla Spagna arrivano sull'Alto Adriatico scavalcando gli Appennini e di quelle che vi arrivano dalla Normandia attraverso le Alpi e la pianura Padana. E' necessario tuttavia osservare come la circolazione risulti fortemente condizionata dalle caratteristiche orografiche e da effetti locali. In particolare le due dorsali montuose, Alpi Dinariche ed Appennini, che si sviluppano parallele tra loro in direzione NO-SE, la porta naturale di Trieste ad Est e la pianura Padana ad Ovest provocano significative variazioni nella circolazione del bacino rispetto a quella delle aree contigue del Mediterraneo;
- presenza di un attivo processo di ciclogenesi, per effetto del quale nel periodo invernale nell'Adriatico centro-settentrionale si generano una discreta quota parte delle depressioni di origine mediterranea.

### *Il Friuli Venezia Giulia e la sua zona costiera*

In generale la Regione Friuli-Venezia Giulia è caratterizzata da un clima fortemente diversificato nelle diverse aree che la costituiscono. La presenza del sistema alpino la protegge dall'afflusso diretto dei rigidi venti settentrionali, ma l'apertura verso la Pianura Padana, la rende soggetta alla circolazione generale delle masse d'aria da Ovest a Est; inoltre, come accennato, per l'apertura all'alto Mare Adriatico, sul suo territorio affluiscono anche venti sciroccali che determinano una elevata piovosità.

In generale il clima della intera regione può essere classificato come continentale moderato con connotazione umida; tale definizione si origina dalla distinzione dei climi classica del Köppen e da altri specialisti (Polli, Gentili, ERSA, ARPA). La connotazione umida del clima proviene dall'elevata piovosità dell'alta pianura friulana e della zona prealpina.

La Regione Friuli Venezia Giulia presenta un'orografia molto articolata, caratterizzata dalla coesistenza di aree dalle caratteristiche tipicamente montane associate ad una vasta area di pianura che si estende dal piede degli ultimi rilievi prealpini fino alla linea di costa.

Morfologicamente la regione può essere suddivisa in aree principali:

- l'area montana;
- l'area prealpina e collinare;
- le pianure centrali;
- il carso;
- la zona costiera.

Ci si focalizzerà da qui in avanti sulla sola zona costiera, fascia abbastanza ridotta in profondità (pochi chilometri nelle province di Udine e Gorizia, partendo dalla linea di costa, meno di un chilometro nella provincia di Trieste)

La zona costiera può essere ulteriormente suddivisa in due sotto aree, l'occidentale e quella orientale, separate dalla foce del fiume Isonzo. A ovest di questa la costa è bassa e sabbiosa con ampie lagune (laguna di Grado e di Marano). A est la costa sale verso le scogliere fino a Trieste, Muggia ed al confine con la Slovenia.

Per quanto riguarda l'andamento termico si può affermare che la fascia pianeggiante e costiera della regione rientra, per quanto attiene alle temperatura media annuale, fra i valori di 12 e 14 °C, con alcune lievi differenze dovute sostanzialmente solo alla maggiore vicinanza al Mare Adriatico e alla giacitura. Questa fascia dove l'influenza del mare mitiga la moderata continentalità del territorio pianeggiante, può essere suddivisa ulteriormente in un ambito occidentale- centrale, più fresco (dal Tagliamento all'Isonzo), in cui sono comprese anche le Lagune di Marano e Grado, e in un ambito orientale, più mite (che comprende la costiera triestina e la città di Trieste), perché sente maggiormente l'effetto protettivo offerto dalla barriera dell'altopiano carsico, a ridosso della linea di costa, che induce un clima rivierasco, ma anche la maggiore profondità del mare (10÷25 m a Trieste a confronto con la zona occidentale 0÷10 m), che aumenta la capacità termica. Per l'ambito occidentale si possono considerare temperature inferiori di 0.5÷1°C. Valori estremi di temperatura risultano piuttosto rari in questa zona e legati a particolari situazioni meteorologiche, quali le intense irruzioni di masse d'aria gelide continentali o l'apporto di masse d'aria tropicali; in entrambi i casi, la presenza della Bora enfatizza, sulla fascia costiera, non solo l'apporto di aria gelida da Est, come è abbastanza noto, ma anche la compressione ed il riscaldamento (effetto foehn) delle masse d'aria calde tropicali nei mesi estivi. Cioè, la Bora, seppur di lieve intensità, è una con-causa dei massimi estremi di temperatura sulla costa. Durante l'inverno sono comunque molto rari i giorni con temperature minime inferiori a -5°C e d'estate quelli con temperature massime superiori ai 32°C.

Per quanto riguarda l'andamento pluviometrico la zona costiera è la meno piovosa della regione (totali annui 1000÷1200 mm) con un andamento

crescente dalla costa verso l'interno; segue la zona pianeggiante e collinare in cui avvicinandosi alle montagne la piovosità aumenta (1200÷1800 mm/anno)

In quasi tutta la regione il mese meno piovoso è febbraio, con valori che variano dai 70÷100 mm di pioggia sulla costa e in pianura.

I mesi più piovosi sono giugno e novembre, quando si registrano, sulla fascia costiera, mediamente 100÷120 mm di pioggia C'è da notare che le variazioni intorno ai valori medi sopra riportati sono notevoli.

La natura e l'origine delle piogge, ovviamente, variano nel corso dell'anno; durante i mesi tardo autunnali, invernali e primaverili le piogge sono in genere legate alla circolazione sinottica ed ai flussi umidi meridionali; durante i mesi estivi e nei primi mesi autunnali diventa rilevante o anche prevalente il contributo di piogge di origine convettiva (rovesci e temporali) o comunque legate a dinamiche alla mesoscala.

L'intensità delle piogge estivo-autunnali è mediamente superiore a quella delle piogge invernali e primaverili.

Relativamente alla frequenza delle precipitazioni (numero di giorni piovosi o nevosi). Il numero di giorni piovosi risulta sulla costa e nell'immediato entroterra di 92-96 giorni/anno.

Per quanto riguarda l'andamento anemologico nella zona di interesse si può senz'altro affermare che il vento predominante è la Bora, vento che proviene da E-NE, con una fama derivata dal suo caratteristico comportamento a raffiche e dall'intensità che può assumere valori molto elevati.

Si presenta in tutte le stagioni, è comunque più frequente e violento nei mesi invernali e meno in quelli estivi (borino). E' determinato dalla formazione di una zona di alta pressione sull'Europa centrale e balcanica che determina l'espansione dell'aria fredda accumulata che finisce per precipitare dalla Dalmazia verso il mare, favorita dallo squilibrio della pressione esistente tra

l'aria sovrastante le masse continentali e quelle sovrastanti la massa d'acqua dell'Alto Adriatico, relativamente più calda: questa è la bora chiara accompagnata da cielo sereno, bassa temperatura, atmosfera limpida e secca; è invece bora scura se in contemporanea si forma una depressione sul Tirreno o sull'Adriatico poiché, in tal caso, le correnti in quota diventano meridionali ed umide e sotto invece scorre la bora.

La Bora assume orientamenti diversi: nella pianura friulana e nella fascia collinare orientale proviene da NE, mentre sulla fascia costiera E-NE e si osserva per circa un terzo dei giorni di un anno.

Ma in Friuli Venezia Giulia soffiano anche altri venti che accompagnano determinate condizioni meteorologiche.

Il Levante, proveniente da Est, è una componente della Bora, e si verifica quando si rafforzano degli anticicloni sull'Europa orientale, d'inverno è un vento molto freddo perché favorisce l'ingresso diretto della masse d'aria gelide continentali, senza che debbano scavalcare grosse barriere, ma interessa solo alcune zone della regione, principalmente la costa, parte della pianura friulana e il Tarvisiano.

Lo Scirocco, proveniente da SE, si verifica nelle situazioni caratterizzate dal passaggio di perturbazioni che danno origine a depressioni sia sull'Alto Adriatico che a nord delle Alpi, e l'intensità assume valori anche rilevanti, specie sulla fascia costiera. Questo vento è praticamente sempre accompagnato da precipitazioni.

L'Ostro, proveniente da Sud, non è particolarmente frequente, si verifica per lo più del periodo autunnale,

Il Libeccio, proveniente da SO, è presente anch'esso nelle situazioni di maltempo quando si originano delle depressioni in Austria e nell'Europa nord-orientale e favorisce la formazione di nuvolosità sulla regione. La sua velocità non è di solito molto elevata e solo occasionalmente si registrano raffiche più

forti che in quei casi provocano anche mareggiate dannose sulla costa, specialmente sul litorale triestino. In molte giornate è difficile distinguere questo vento dalla brezza di mare che risale gran parte della pianura friulana. E' comunque un vento molto frequente, e assieme alla Bora domina gran parte dell'anno.

Il Ponente, proveniente da Ovest, si avverte raramente e con velocità medio-basse, è un po' più presente sulla costiera triestina, in quanto componente della brezza di mare, che in questa parte del territorio regionale assume un orientamento da W-NW,. A volte è presente come vento proprio di certe situazioni meteorologiche, specie dopo il passaggio di fronti, o dopo alcuni temporali estivi, ma in genere è di breve durata e si alterna rapidamente con il Libeccio.

Il Maestrale è piuttosto poco frequente sulla pianura friulana e anche la sua durata è limitata spesso a poche ore. La sua limitata presenza è dovuta all'effetto di sbarramento delle Alpi.

La Tramontana, proveniente da Nord, è un vento secco e in origine freddo, ma per l'effetto foenizzante di caduta dalle Alpi può portare a degli improvvisi e forti aumenti di temperatura anche in pieno inverno. Le sue principali caratteristiche oltre l'irregolarità e l'impetuosità delle raffiche è l'apporto di masse d'aria più fredde che però si fanno sentire dopo che è cessato l'afflusso più forte e la secchezza dell'aria con valori dell'umidità relativa anche inferiori al 10%.

Infine, il Grecale, proveniente da Nord-Est, può essere considerato anch'esso una variante della Bora, e per esso si verificano le stesse condizioni, salvo che apporta di solito aria un po' secca rispetto ad essa e che comunque non assume carattere di estrema intensità.

Il regime dei venti al suolo è evidentemente determinato dalla conformazione del territorio. La catena alpina rende predominanti sulla pianura e lungo la costa i venti provenienti dal quadrante orientale. I venti sinottici hanno quindi

provenienza prevalente nord orientale, ma non mancano ogni anno alcuni episodi di scirocco o tramontana.

Il regime delle brezze è il secondo elemento caratterizzante i venti regionali, su tutto il territorio ed in particolare per la zona costiera in esame.

Per quanto riguarda la direzione prevalente su gran parte della pianura e della costa friulana, l'alternarsi delle brezza notturna proveniente da NE, con quella diurna da SO, si somma ai venti dominanti di Bora e Libeccio, rafforzandone gli effetti

Fa eccezione la zona costiera triestina in cui le brezze assumono un andamento diurno da O-NO, mentre durante la notte l'aria più fredda dell'altopiano scende i valloni con orientamento prevalente da E o E-SE, apportando così un costante ricambio della massa d'aria.

Per quanto riguarda l'intensità dei venti, esiste una notevole differenza tra i venti determinati da forzanti sinottiche ed i regimi di brezza.

I venti sinottici sono prevalentemente presenti nel periodo autunnale ed invernale ed hanno valori medi superiori, anche di alcuni metri al secondo, rispetto a quelli delle brezze.

Per i venti di brezza le intensità medie variano localmente ma in ogni caso lungo la zona costiera e allo sbocco delle principali valli sulla pianura si registrano i valori medi più elevati. Per quanto riguarda la zona costiera, durante il periodo estivo, le intensità medie del vento sono di 2÷3 m/s.

Tali intensità medie rappresentano un'estrema sintesi del fenomeno, in quanto le brezze seguono un ciclo, sostanzialmente diurno, che alterna periodi di calma a periodi di elevata intensità del vento.

### *Caratteri Climatologici Locali*

Il sito dove sorge la Centrale di Monfalcone è posto, come accennato, all'apice nord-occidentale del Golfo di Trieste e si colloca al margine tra il settore orientale della pianura friulana e l'altopiano del Carso, al confine con la Slovenia. Le serie storiche provenienti dalle postazioni meteorologiche fisse, installate sia nell'entroterra che lungo il Golfo di Trieste, sulla base delle quali è stato elaborato un profilo meteo-climatologico locale sono riportate nell'Allegato A dal titolo:

CENTRALE TERMOELETTRICA DI MONFALCONE – *Installazione del sistema di abbattimento degli Ossidi di Azoto (DeNOx) sui gruppi a carbone 1 e 2 per l'adeguamento ai valori limite nel rispetto delle MTD*

CARATTERIZZAZIONE METEOROLOGICA DELL'AREA DI STUDIO. – novembre 2013. Doc. n. P01MF00190-00

Le postazioni di rilevamento di dati meteorologici presenti nell'area sono:

Trieste, per gli anni dal 1951 al 1991, distante circa 25 km da Monfalcone e che si colloca ad un'altezza di 20 m s.l.m.;

Ronchi dei Legionari (GO), per gli anni dal 1967 al 1991. Distante circa 4 km da Monfalcone si colloca ad un'altezza di 12 m s.l.m.;

Udine Campofornido (UD), per gli anni dal 1951 al 1977. Distante circa 40 km da Monfalcone, si colloca ad un'altezza di 94 m s.l.m.;

Udine Rivolto (UD) per gli anni dal 1970 al 1991 distante circa 40 km da Monfalcone, si colloca ad un'altezza di 53 m s.l.m

Dall'analisi di quanto presentato in allegato possono essere tratte le seguenti considerazioni:

I dati rilevati nelle stazioni di Trieste, Ronchi dei Legionari e Udine Campofornido presentano alcune disomogeneità imputabili alle distanze che

intercorrono tra le diverse stazioni e alla collocazione geografica traducibile in una maggiore o minor vicinanza al mare.

Il regime termico presenta un andamento uniforme per tutte e 4 le stazioni con un minimo in gennaio ed un massimo in luglio; più in dettaglio ci sono leggeri scostamenti tra Trieste (stazione più in prossimità della costa) e quelle maggiormente all'interno. La temperatura media annua passa dai 14,5°C di Trieste ai 12,9-13,1°C per le altre stazioni; leggere simili differenze si hanno anche per quanto riguarda la media delle temperature massime annuali, la stazione di Trieste registra 17,3-17,5°C a seconda dei periodi esaminati contro i 17,7 - 18,5°C registrati nelle altre stazioni per diversi periodi. Per quanto riguarda la media delle temperature minime annuali, la stazione di Trieste registra 11,5 - 11,7°C a seconda dei periodi esaminati contro 7,8 - 8,3°C registrati nelle altre stazioni per diversi periodi.

La piovosità si mantiene uniforme con i massimi nei mesi di giugno e novembre per tutte e 4 le stazioni esaminate; i minimi si verificano mediamente in febbraio tranne che per Udine Campoformido dove si sono riscontrati nel gennaio. La stazione con il minor valor medio annuale di precipitazioni è Trieste (1.025,7 mm), seguita da Ronchi dei Legionari (1.183,9), da Udine Rivolto (1.269,1 mm) e Udine Campoformido (1.395,7 mm). I giorni con pioggia risultano mediamente tra i 6-7 e i 10-11 al mese con medie annue che vanno dai 95 giorni di Ronchi dei Legionari ai 103 giorni di Udine Campoformido. L'intensità delle piogge estivo-autunnali è mediamente superiore a quella delle piogge invernali e primaverili.

La distribuzione delle classi di stabilità atmosferica risulta, infine, sostanzialmente identica in tutte e 4 le stazioni con una lieve prevalenza della classe neutra per Udine Rivolto e Trieste nei confronti delle altre due stazioni (48,5% e 47,8%) contro il 44,5% di Ronchi dei Legionari e il 44,3% di Udine Campoformido). Tale situazione si inverte per la classe stabile, dove Trieste e

Udine Rivolto presentano valori lievemente inferiori (26,6% e 24,2%) rispetto a quelli delle altre due stazioni (31,7% e 31,1%).

I dati relativi alle inversioni termiche, rilevate in poche stazioni in Italia, sono disponibili solo per la postazione di Udine Campoformido, per il periodo dal 1963 al 1986. I dati mostrano come durante le ore notturne sia spesso presente un'inversione con base al suolo (83,4%), con uno spessore caratteristico compreso tra i 100 e i 200 metri. La seconda inversione si manifesta prevalentemente tra i 1.000 ed i 2.000 metri sia nelle ore diurne che notturne. Data la posizione della Centralina, collocata nell'entroterra a oltre 40 km dal mare, è ragionevole ritenere i dati rappresentativi dei fenomeni di brezza di monte, mentre non sono rilevate particolari informazioni per le inversioni collegate con le brezze di terra e di mare.

Relativamente al regime dei venti al suolo le 4 stazioni mostrano significative analogie. Prevalgono fortemente i venti da Nord Est, costituiti dal Grecale, dal Levante e dalla Bora, di origine sinottica e generalmente di forte intensità. Nella stazione di Udine Campoformido le frequenze risultano sposate maggiormente verso Nord, principalmente a causa della rotazione indotta dalla conformazione orografica locale rispetto alle direzioni sinottiche. La configurazione barica maggiormente frequente, che fa da motore ai venti da Nord-Est, presuppone la presenza di un anticiclone sui Balcani e di un'area di bassa pressione sul Mediterraneo Centrale; in alternativa la Bora "scura", portatrice di brutto tempo, ha un'origine ciclonica determinata da una depressione sul mar Ligure e sull'Alto Adriatico. Si nota, per tutte le rose, la presenza di una componente minoritaria, presente nel III quadrante, comprensiva dei fenomeni di brezza, la cui direzione è approssimativamente perpendicolare alla costa, e dei giorni di Libeccio. I grafici confermano quanto anticipato nella Figura precedente; la direzione prevalente, in presenza di atmosfera instabile, risulta coincidere con l'orientamento dei venti di brezza di mare, cioè in direzione perpendicolare alla linea di costa. L'insorgere delle brezze è determinato dalla presenza di un campo livellato di alta pressione, che favorisce il prevalere, a livello locale, dei

venti termici rispetto a quelli di origine sinottica. Il regime anemologico d'origine convettiva appare ben sviluppato, anche per quanto riguarda la presenza di brezze di monte, che si sviluppano sinergicamente alle eventuali brezze di terra determinate dalla linea di costa. Si noti infatti come la componente prevalente in classe F si discosti leggermente da quella in classe D e coincida con la localizzazione dei rilievi posti nell'entroterra, sufficientemente imponenti da fungere da motori per i venti di pendio. Tale variazione non è rilevata laddove, come nella stazione di Ronchi dei Legionari, l'orientamento dei venti di origine termica coincida con quelli di natura sinottica; si veda infatti come la rosa dei venti stagionale risulti praticamente identica in tutte le stagioni, mentre la classificazione per stabilità atmosferica si differenzia in maniera più che netta, permettendo di determinare la diversa origine e le diverse caratteristiche dei venti.

La circolazione al suolo è caratterizzata da una predominanza dei quadranti orientali, in pianura il regime ventoso appare, nel complesso, omogeneo con alcune differenze per quanto concerne la rotazione, al livello locale, dei venti di origine termica. Le frequenze di accadimento più elevate sono disposte sull'asse NE-SO; i venti dal I quadrante sono costituiti dalle componenti di Grecale, Levante e di Bora, che spesso soffiano in maniera intensa soprattutto lungo il litorale ed in prossimità della costa; ad esse si affiancano, per direzione, le brezze di terra e di monte, che spirano, con intensità moderata verso la costa durante le ore notturne. I fenomeni di brezza di mare, appaiono ben sviluppati, e si distribuiscono, a seconda della stazione esaminata, all'interno del III quadrante, mantenendosi in direzione perpendicolare alla costa.

In conclusione si può affermare che le stazioni lungo la costa (Trieste e Ronchi dei Legionari) presentano caratteristiche climatologiche analoghe o comunque confrontabili. Al contrario i dati climatologici registrati nelle stazioni di Udine (Campofornido e Rivolto) risentono della posizione geografica della stessa, che risulta decentrata nell'entroterra nel mezzo della pianura friulana, discostandosi da quelli registrati nelle stazioni lungo la costa.

### 3 **NORMATIVA SULLA QUALITÀ DELL'ARIA**

Con il termine inquinamento atmosferico l'E.E.A. (European Environmental Agency, Agenzia Europea per l'Ambiente) indica la presenza nell'aria di uno o più contaminanti in concentrazione e per un periodo tali da causare fastidio o patologie negli esseri umani, negli animali o nella vegetazione.

Negli ultimi anni l'Unione Europea ha prodotto, una serie di Direttive caratterizzate da continue riduzioni dei limiti di concentrazione degli inquinanti nell'aria.

### 3.1 **NORMATIVA VIGENTE**

Come accennato, in Italia, le Direttive Europee sono state recepite attraverso un lungo percorso legislativo sfociato ultimamente nel:

*Decreto Legislativo 13 agosto 2010, n.155 "Attuazione della direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa"*

basato, appunto, sulla Direttiva 2008/50/CE del Parlamento Europeo e sulla Direttiva 21/05/08 del Consiglio Europeo.

Il decreto abroga la precedente normativa sulla qualità dell'aria e istituisce un quadro normativo unitario in materia di valutazione e di gestione della qualità dell'aria ambiente e stabilisce i seguenti riferimenti per le concentrazioni nell'aria ambiente:

- valori limite di biossido di zolfo, biossido di azoto, benzene, monossido di carbonio, piombo e PM10;
- livelli critici di biossido di zolfo e ossidi di azoto;
- soglie di allarme di biossido di zolfo e biossido di azoto;
- valore limite, il valore obiettivo, l'obbligo di concentrazione dell'esposizione e l'obiettivo nazionale di riduzione dell'esposizione di PM 2,5;
- valori obiettivo di arsenico, cadmio, nichel e benzo(a)pirene;
- valori obiettivo, gli obiettivi a lungo termine, le soglie di allarme e le soglie di informazione per l'ozono.

il decreto fissa inoltre le seguenti definizioni:

**aria ambiente**: l'aria presente nella troposfera, ad esclusione di quella presente nei luoghi di lavoro, ad esclusione di quella presente nei luoghi di lavoro definiti dal decreto legislativo 9 aprile 2008, n. 81

**inquinante**: qualsiasi sostanza immessa direttamente o indirettamente dall'uomo nell'aria ambiente che può avere effetti dannosi sulla salute umana o sull'ambiente nel suo complesso

**valore limite**: livello fissato in base alle conoscenze scientifiche, incluse quelle relative alle migliori tecnologie disponibili, al fine di evitare, prevenire o ridurre gli effetti nocivi per la salute umana o per l'ambiente nel suo complesso, che deve essere raggiunto entro un termine prestabilito e che non deve essere successivamente superato;

**valore obiettivo**: livello fissato al fine di evitare, prevenire o ridurre effetti nocivi per la salute umana o per l'ambiente nel suo complesso, da conseguire, ove possibile, entro una data prestabilita

**soglia di allarme**: livello oltre il quale sussiste un rischio per la salute umana in caso di esposizione di breve durata per la popolazione nel suo complesso ed il cui raggiungimento impone di adottare provvedimenti immediati;

**soglia di informazione**: livello oltre il quale sussiste un rischio per la salute umana in caso di esposizione di breve durata per alcuni gruppi particolarmente sensibili della popolazione nel suo complesso ed il cui raggiungimento impone di assicurare informazioni adeguate e tempestive;

**obiettivo a lungo termine**: livello da raggiungere nel lungo periodo mediante misure proporzionate, al fine di assicurare un'efficace protezione della salute umana e dell'ambiente

**livello critico**: livello fissato in base alle conoscenze scientifiche, oltre il quale possono sussistere effetti negativi diretti su recettori quali gli alberi, le altre piante o gli ecosistemi naturali, esclusi gli esseri umani;

Nella Tabella 1 sono riportati i riferimenti di legge previsti dal Decreto Legislativo 13 agosto 2010, n.155 ed allegati:

Inquinante	Valore Limite	Periodo di mediazione	Legislazione
<b>Monossido di Carbonio (CO)</b>	Valore limite protezione salute umana, <b>10 mg/m<sup>3</sup></b>	Max media giornaliera calcolata su 8 ore	D.L. 155/2010 Allegato XI
<b>Biossido di Azoto (NO<sub>2</sub>)</b>	Valore limite protezione salute umana, da non superare più di 18 volte per anno civile, <b>200 µg/m<sup>3</sup></b>	1 ora	D.L. 155/2010 Allegato XI
	Valore limite protezione salute umana, <b>40 µg/m<sup>3</sup></b>	Anno civile	D.L. 155/2010 Allegato XI
	Soglia di allarme <b>400 µg/m<sup>3</sup></b>	1 ora (rilevati su 3 ore consecutive)	D.L. 155/2010 Allegato XII
<b>Ossidi di Azoto (NO<sub>x</sub>)</b>	Livello critico (anno civile) per la protezione della vegetazione, <b>30 µg/m<sup>3</sup></b>	media	D.L. 155/2010 Allegato XI
<b>Biossido di Zolfo (SO<sub>2</sub>)</b>	Valore limite protezione salute umana da non superare più di 24 volte per anno civile, <b>350 µg/m<sup>3</sup></b>	1 ora	D.L. 155/2010 Allegato XI
	Valore limite protezione salute umana da non superare più di 3 volte per anno civile, <b>125 µg/m<sup>3</sup></b>	24 ore	D.L. 155/2010 Allegato XI
	Soglia di allarme <b>500 µg/m<sup>3</sup></b>	1 ora (rilevati su 3 ore consecutive)	D.L. 155/2010 Allegato XII
<b>Particolato Fine (PM<sub>10</sub>)</b>	Valore limite protezione salute umana, da non superare più di 35 volte per anno civile, <b>50 µg/m<sup>3</sup></b>	24 ore	D.L. 155/2010 Allegato XI
	Valore limite protezione salute umana, <b>40 µg/m<sup>3</sup></b>	Anno civile	D.L. 155/2010 Allegato XI
<b>Particolato Fine (PM<sub>2,5</sub>) FASE I</b>	Valore limite, da raggiungere entro il 1° gennaio 2015, <b>25 µg/m<sup>3</sup></b>	Anno civile	D.L. 155/2010 Allegato XI
<b>Particolato Fine (PM<sub>2,5</sub>) FASE II</b>	Valore limite, da raggiungere entro il 1° gennaio 2020, valore indicativo <b>20 µg/m<sup>3</sup></b>	Anno civile	D.L. 155/2010 Allegato XI
<b>Ozono (O<sub>3</sub>)</b>	Valore obiettivo per la protezione della salute umana, da non superare più di 25 volte per anno civile come media su tre anni, <b>120 µg/m<sup>3</sup></b>	Max media 8 ore	D.L. 155/2010 Allegato VII
	Soglia di informazione, <b>180 µg/m<sup>3</sup></b>	1 ora	D.L. 155/2010 Allegato XII
	Soglia di allarme, <b>240 µg/m<sup>3</sup></b>	1 ora	D.L. 155/2010 Allegato XII
	Obiettivo a lungo termine per la protezione della salute umana, nell'arco di un anno civile. <b>120 µg/m<sup>3</sup></b>	Max media 8 ore	D.L. 155/2010 Allegato VII
	Valore obiettivo per la protezione della vegetazione, AOT40 (valori orari) come media su 5 anni: <b>18.000 (µg/m<sup>3</sup>/h)</b>	Da maggio a luglio	D.L. 155/2010 Allegato VII
	Obiettivo a lungo termine per la protezione della vegetazione, AOT40 (valori orari) : <b>6.000 (µg/m<sup>3</sup>/h)</b>	Da maggio a luglio	D.L. 155/2010 Allegato VII
<b>Benzene (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>)</b>	Valore limite protezione salute umana, <b>5 µg/m<sup>3</sup></b>	Anno civile	D.L. 155/2010 Allegato XI

Inquinante	Valore Limite	Periodo di mediazione	Legislazione
<b>Benzo(a)pirene (C<sub>20</sub>H<sub>12</sub>)</b>	Valore obiettivo, 1 ng/m <sup>3</sup>	Anno civile	D.L. 155/2010 Allegato XIII
<b>Piombo (Pb)</b>	Valore limite, 0,5 µg/m <sup>3</sup>	Anno civile	D.L. 155/2010 Allegato XI
<b>Arsenico (Ar)</b>	Valore obiettivo, 6,0 ng/m <sup>3</sup>	Anno civile	D.L. 155/2010 Allegato XIII
<b>Cadmio (Cd)</b>	Valore obiettivo, 5,0 ng/m <sup>3</sup>	Anno civile	D.L. 155/2010 Allegato XIII
<b>Nichel (Ni)</b>	Valore obiettivo, 20,0 ng/m <sup>3</sup>	Anno civile	D.L. 155/2010 Allegato XIII

**Tabella – 1 riferimenti di legge previsti dal Decreto Legislativo 13 agosto 2010, n.155 ed allegati**

I valori della tabella devono essere interpretati con le avvertenze seguenti:

- le medie giornaliere sono le medie delle concentrazioni orarie durante l'intera giornata;
- le medie annuali sono le medie delle concentrazioni giornaliere dal 1 gennaio al 31 dicembre;
- la media su 8 ore è una media mobile calcolata con slittamento su un intervallo di 8 ore consecutive appartenenti allo stesso giorno;
- la media su 3 ore è una media mobile calcolata con slittamento su un intervallo di 3 ore consecutive appartenenti allo stesso giorno.

## 4 SITUAZIONE ATTUALE DELLA QUALITÀ DELL'ARIA

La qualità dell'aria nel comprensorio di interesse è il risultato della sovrapposizione dei contributi alle concentrazioni degli inquinanti al suolo derivanti dalle emissioni delle sorgenti presenti e dai processi di trasformazione e dispersione atmosferica cui tali emissioni vanno incontro. Questi processi incidono in misura diversa in relazione alle caratteristiche chimico-fisiche ed alla distribuzione spaziale delle sorgenti.

L'approccio tenuto nel seguito per la valutazione degli effetti sulla qualità dell'aria dell'intervento proposto si basa sull'analisi dello stato di fatto dell'ambiente atmosferico in relazione ai principali inquinanti così come risulta dai dati sperimentali, e sulla valutazione del contributo dalle emissioni della centrale negli assetti *ante e post* intervento.

Tenuto conto che gli effluenti gassosi principali rilasciati dalla centrale sono:

- Biossido di Zolfo,
- Ossidi di Azoto,
- Particolato Fine (PM<sub>10</sub> + PM<sub>2,5</sub>) e
- Ossido di Carbonio,

mediante le postazioni di misura in continuo delle Reti di Rilevamento della Qualità dell'Aria presenti nei dintorni della centrale, è possibile rilevare l'andamento delle concentrazioni degli inquinanti suddetti esistenti nella situazione attuale in cui è presente il contributo della centrale nell'assetto *ante operam*.

### *Rete di Monitoraggio della Qualità dell'Aria*

Il monitoraggio degli inquinanti atmosferici avviene attraverso una serie di postazioni fisse che effettuano il loro monitoraggio in continuo (in maniera automatica o semiautomatica). Questa rete di stazioni fa parte della la Rete regionale di monitoraggio della qualità dell'aria.

Lo stato attuale della qualità dell'aria nel comprensorio d'interesse è descritto dai rilevamenti effettuati nelle stazioni descritte nel seguito, facenti parte della Rete di Rilevamento della Qualità dell'Aria della a2a:

La rete è costituita da 5 postazioni chimiche e da 1 postazione meteorologica, la collocazione spaziale è indicata nella Figura - 1 mentre nella Tabella - 2 è descritta la loro dotazione strumentale.

Stazioni RRQA della Centrale di Monfalcone.

Postazioni		Parametri rilevati					
Sigla	Località	SO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	NO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	Ozono	Meteo
MF 01	Monfalcone	◆	◆	◆	◆	◆	
MF 02	Papariano Di Fiumicello	◆	◆	◆	◆	◆	
MF 03	Doberdo' del Lago	◆	◆	◆	◆	◆	
MF 04	Fossalon di Grado	◆	◆	◆	◆	◆	
MF 05	Ronchi Dei Legionari	◆	◆	◆	◆	◆	
Meteo	Centrale di Monfalcone						◆
<i>Note:</i>							

**Tabella - 2 Dotazione strumentale delle postazioni della rete a2a**

Sono in corso valutazioni di fattibilità per dotare le attuali stazioni della RRQA (o solo alcune di esse) di strumentazione per la misura anche delle Polveri sottili (PM<sub>2,5</sub>).

Queste postazioni sono situate in generale in zone rurali circondate da campi coltivati nelle immediate vicinanze di abitazioni residenziali, tranne la postazione di Monfalcone che è situata in zona periferica ma ancora densamente abitata.

La stazione di Doberdò è disposta sul crinale Sud del secondo contrafforte dei rilievi carsici prospicienti Ronchi dei Legionari. In relazione alle possibili influenze di sorgenti diverse va rilevato che la postazione di Ronchi è situata poco a lato della statale per Gorizia.

Le serie di dati disponibili per le cinque postazioni regionali, coprono anni diversi all'interno dell'intervallo temporale 2006 - 2012.

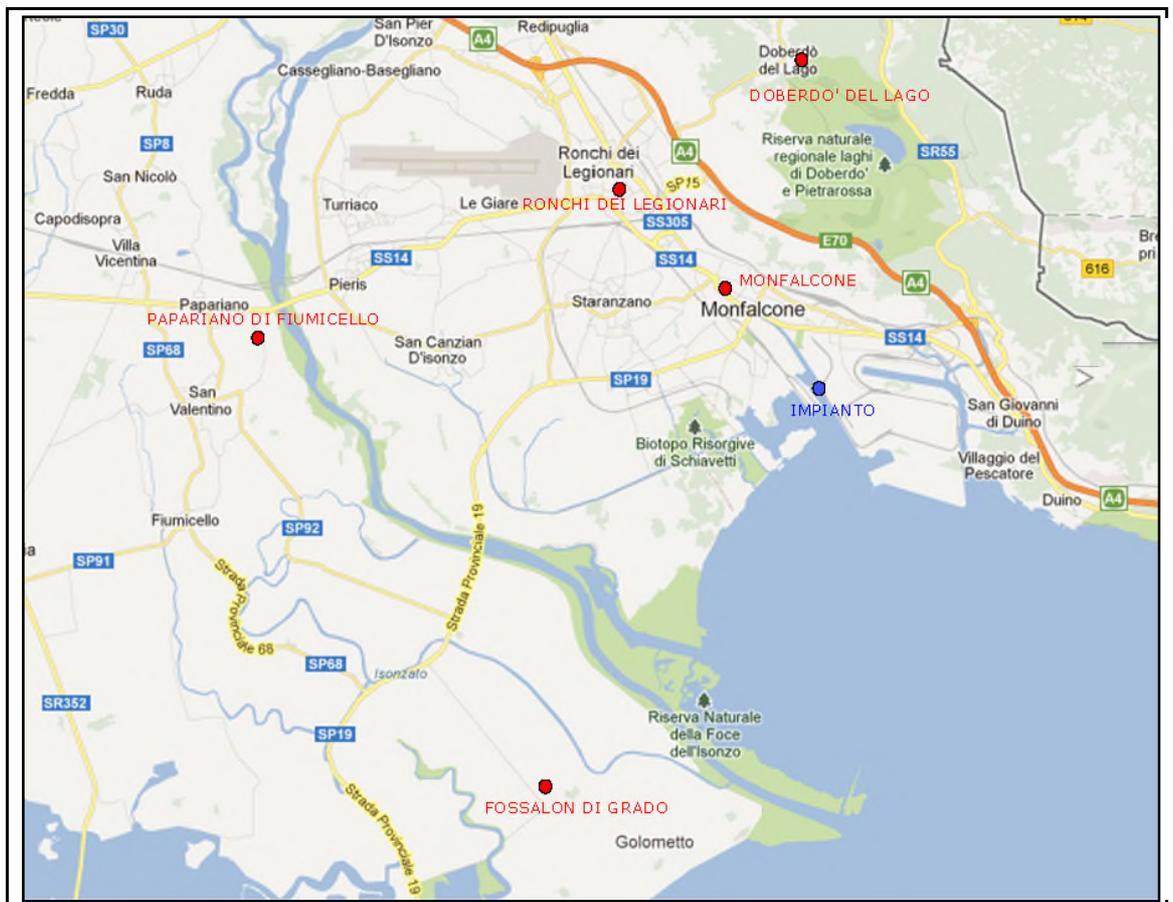


Figura - 1 Rete di Monitoraggio della Qualità dell'aria di centrale (a2a)

## 4.1 ANALISI DEI DATI DI QUALITÀ DELL'ARIA

Nel seguito sono analizzati i dati provenienti dalle stazioni della Rete di Rilevamento per ognuno degli inquinanti considerati. Il periodo temporale effettivamente analizzato va dal 2006 al 2012.

### 4.1.1 BIOSSIDO DI ZOLFO

Il biossido di zolfo ( $\text{SO}_2$ ) si forma per ossidazione dello zolfo nel corso dei processi di combustione di materiali, in particolare combustibili fossili (carbone e derivati del petrolio), che contengono questo elemento come impurità. Il biossido di zolfo è un inquinante primario che risulta chimicamente stabile. Una volta immesso in atmosfera permane inalterato per tempi caratteristici di alcuni giorni e può essere trasportato a grandi distanze (dell'ordine delle centinaia fino a qualche migliaio di chilometri) dalla sorgente di emissione, contribuendo sia al fenomeno dell'inquinamento transfrontaliero sia alla formazione di deposizioni acide, secche e umide e alla formazione di PM secondario.

Le principali sorgenti di biossido di zolfo sono gli impianti di produzione di energia, gli impianti termici di riscaldamento, alcuni processi industriali ed in minor misura il traffico veicolare con particolare riferimento ai motori diesel.

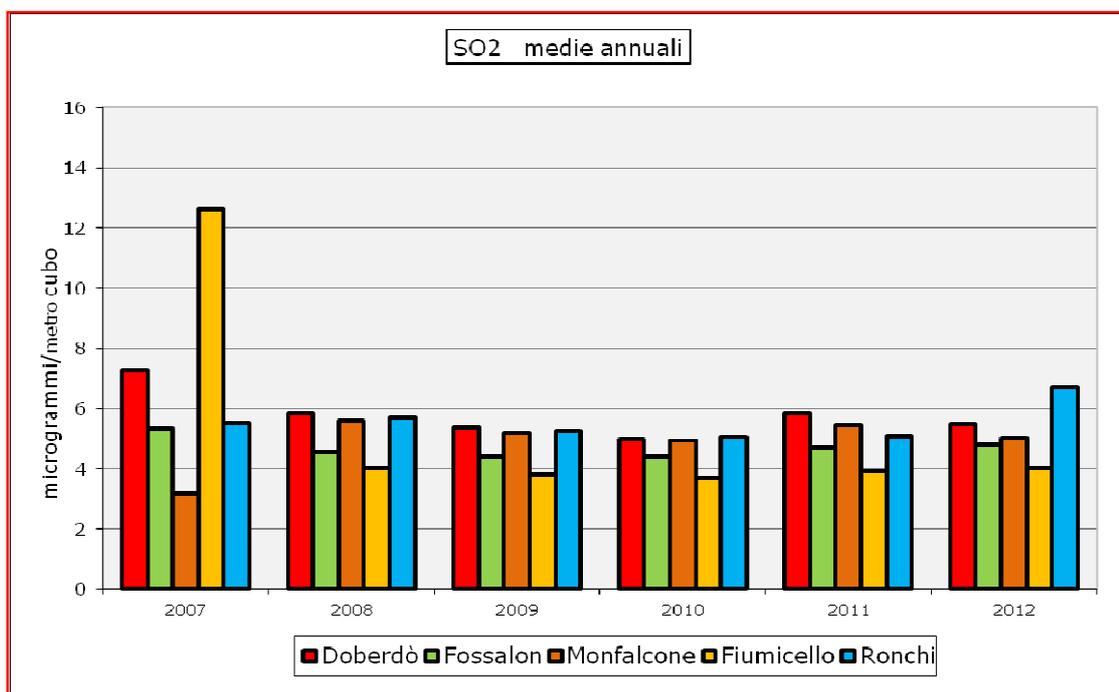
Il biossido di zolfo è un gas incolore, di odore pungente, molto solubile in acqua molto irritante per la gola, gli occhi e le vie respiratorie; pur non presentando una propria tossicologia è fattore che favorisce l'acuirsi di malattie croniche nei soggetti più esposti quali anziani, in particolare asmatici, e bambini. I dati dell'Organizzazione Mondiale per la Sanità (WHO), indicano che, in ragione della sua alta idrosolubilità, l'85% della  $\text{SO}_2$  viene trattenuta dal rinofaringe e solo in minime percentuali raggiunge zone più distali quali bronchioli ed alveoli.

Relativamente al biossido di zolfo, il D.Lgs.155/2010 prevede limiti e soglia di allarme alle concentrazioni nell'aria ambiente sia per la protezione della salute umana (valore orario da non superare più di 24 volte per anno e valore giornaliero da non superare più di 3 volte per anno), sia per la protezione della vegetazione (media annuale).

INQUINANTE	VALORE LIMITE	PERIODO DI MEDIAZIONE	LEGISLAZIONE
<b>Biossido di Zolfo</b> <b>(SO<sub>2</sub>)</b>	Valore limite protezione salute umana da non superare più di 24 volte per anno civile, <b>350</b> µg/m <sup>3</sup>	1 ora	D.L. 155/2010 Allegato XI
	Valore limite protezione salute umana da non superare più di 3 volte per anno civile, <b>125</b> µg/m <sup>3</sup>	24 ore	D.L. 155/2010 Allegato XI
	Soglia di allarme, <b>500</b> µg/m <sup>3</sup>	1 ora (rilevati su 3 ore consecutive)	D.L. 155/2010 Allegato XII
	Livello critico (anno civile) per la protezione della vegetazione, <b>20</b> µg/m <sup>3</sup>	media	D.L. 155/2010 Allegato XI
	Livello critico invernale (1° ottobre-31 marzo) per la protezione della vegetazione, <b>20</b> µg/m <sup>3</sup>	media	D.L. 155/2010 Allegato XI

### SO<sub>2</sub> - MEDIA ANNUALE

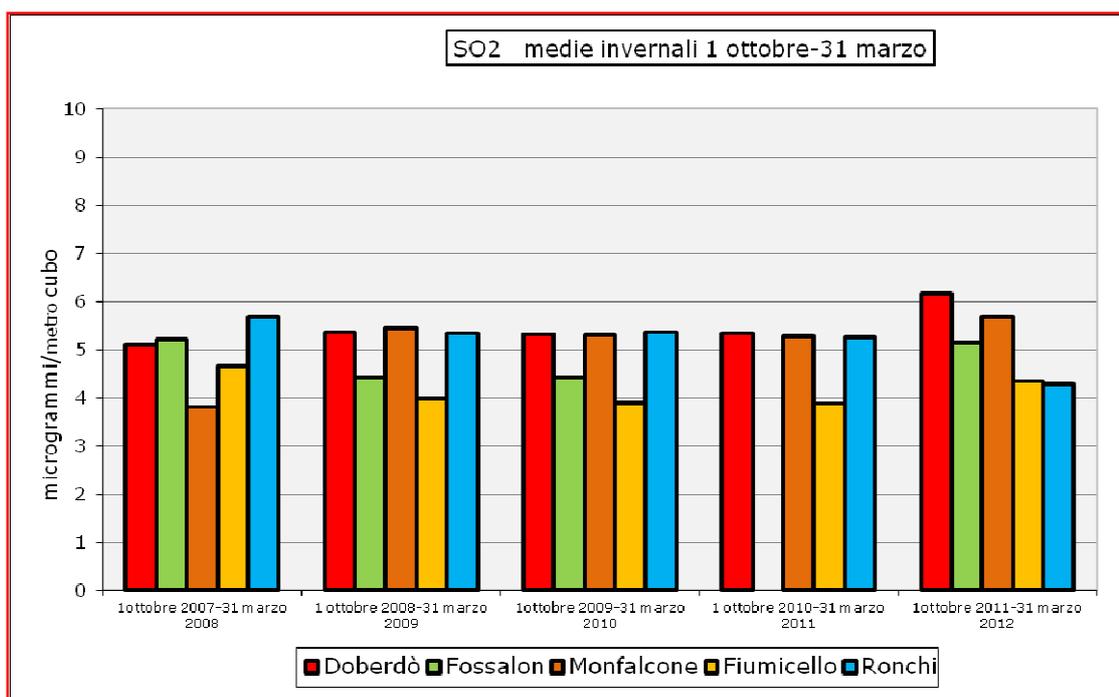
STAZIONI	Doberdò del Lago		Fossalon di Grado		Monfalcone		Papariano di Fiumicello		Ronchi dei Legionari		Livello critico (anno civile) per la protezione della vegetazione
	% dati validi	valore (µg/m <sup>3</sup> )	% dati validi	valore (µg/m <sup>3</sup> )	% dati validi	valore (µg/m <sup>3</sup> )	% dati validi	valore (µg/m <sup>3</sup> )	% dati validi	valore (µg/m <sup>3</sup> )	
2007	93,04	7,25	94,14	5,34	94,37	3,17	77,20	12,64	94,87	5,52	20 µg/m <sup>3</sup>
2008	94,08	5,89	95,48	4,55	95,71	5,60	91,66	4,00	95,54	5,71	
2009	93,65	5,39	95,72	4,42	95,66	5,18	95,02	3,82	93,47	5,26	
2010	91,66	4,97	93,76	4,42	95,46	4,95	92,65	3,69	95,00	5,05	
2011	92,38	5,86	68,04	4,71	95,70	5,44	94,94	3,90	93,60	5,10	
2012	81,38	5,47	82,91	4,79	85,71	5,02	83,80	4,03	82,57	6,73	



**SO<sub>2</sub> - MEDIA INVERNALE**

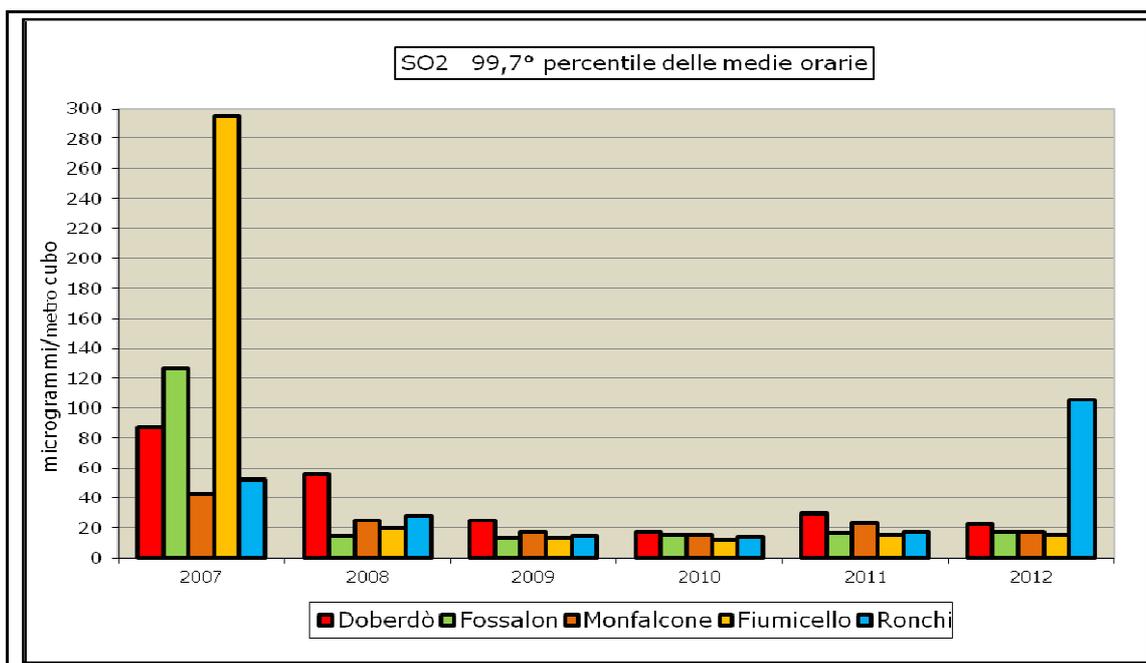
STAZIONI	Doberdò del Lago		Fossalon di Grado		Monfalcone		Papariano di Fiumicello		Ronchi dei Legionari		Livello critico (anno civile) per la protezione della vegetazione
	% dati validi	valore <sup>3</sup> (µg/m <sup>3</sup> )	% dati validi	valore <sup>3</sup> (µg/m <sup>3</sup> )	% dati validi	valore <sup>3</sup> (µg/m <sup>3</sup> )	% dati validi	valore <sup>3</sup> (µg/m <sup>3</sup> )	% dati validi	valore <sup>3</sup> (µg/m <sup>3</sup> )	
1 ottobre 2007 - 31 marzo 2008	93,04	5,10	94,14	5,21	94,37	3,79	77,20	4,66	94,87	5,67	20 µg/m <sup>3</sup>
1 ottobre 2008 - 31 marzo 2009	94,08	5,35	95,48	4,42	95,71	5,44	91,66	3,99	95,54	5,34	
1 ottobre 2009 - 31 marzo 2010	93,65	5,31	95,72	4,42	95,66	5,30	95,02	3,90	93,47	5,35	
1 ottobre 2010 - 31 marzo 2011	91,66	5,34	93,76	0,00	95,46	5,27	92,65	3,86	95,00	5,25	
1 ottobre 2011 - 31 marzo 2012	92,38	6,15	68,04	5,13	95,70	5,68	94,94	4,33	93,60	4,27	

In tutte le stazioni i valori sono al disotto del livello critico invernale (1°ottobre-31 marzo) per la protezione della vegetazione (20 µg/m<sup>3</sup>) e sono inoltre anche al disotto della SVI soglia di valutazione inferiore (allegato II D.Lgs. 155/2010) che è di 8 µg/m<sup>3</sup> (40% del livello critico invernale)



**SO<sub>2</sub> - 99,7° PERCENTILE DELLE MEDIE ORARIE**

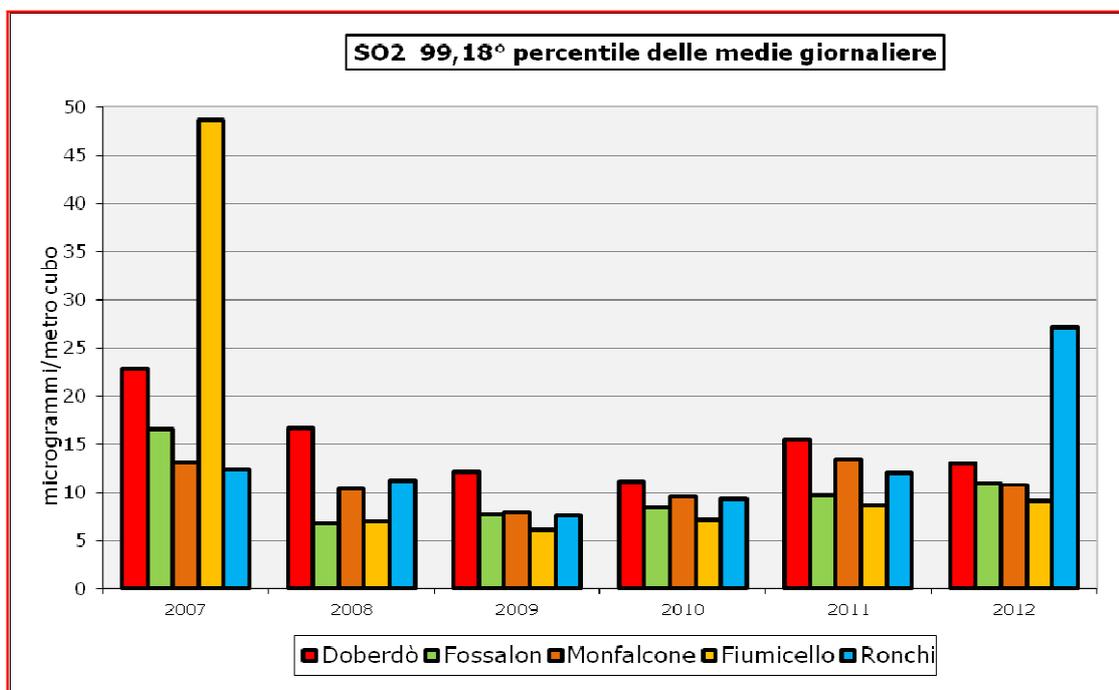
STAZIONI	Doberdò del Lago		Fossalon di Grado		Monfalcone		Papariano di Fiumicello		Ronchi dei Legionari		Valore limite protezione salute umana da non superare più di 24 volte per anno civile  350 µg/m <sup>3</sup>
	% dati validi	valore (µg/m <sup>3</sup> )	% dati validi	valore (µg/m <sup>3</sup> )	% dati validi	valore (µg/m <sup>3</sup> )	% dati validi	valore (µg/m <sup>3</sup> )	% dati validi	valore (µg/m <sup>3</sup> )	
2007	93,04	87,15	94,14	126,4	94,37	42,66	77,20	295,2	94,87	52,34	
2008	94,08	55,22	95,48	14,92	95,71	25,38	91,66	19,89	95,54	28,26	
2009	93,65	24,86	95,72	13,61	95,66	17,01	95,02	13,35	93,47	14,92	
2010	91,66	17,01	93,76	15,18	95,46	15,18	92,65	11,78	95,00	13,87	
2011	92,38	29,57	68,04	16,49	95,70	23,03	94,94	15,18	93,60	17,27	
2012	81,38	22,77	82,91	17,01	85,71	17,53	83,80	15,18	82,57	105,20	



**SO<sub>2</sub> - 99,18° PERCENTILE DELLE MEDIE GIORNALIERE**

STAZIONI	Doberdò del Lago		Fossalon di Grado		Monfalcone		Papariano di Fiumicello		Ronchi dei Legionari		Valore limite protezione salute umana da non superare più di 3 volte per anno civile
	% dati validi	valore (µg/m <sup>3</sup> )	% dati validi	valore (µg/m <sup>3</sup> )	% dati validi	valore (µg/m <sup>3</sup> )	% dati validi	valore (µg/m <sup>3</sup> )	% dati validi	valore (µg/m <sup>3</sup> )	
2007	93,04	<b>22,74</b>	94,14	<b>16,62</b>	94,37	<b>13,09</b>	77,20	<b>48,68</b>	94,87	<b>12,38</b>	125 µg/m <sup>3</sup>
2008	94,08	<b>16,67</b>	95,48	<b>6,80</b>	95,71	<b>10,39</b>	91,66	<b>6,96</b>	95,54	<b>11,20</b>	
2009	93,65	<b>12,12</b>	95,72	<b>7,69</b>	95,66	<b>7,90</b>	95,02	<b>6,15</b>	93,47	<b>7,59</b>	
2010	91,66	<b>11,12</b>	93,76	<b>8,43</b>	95,46	<b>9,55</b>	92,65	<b>7,17</b>	95,00	<b>9,34</b>	
2011	92,38	<b>15,49</b>	68,04	<b>9,63</b>	95,70	<b>13,45</b>	94,94	<b>8,71</b>	93,60	<b>11,96</b>	
2012	81,38	<b>13,06</b>	82,91	<b>10,91</b>	85,71	<b>10,81</b>	83,80	<b>9,11</b>	82,57	<b>27,16</b>	

In tutte le stazioni i valori sono inferiori al limite per la protezione salute umana, da non superare più di 3 volte per anno civile (125 µg/m<sup>3</sup>) e sono anche inferiori alla SVI soglia di valutazione inferiore (allegato II D.Lgs. 155/2010) che è di 50 µg/m<sup>3</sup> (40% del valore limite sulle 24 ore)



#### 4.1.2 OSSIDI DI AZOTO

Gli ossidi d'azoto sono 5 e tuttavia in aria ne esistono, in pratica, solo 3: protossido  $N_2O$ , monossido  $NO$  e biossido  $NO_2$ ; le ultime due sono le specie di gran lunga prevalenti in atmosfera. Generalmente gli ossidi d'azoto sono indicati con la generica formula  $NO_x$ . In atmosfera esistono anche le forme idrate degli ossidi stessi e cioè gli acidi nitroso e nitrico.

Prescindendo dal protossido, la cui importanza nell'inquinamento atmosferico è relativa, occorre far notare come tra gli  $NO_x$  ( $NO_x=NO+NO_2$ ) solo il monossido sia prodotto da fonti antropiche, e come invece il biossido si formi in atmosfera come inquinante secondario.

Le due forme d'azoto in atmosfera sono legate tra loro da una serie di reazioni che tendono a mantenerli in equilibrio il cosiddetto ciclo fotolitico dell'azoto:

l' $NO_2$  assorbe energia dal sole sotto forma di luce ultravioletta; l'energia assorbita scinde le molecole di  $NO_2$  in  $NO$  e  $O^*$  molto reattivo; gli atomi di  $O^*$  reagiscono con l' $O_2$  atmosferico formando ozono; L'ozono reagisce con l' $NO$  formando  $NO_2$ .

La principale fonte di emissione di ossidi di azoto è il traffico veicolare; altre fonti sono gli impianti di riscaldamento, le centrali per la produzione di energia ed un ampio spettro di processi industriali.

La specie che, dal punto di vista della salute umana, riveste maggior interesse come inquinante dell'aria è comunque il biossido di azoto ( $NO_2$ ). Il biossido di azoto ( $NO_2$ ) è un inquinante secondario in quanto è il prodotto della ossidazione del monossido di azoto ( $NO$ ) in atmosfera; solo in proporzione molto minore viene emesso direttamente in atmosfera.

Il biossido di azoto è un inquinante ad ampia diffusione che non presenta un'accentuata localizzazione. è un gas di odore pungente e acre, solubile in

acqua, di colore rosso-bruno in alte concentrazioni e giallo-ocra a concentrazioni basse ed è un forte ossidante.

Relativamente agli aspetti ambientali, gli ossidi di azoto contribuiscono ai fenomeni di eutrofizzazione, smog fotochimico (come precursori di inquinanti secondari come ozono troposferico e particolato fine secondario) e intervengono nella formazione di piogge acide con conseguenti danni alla vegetazione a seguito di un impoverimento dei terreni di ioni calcio, magnesio, sodio e potassio e contemporanee alla liberazione di ioni metallici tossici per le piante.

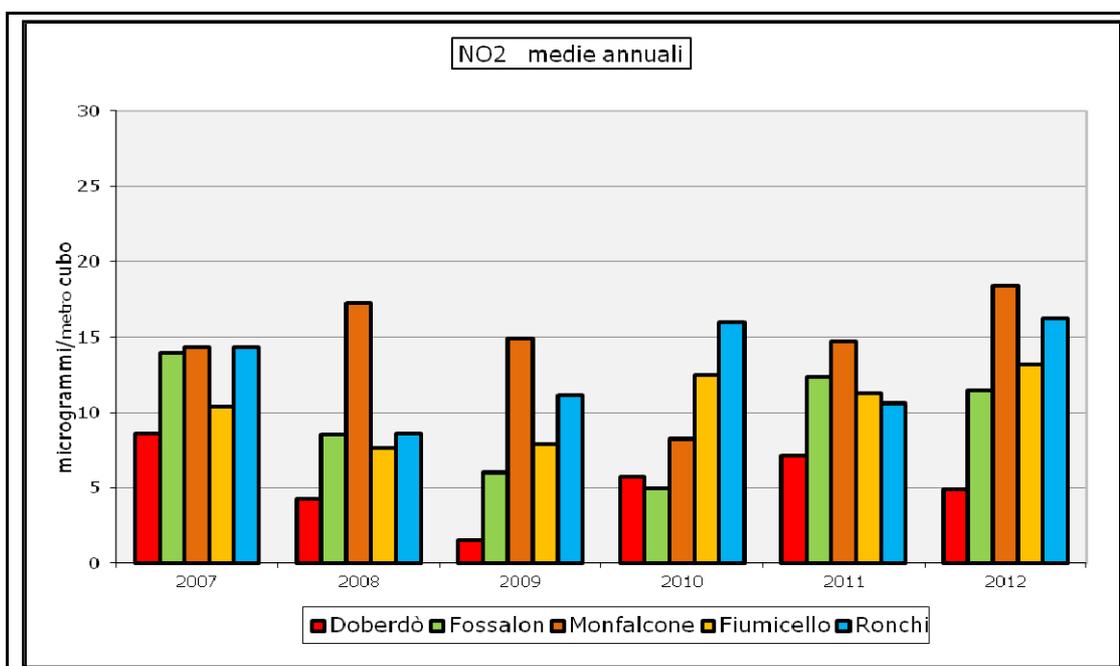
In riferimento a tali inquinanti il D.Lgs.155/2010 prevede limiti alle concentrazioni nell'aria ambiente sia per la protezione della salute umana (valore limite di NO<sub>2</sub> del valore orario da non superare più di 18 volte per anno (99,8 percentile) e della media annuale), sia per la protezione della vegetazione (valore limite di NO<sub>x</sub> della media annuale).

INQUINANTE	VALORE LIMITE	PERIODO DI MEDIAZIONE	LEGISLAZIONE
<b>Biossido di Azoto (NO<sub>2</sub>)</b>	Valore limite protezione salute umana, da non superare più di 18 volte per anno civile, <b>200</b> µg/m <sup>3</sup>	1 ora	D.L. 155/2010 Allegato XI
	Valore limite protezione salute umana, <b>40</b> µg/m <sup>3</sup>	Anno civile	D.L. 155/2010 Allegato XI
	Soglia di allarme <b>400</b> µg/m <sup>3</sup>	1 ora (rilevati su 3 ore consecutive)	D.L. 155/2010 Allegato XII
<b>Ossidi di Azoto (NO<sub>x</sub>)</b>	Livello critico (anno civile) per la protezione della vegetazione, <b>30</b> µg/m <sup>3</sup>	media	D.L. 155/2010 Allegato XI

**NO<sub>2</sub> – MEDIA ANNUALE**

STAZIONI	Doberdò del Lago		Fossalon di Grado		Monfalcone		Papariano di Fiumicello		Ronchi dei Legionari		Livello critico per la protezione della salute umana
	% dati validi	valore (µg/m <sup>3</sup> )	% dati validi	valore (µg/m <sup>3</sup> )	% dati validi	valore (µg/m <sup>3</sup> )	% dati validi	valore (µg/m <sup>3</sup> )	% dati validi	valore (µg/m <sup>3</sup> )	
<b>2007</b>	91,98	<b>8,58</b>	93,68	<b>13,97</b>	94,52	<b>14,34</b>	79,95	<b>10,37</b>	92,93	<b>14,33</b>	<b>40 µg/m<sup>3</sup></b>
<b>2008</b>	93,36	<b>4,22</b>	91,80	<b>8,48</b>	95,74	<b>17,27</b>	90,54	<b>7,62</b>	93,39	<b>8,54</b>	
<b>2009</b>	92,67	<b>1,47</b>	95,57	<b>5,98</b>	95,67	<b>14,95</b>	94,92	<b>7,90</b>	93,33	<b>11,10</b>	
<b>2010</b>	91,53	<b>5,77</b>	93,64	<b>4,94</b>	95,83	<b>8,26</b>	92,28	<b>12,50</b>	94,31	<b>15,95</b>	
<b>2011</b>	89,94	<b>7,11</b>	67,57	<b>12,37</b>	94,62	<b>14,74</b>	94,02	<b>11,27</b>	91,39	<b>10,61</b>	
<b>2012</b>	80,52	<b>4,92</b>	82,78	<b>11,44</b>	84,93	<b>18,40</b>	83,67	<b>13,16</b>	82,36	<b>16,23</b>	

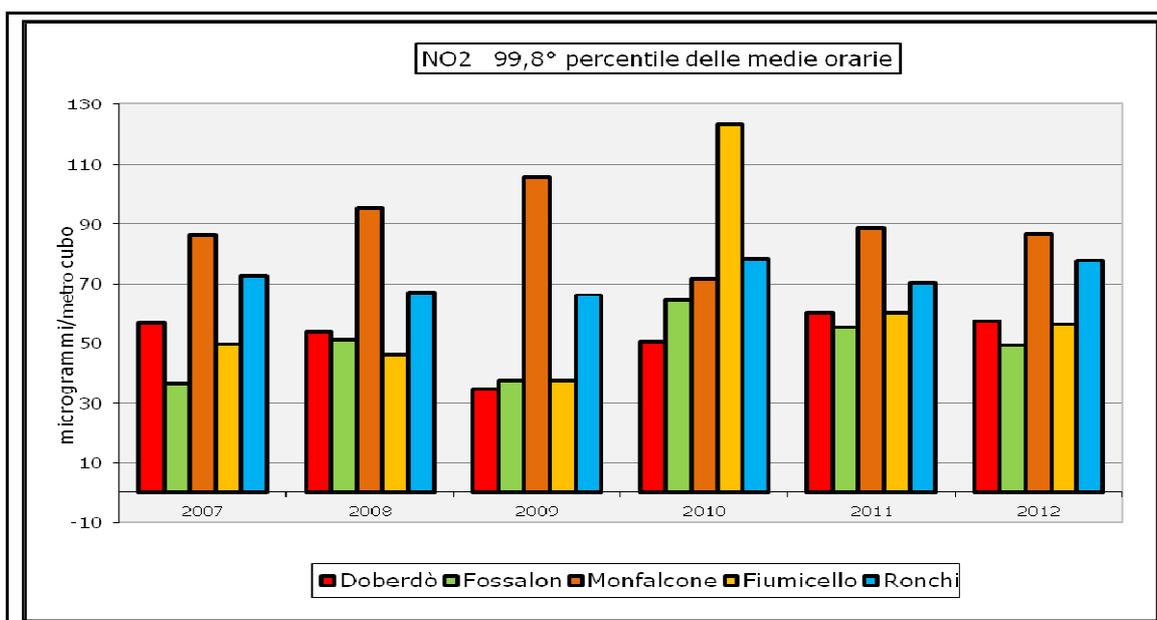
In tutte le stazioni i valori sono al disotto del livello critico per la protezione della salute umana (40 µg/m<sup>3</sup>) e sono anche inferiori alla SVI soglia di valutazione inferiore (allegato II D.Lgs. 155/2010) che è di 26 µg/m<sup>3</sup> (65% del valore limite annuale)



**NO<sub>2</sub> - 99,8° PERCENTILE DELLE MEDIE ORARIE**

STAZIONI	Doberdò del Lago		Fossalon di Grado		Monfalcone		Papariano di Fiumicello		Ronchi dei Legionari		Valore limite protezione salute umana, da non superare più di 18 volte per anno civile  200 µg/m <sup>3</sup>
	% dati validi	valore (µg/m <sup>3</sup> )	% dati validi	valore (µg/m <sup>3</sup> )	% dati validi	valore (µg/m <sup>3</sup> )	% dati validi	valore (µg/m <sup>3</sup> )	% dati validi	valore (µg/m <sup>3</sup> )	
2007	91,98	56,93	93,68	36,57	94,52	86,33	79,95	49,76	92,93	72,57	
2008	93,36	53,72	91,80	51,46	95,74	95,19	90,54	46,37	93,39	67,11	
2009	92,67	34,68	95,57	37,70	95,67	105,5	94,92	37,70	93,33	66,35	
2010	91,53	50,71	93,64	64,47	95,83	71,44	92,28	123,4	94,31	78,42	
2011	89,94	60,32	67,57	55,23	94,62	88,78	94,02	60,32	91,39	70,31	
2012	80,52	57,49	82,78	49,39	84,93	86,52	83,67	56,17	82,36	77,66	

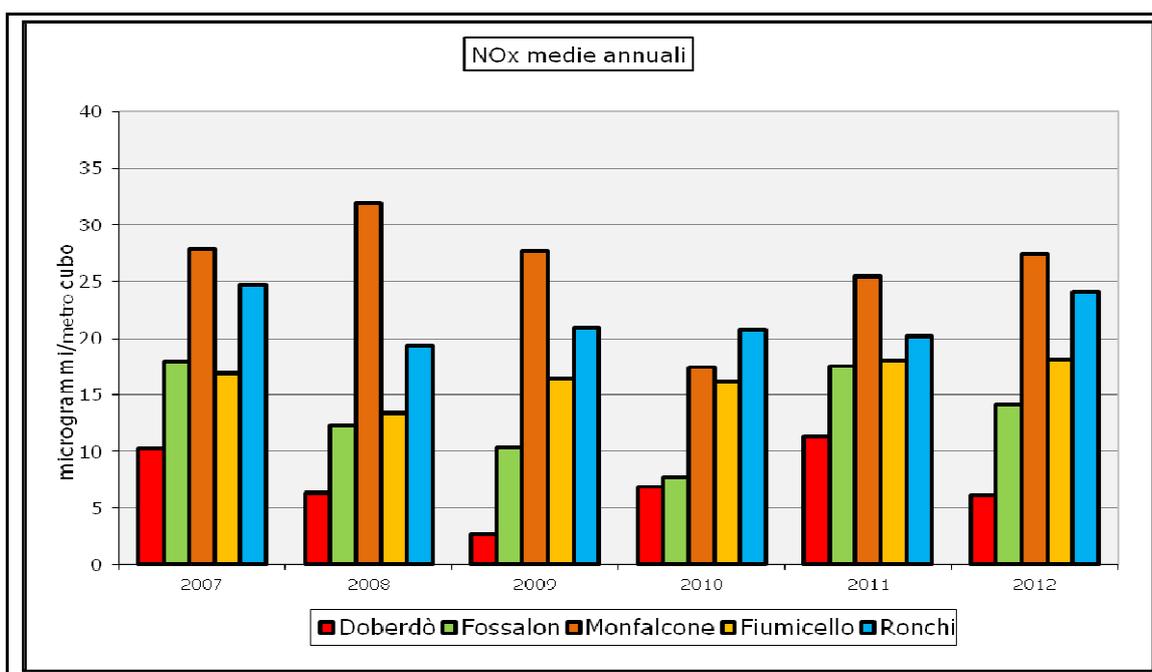
In tutte le stazioni i valori sono al disotto del limite per la protezione salute umana, da non superare più di 18 volte per anno civile (200 µg/m<sup>3</sup>); e sono anche inferiori alla SVI soglia di valutazione inferiore (allegato II D.Lgs. 155/2010) che è di 100 µg/m<sup>3</sup> (50% del valore limite orario) tranne Monfalcone e Papariano di Fiumicello che, soltanto, rispettivamente negli anni 2009 e 2010 si situano tra SVI e SVS soglia di valutazione superiore (140 µg/m<sup>3</sup>).



**NO<sub>x</sub> – MEDIA ANNUALE**

STAZIONI	Doberdò del Lago		Fossalon di Grado		Monfalcone		Papariano di Fiumicello		Ronchi dei Legionari		Livello critico per la protezione della vegetazione
	% dati validi	valore (µg/m <sup>3</sup> )	% dati validi	valore (µg/m <sup>3</sup> )	% dati validi	valore (µg/m <sup>3</sup> )	% dati validi	valore (µg/m <sup>3</sup> )	% dati validi	valore (µg/m <sup>3</sup> )	
<b>2007</b>	91,92	10,20	94,33	17,95	94,52	27,88	79,93	16,89	92,90	24,75	30 µg/m <sup>3</sup>
<b>2008</b>	93,36	6,31	91,80	12,29	95,77	31,97	90,55	13,40	93,39	19,26	
<b>2009</b>	92,67	2,75	95,57	10,33	95,67	27,63	94,92	16,42	93,33	20,90	
<b>2010</b>	91,52	6,88	93,64	7,71	95,83	17,40	92,28	16,17	94,31	20,72	
<b>2011</b>	89,37	11,42	67,57	17,55	94,62	25,43	94,02	18,02	91,39	20,15	
<b>2012</b>	80,5	6,18	83,01	14,12	84,93	27,41	83,67	18,11	82,36	24,11	

In tutte le stazioni i valori sono al disotto del livello critico per la protezione della vegetazione (30 µg/m<sup>3</sup>); in tutte le stazioni tranne Monfalcone e Ronchi dei Legionari i valori sono tra la SVI soglia di valutazione inferiore (allegato II D.Lgs. 155/2010) che è di 19,5 µg/m<sup>3</sup> (65% del livello critico annuale) e la SVS soglia di valutazione superiore che è di 24 µg/m<sup>3</sup> (80% del livello critico annuale)



#### 4.1.3 POLVERI FINI – PM<sub>10</sub>-PM<sub>2,5</sub>

I termini PM<sub>10</sub> e PM<sub>2,5</sub> identificano le particelle di diametro aerodinamico inferiore o uguale rispettivamente a 10 µm e a 2,5 µm. Queste sono caratterizzate da lunghi tempi di permanenza in atmosfera e possono quindi essere trasportate a grande distanza dal punto di emissione; hanno una natura chimica complessa e variabile sono in grado di penetrare nell'albero respiratorio umano e avere quindi effetti negativi sulla salute. Alcune di queste sostanze vengono emesse in atmosfera già sotto forma di particolato (i cosiddetti aerosol primari) mentre altre derivano da reazioni chimiche fra le specie inquinanti (aerosol secondari).

Le polveri disperse nell'aria possono avere sia un'origine naturale (l'erosione dei venti sulle rocce, le eruzioni vulcaniche, l'autocombustione di boschi e foreste) sia antropogenica (traffico veicolare e altre combustioni legate alla attività umana). Tra le sorgenti antropiche un importante ruolo è rappresentato dal traffico veicolare, di origine antropogenica sono anche molte sostanze gassose su cui si basano i processi di inquinamento secondario e che portano alla formazione di particelle di piccola granulometria per esempio gli ossidi di zolfo e di azoto, i COV e l'ammoniaca.

PM<sub>10</sub>: il materiale particolato che penetra attraverso un ingresso dimensionale selettivo conforme al metodo di riferimento per il campionamento e la misurazione del PM<sub>10</sub> (norma UNI EN 12341), con un'efficienza di penetrazione del 50 per cento per materiale particolato di un diametro aerodinamico di 10 µm;

PM<sub>2,5</sub>: il materiale particolato che penetra attraverso un ingresso dimensionale selettivo conforme al metodo di riferimento per il campionamento e la misurazione del PM<sub>2,5</sub> (norma UNI EN 14907), con un'efficienza di penetrazione del 50 per cento per materiale particolato di un diametro aerodinamico di 2,5 µm;

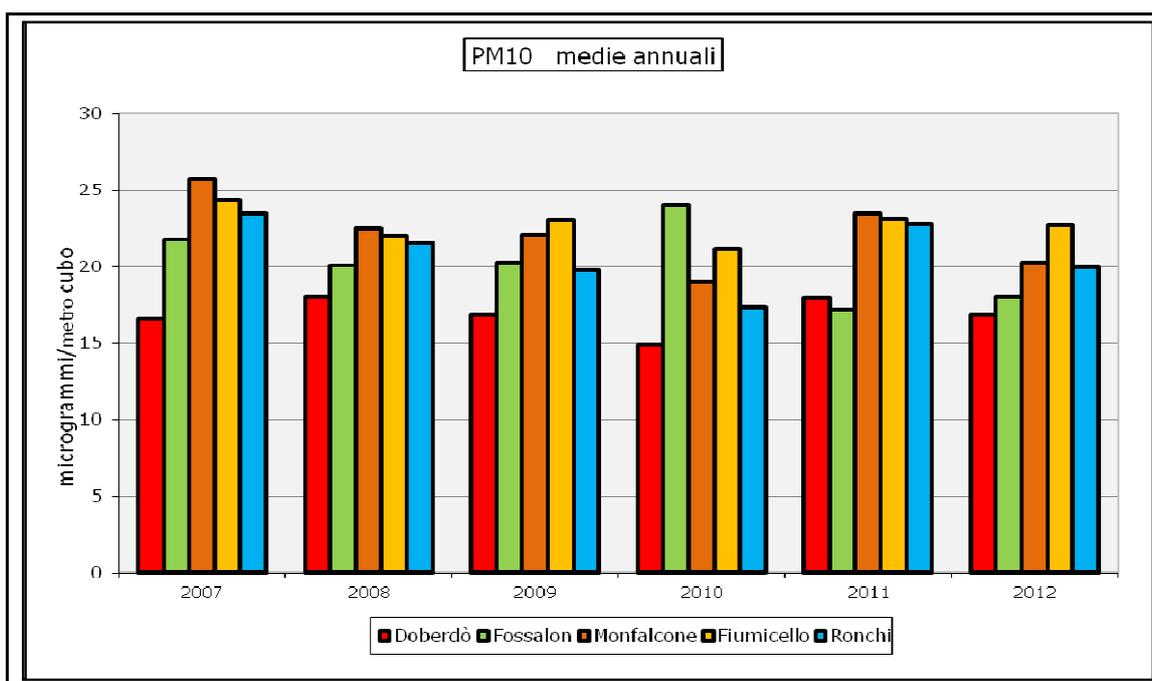
Il D.Lgs.155/2010 prevede limiti alle concentrazioni nell'aria ambiente in riferimento al PM<sub>10</sub> e al PM<sub>2.5</sub> per la protezione della salute umana; gli standard sono rappresentati dalle medie annuali e, per il solo PM<sub>10</sub>, dal valore giornaliero da non superare più di 35 volte l'anno.

INQUINANTE	VALORE LIMITE	PERIODO DI MEDIAZIONE	LEGISLAZIONE
<b>Particolato Fine (PM<sub>10</sub>)</b>	Valore limite protezione salute umana, da non superare più di 35 volte per anno civile, <b>50</b> µg/m <sup>3</sup>	24 ore	D.L. 155/2010 Allegato XI
	Valore limite protezione salute umana, <b>40</b> µg/m <sup>3</sup>	Anno civile	D.L. 155/2010 Allegato XI
<b>Particolato Fine (PM<sub>2.5</sub>) FASE I</b>	Valore limite, da raggiungere entro il 1° gennaio 2015, <b>25</b> µg/m <sup>3</sup>	Anno civile	D.L. 155/2010 Allegato XI
<b>Particolato Fine (PM<sub>2.5</sub>) FASE II</b>	Valore limite, da raggiungere entro il 1° gennaio 2020, valore indicativo <b>20</b> µg/m <sup>3</sup>	Anno civile	D.L. 155/2010 Allegato XI

**PM10 - MEDIA ANNUALE**

STAZIONI	Doberdò del Lago		Fossalon di Grado		Monfalcone		Papariano di Fiumicello		Ronchi dei Legionari		valore limite protezione salute umana
	% dati validi	valore <sub>3</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	% dati validi	valore <sub>3</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	% dati validi	valore <sub>3</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	% dati validi	valore <sub>3</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	% dati validi	valore <sub>3</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	
<b>ANNI</b>											
<b>2007</b>	93,97	16,54	98,35	21,77	96,71	25,70	82,19	24,33	98,90	23,49	40 µg/m <sup>3</sup>
<b>2008</b>	96,44	18,03	96,44	20,09	99,72	22,46	90,68	22,01	99,45	21,56	
<b>2009</b>	96,71	16,84	97,26	20,27	99,18	22,07	98,08	23,04	94,52	19,74	
<b>2010</b>	92,05	14,85	95,89	24,00	98,90	19,00	96,16	21,12	97,8	17,37	
<b>2011</b>	94,24	17,97	70,68	17,23	98,9	23,46	98,08	23,10	96,71	22,77	
<b>2012</b>	78,08	16,78	84,65	17,98	87,39	20,25	84,65	22,67	83,28	19,93	

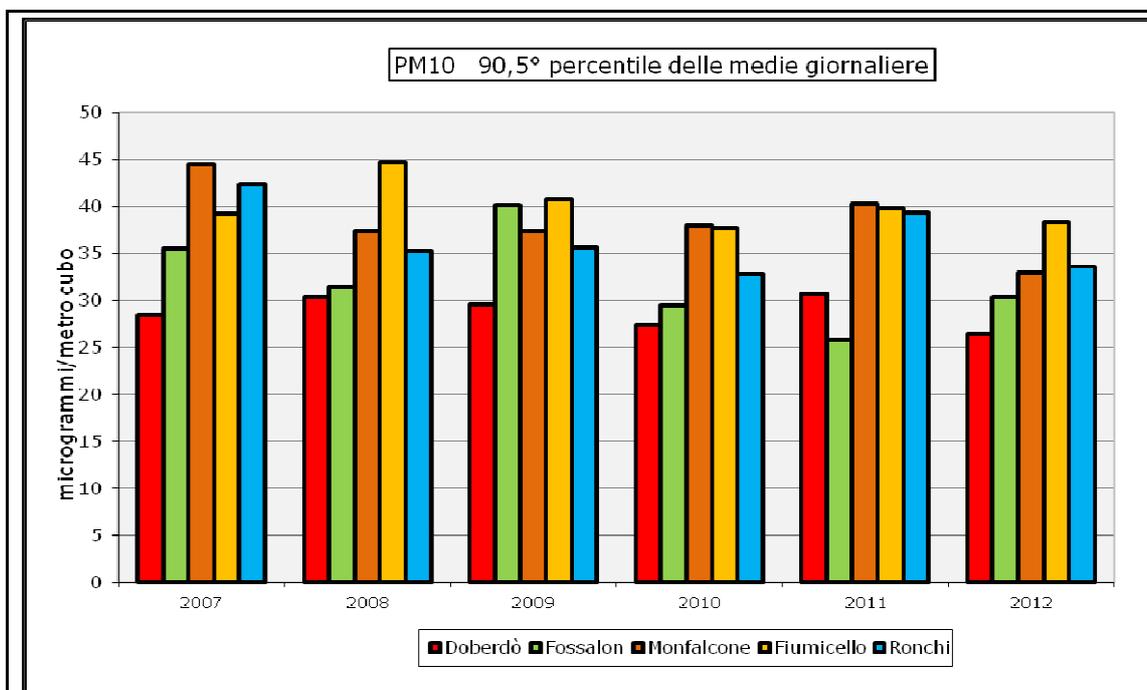
In tutte le stazioni i valori sono al disotto del limite per la protezione umana (40 µg/m<sup>3</sup>); mentre nella maggior parte delle stazioni sono tra la SVI soglia di valutazione inferiore (allegato II D.Lgs. 155/2010) che è di 20 µg/m<sup>3</sup> (50% del valore limite) e la SVS soglia di valutazione superiore che è di 28 µg/m<sup>3</sup> (70% del valore limite)



**PM10 - 90,5° PERCENTILE DELLE MEDIE GIORNALIERE**

STAZIONI	Doberdò del Lago		Fossalon di Grado		Monfalcone		Papariano di Fiumicello		Ronchi dei Legionari		Valore limite protezione salute umana, da non superare più di 35 volte per anno civile
	% dati validi	valore <sup>3</sup> (µg/m <sup>3</sup> )	% dati validi	valore <sup>3</sup> (µg/m <sup>3</sup> )	% dati validi	valore <sup>3</sup> (µg/m <sup>3</sup> )	% dati validi	valore <sup>3</sup> (µg/m <sup>3</sup> )	% dati validi	valore <sup>3</sup> (µg/m <sup>3</sup> )	
<b>2007</b>	93,97	<b>28,50</b>	98,35	<b>35,50</b>	96,71	<b>44,50</b>	82,19	<b>39,30</b>	98,90	<b>42,40</b>	<b>50 µg/m<sup>3</sup></b>
<b>2008</b>	96,44	<b>30,30</b>	96,44	<b>31,50</b>	99,72	<b>37,40</b>	90,68	<b>44,70</b>	99,45	<b>35,30</b>	
<b>2009</b>	96,71	<b>29,60</b>	97,26	<b>40,10</b>	99,18	<b>37,40</b>	98,08	<b>40,70</b>	94,52	<b>35,60</b>	
<b>2010</b>	92,05	<b>27,30</b>	95,89	<b>29,50</b>	98,90	<b>37,90</b>	96,16	<b>37,70</b>	97,80	<b>32,80</b>	
<b>2011</b>	94,24	<b>30,70</b>	70,68	<b>25,80</b>	98,9	<b>40,20</b>	98,08	<b>39,80</b>	96,71	<b>39,40</b>	
<b>2012</b>	78,08	<b>26,50</b>	84,65	<b>30,40</b>	87,39	<b>32,90</b>	84,65	<b>38,30</b>	83,28	<b>33,60</b>	

In tutte le stazioni i valori sono al disotto del limite per la protezione umana da non superare più di 35 volte per anno civile a (50 µg/m<sup>3</sup>); ma in generale tranne Doberdò del Lago superano in molti casi anche la SVS soglia di valutazione superiore che è di 35 µg/m<sup>3</sup> (70% del valore limite)



#### 4.1.4 OZONO

L'ozono troposferico ( $O_3$ ) è un inquinante secondario, in quanto non prodotto direttamente dall'attività dell'uomo che si forma attraverso processi fotochimici in presenza di inquinanti primari quali gli ossidi di azoto ( $NO_x$ ) ed i composti organici volatili (COV).

Al livello del suolo la molecola di ozono si forma quando altri inquinanti, principalmente i citati ossidi di azoto e composti organici volatili, reagiscono a causa della presenza della luce del sole. Le sorgenti di questi inquinanti "precursori" dell'ozono sono di tipo antropico (i veicoli a motore, le centrali termoelettriche, le industrie, i solventi chimici, i processi di combustione etc. ) e di tipo naturale, quali i boschi e le foreste, che emettono sostanze organiche volatili molto reattive (emissioni biogeniche).

I processi citati conducono alla formazione non solo di ozono, ma di una miscela di composti (PAN, PPN, radicali organici,...) che nel complesso prende il nome di smog fotochimico.

L'interazione fra le sorgenti emissive, i processi di trasformazione e le proprietà dispersive dell'atmosfera fanno sì che l'inquinamento fotochimico si configuri come un fenomeno transfrontaliero cioè su scala regionale o, meglio ancora, di bacino. Concretamente questo significa che lo sviluppo di concentrazioni di ozono in un certo sito è funzione, in modo non facilmente ricostruibile, della struttura emissiva di aree molto estese.

L'ozono può causare seri problemi alla salute dell'uomo e all'ecosistema, nonché all'agricoltura e ai beni materiali.

I processi di formazione e distruzione dell'ozono da parte dei precursori sono fortemente non lineari e questo spesso influenza la distribuzione spaziale delle

concentrazioni, per cui, ad esempio, è possibile osservare valori più elevati nelle aree rurali, rispetto a quelle fortemente antropizzate.

Le concentrazioni di ozono sono influenzate da diverse variabili meteorologiche come l'intensità della radiazione solare, la temperatura, la direzione e la velocità del vento ed è per questo che è possibile osservare delle sistematiche variazioni stagionali nei valori di ozono:

- nei periodi tardo primaverili ed estivi le particolari condizioni di alta pressione, elevate temperature e scarsa ventilazione, favoriscono il ristagno e l'accumulo degli inquinanti e il forte irraggiamento solare innesca una serie di reazioni fotochimiche che determinano concentrazioni di ozono più elevate rispetto al livello naturale che è compreso tra i 20 e gli 80  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ;
- al contrario in inverno si registrano le concentrazioni più basse; i valori massimi sono raggiunti nelle ore più calde della giornata, dalle 12 alle 18 per poi scendere durante le ore notturne.

In riferimento a tale inquinante il D.Lgs.155/2010 prevede valori obiettivo, soglie di informazione e allarme e valori obiettivo a lungo termine alle concentrazioni nell'aria ambiente sia per la protezione della salute umana, sia per la protezione della vegetazione.

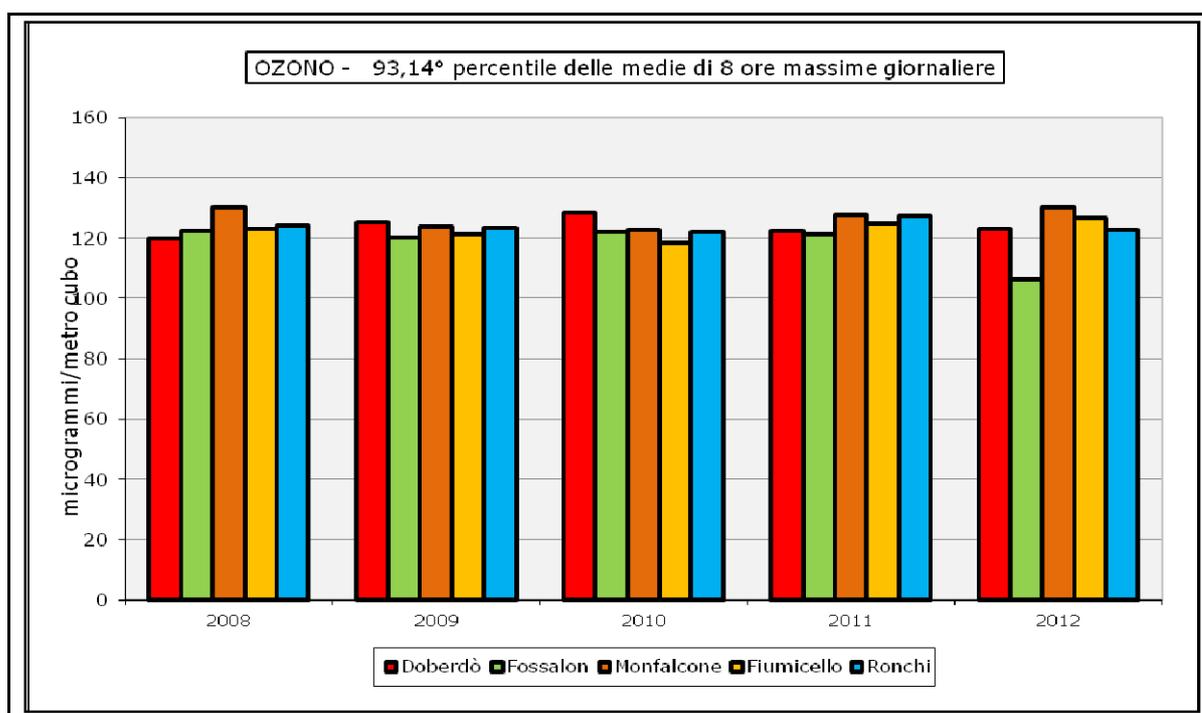
INQUINANTE	VALORE LIMITE	PERIODO DI MEDIAZIONE	LEGISLAZIONE
Ozono (O <sub>3</sub> )	Valore obiettivo per la protezione della salute umana, da non superare più di 25 volte per anno civile come media su tre anni, <b>120 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math></b>	media massima giornaliera calcolata su 8 ore	D.L. 155/2010 Allegato VII
	Valore obiettivo per la protezione della vegetazione, AOT40 (valori orari) come media su 5 anni: <b>18.000 (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{h}</math>)</b>	Da maggio a luglio	D.L. 155/2010 Allegato VII
	Soglia di informazione, <b>180 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math></b>	1 ora	D.L. 155/2010 Allegato XII
	Soglia di allarme, <b>240 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math></b>	1 ora	D.L. 155/2010 Allegato XII
	Obiettivo a lungo termine per la protezione della salute umana, nell'arco di un anno civile, <b>120 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math></b>	media massima giornaliera calcolata su 8 ore di un anno civile	D.L. 155/2010 Allegato VII
Obiettivo a lungo termine per la protezione della vegetazione, AOT40 (valori orari) : <b>6.000 (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{h}</math>)</b>	Da maggio a luglio	D.L. 155/2010 Allegato VII	

AOT40 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{h}$ ): somma della differenza tra le concentrazioni orarie superiori a  $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e  $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in un dato periodo di tempo utilizzando solo i valori orari rilevati ogni giorno tra le 8.00 e le 20.00 ora dell'Europa centrale.

**O3 - 93,14° PERCENTILE DELLE MEDIE MASSIME DI 8 ORE GIORNALIERE**

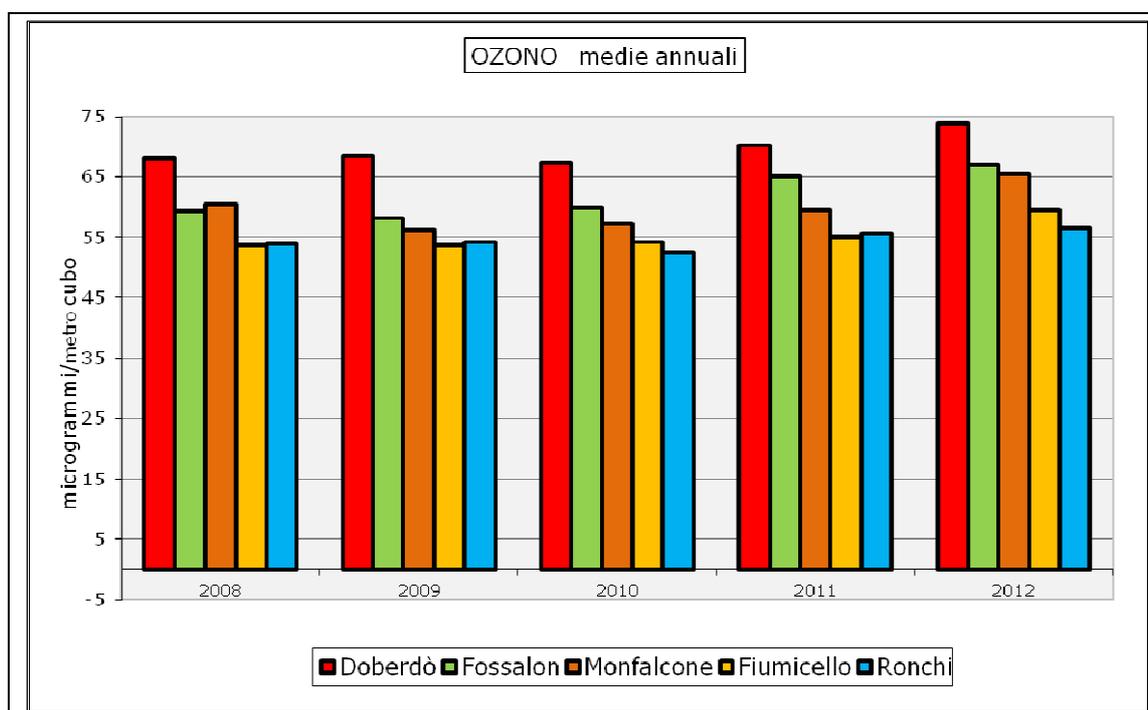
STAZIONI	Doberdò del Lago		Fossalon di Grado		Monfalcone		Papariano di Fiumicello		Ronchi dei Legionari		Valore obiettivo per la protezione della salute umana, da non superare più di 25 volte per anno civile come media su tre anni
	% dati validi	valore ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	% dati validi	valore ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	% dati validi	valore ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	% dati validi	valore ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	% dati validi	valore ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	
<b>2008</b>	62,04	119,88	62,88	122,34	74,00	130,06	59,39	123,00	64,64	124,26	<b>120 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math></b>
<b>2009</b>	93,27	125,18	95,03	120,42	95,47	123,67	94,56	121,19	92,71	123,44	
<b>2010</b>	91,98	128,60	93,30	122,05	95,48	122,65	91,91	118,45	93,78	122,11	
<b>2011</b>	92,15	122,48	67,83	121,19	95,51	127,77	94,28	124,78	93,67	127,38	
<b>2012</b>	80,92	123,08	80,65	106,25	85,22	130,06	83,53	126,66	82,23	122,79	

In tutte le stazioni i valori sono generalmente superiori al limite per la protezione della salute umana da non superare più di 25 volte per anno civile a ( $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). I superamenti sono comunque contenuti.



**O3 -MEDIE ANNUALI**

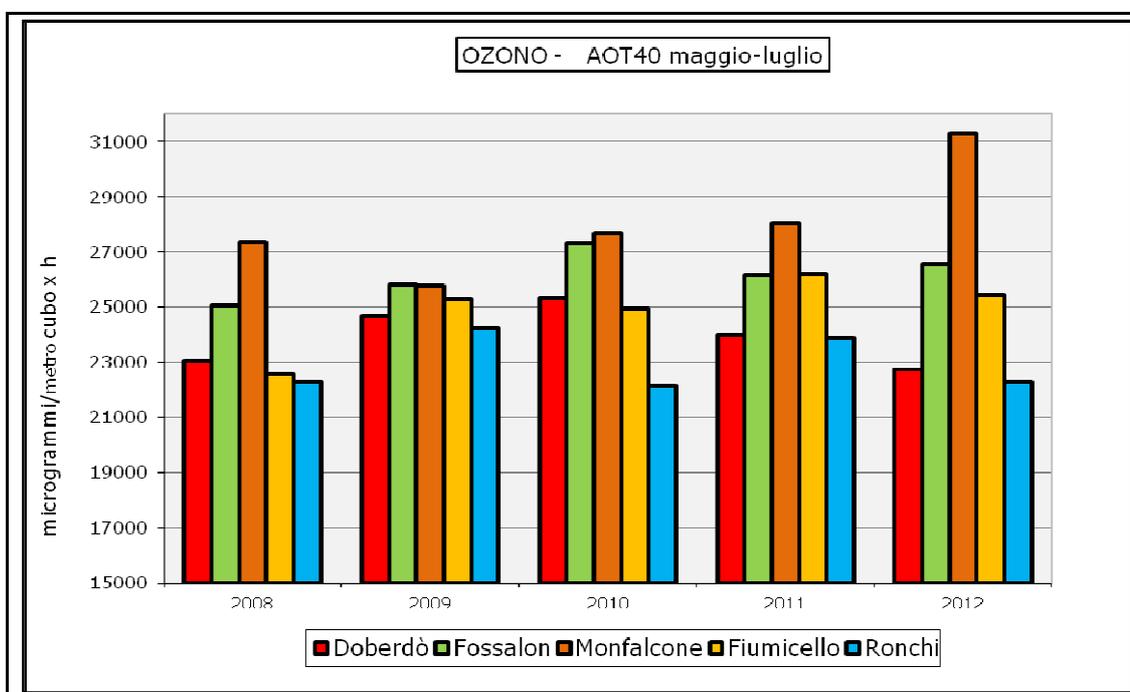
STAZIONI	Doberdò del Lago		Fossalon di Grado		Monfalcone		Papariano di Fiumicello		Ronchi dei Legionari	
	% dati validi	valore ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	% dati validi	valore ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	% dati validi	valore ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	% dati validi	valore ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	% dati validi	valore ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
2008	62,04	<b>68,15</b>	62,88	<b>59,48</b>	74,00	<b>60,55</b>	59,39	<b>53,71</b>	64,64	<b>53,91</b>
2009	93,27	<b>68,44</b>	95,03	<b>58,15</b>	95,47	<b>56,12</b>	94,56	<b>53,72</b>	92,71	<b>54,32</b>
2010	91,98	<b>67,35</b>	93,30	<b>59,92</b>	95,48	<b>57,32</b>	91,91	<b>54,28</b>	93,78	<b>52,47</b>
2011	92,15	<b>70,33</b>	67,83	<b>65,12</b>	95,51	<b>59,58</b>	94,28	<b>55,06</b>	93,67	<b>55,70</b>
2012	80,92	<b>73,75</b>	80,65	<b>67,09</b>	85,22	<b>65,40</b>	83,53	<b>59,59</b>	82,23	<b>56,57</b>



**O3 – AOT40**

STAZIONI	Doberdò del Lago		Fossalon di Grado		Monfalcone		Papariano di Fiumicello		Ronchi dei Legionari		Valore obiettivo per la protezione della vegetazione, AOT40 (valori orari) come media su 5 anni:  <b>18.000</b> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{h}$ )
	% dati validi	valore ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	% dati validi	valore ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	% dati validi	valore ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	% dati validi	valore ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	% dati validi	valore ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	
2008		23046		25055		27360		22571		22302	
2009		24677		25822		25760		25288		24216	
2010		25336		27330		27668		24927		22143	
2011		24007		26134		28032		26208		23881	
2012		22758		26576		31280		25420		22309	

In tutte le stazioni i valori sono sempre superiori al valore obiettivo di 18.000 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{h}$ ) per la protezione della vegetazione



□ Per quanto riguarda l'ozono il monitoraggio relativo all'area di Monfalcone, analogamente a quanto osservato in Regione, rivela delle problematiche. In molte aree della Regione, infatti, i limiti previsti dalla legge per questi valori risultano disattesi. Spesso si osservano, soprattutto ai margini delle aree urbane, superamenti dei limiti previsti per la soglia di informazione e, alle volte, per la soglia di allarme;

#### 4.1.5 MONOSSIDO DI CARBONIO

Il monossido di carbonio (CO) è uno degli inquinanti atmosferici più diffusi. esso deriva normalmente da processi di combustione parziale che impediscono la completa ossidazione del carbonio fino a d anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) per carenza di ossigeno.

Il monossido di carbonio è un gas tossico, incolore, inodore e insapore è più leggero dell'aria e diffonde rapidamente negli ambienti. La elevata tossicità di questo composto è ascrivibile alla sua capacità di legarsi all'emoglobina contenuta nei globuli rossi del sangue e impedire così il trasporto dell'ossigeno.

La principale sorgente di monossido di carbonio viene individuate nel traffico veicolare con un minor contributo della motorizzazione diesel, mentre contenuto è l'apporto derivante da centrale termoelettriche, impianti di riscaldamento domestico e inceneritori in quanto la combustione avviene in condizioni migliori con prevalente ossidazione ad anidride carbonica

In riferimento a tale inquinante il D.Lgs.155/2010 prevede un valore limite (media massima) alle concentrazioni nell'aria ambiente sia per la protezione della salute umana.

INQUINANTE	VALORE LIMITE	PERIODO DI MEDIAZIONE	LEGISLAZIONE
<b>Monossido di Carbonio (CO)</b>	Valore limite protezione salute umana, <b>10 mg/m<sup>3</sup></b>	Max media giornaliera calcolata su 8 ore	D.L. 155/2010 Allegato XI

#### 4.1.6 MICROINQUINANTI

La normativa vigente per questo tipo di inquinanti, anch'essa aggiornata con il D.lgs. n. 155 del 13 agosto 2010, prevede un valore limite sul valore medio per anno civile per il Piombo, e dei valori obiettivo per Arsenico, Cadmio e Nichel riferiti al tenore totale di ciascun inquinante presente nella frazione PM10 del materiale particolato, calcolato come media su un anno civile.

INQUINANTE	VALORE LIMITE	PERIODO DI MEDIAZIONE	LEGISLAZIONE
<b>Benzo(a)pirene (C<sub>20</sub>H<sub>12</sub>)</b>	Valore obiettivo, 1 ng/m <sup>3</sup>	Anno civile	D.L. 155/2010 Allegato XIII
<b>Piombo (Pb)</b>	Valore limite, 0,5 µg/m <sup>3</sup>	Anno civile	D.L. 155/2010 Allegato XI
<b>Arsenico (Ar)</b>	Valore obiettivo, 6,0 ng/m <sup>3</sup>	Anno civile	D.L. 155/2010 Allegato XIII
<b>Cadmio (Cd)</b>	Valore obiettivo, 5,0 ng/m <sup>3</sup>	Anno civile	D.L. 155/2010 Allegato XIII
<b>Nichel (Ni)</b>	Valore obiettivo, 20,0 ng/m <sup>3</sup>	Anno civile	D.L. 155/2010 Allegato XIII

## 5 STIMA DEGLI EFFETTI DELL'IMPIANTO

In accordo con le Linee Guida per la Scelta dei Modelli di Dispersione Atmosferica e della Valutazione di Dispersione di Inquinanti ai Fini degli Studi di Impatto Ambientale, si è reso necessario uno studio di impatto approfondito mediante l'uso del codice Lagrangiano a particelle per la modellizzazione tridimensionale della dispersione in atmosfera dei diversi inquinanti. I risultati ottenuti hanno consentito di stimare i livelli di inquinamento atmosferico al suolo in tutto il dominio di interesse e la loro evoluzione temporale ora per ora, nelle diverse condizioni meteorologiche tipiche del sito per un periodo pari ad un anno solare.

Essendo l'impianto oggetto di studio posizionato in sito costiero, caratterizzato sia dalla presenza di interfaccia terra-mare che dalla presenza di un profilo topografico relativamente complesso, è necessario l'utilizzo di modellistica tridimensionale in grado di tenere conto di aspetti quali:

- simulazione della dispersione in situazioni di calma di vento con riproduzione dei fenomeni di stagnazione ed accumulo;
- riproduzione dell'impatto orografico con l'evoluzione spaziale e temporale dei fenomeni di brezza locale;
- possibilità di considerare i cambiamenti di direzione e di intensità del vento sia con la quota che in zone diverse.

Per la realizzazione dello studio è stato quindi utilizzato il pacchetto ARIA/Industry, un sistema di modellistica tridimensionale costituito dalle seguenti componenti:

- il modello per la ricostruzione tridimensionale del campo di vento diagnostico a divergenza nulla SWIFT/MINERVE;

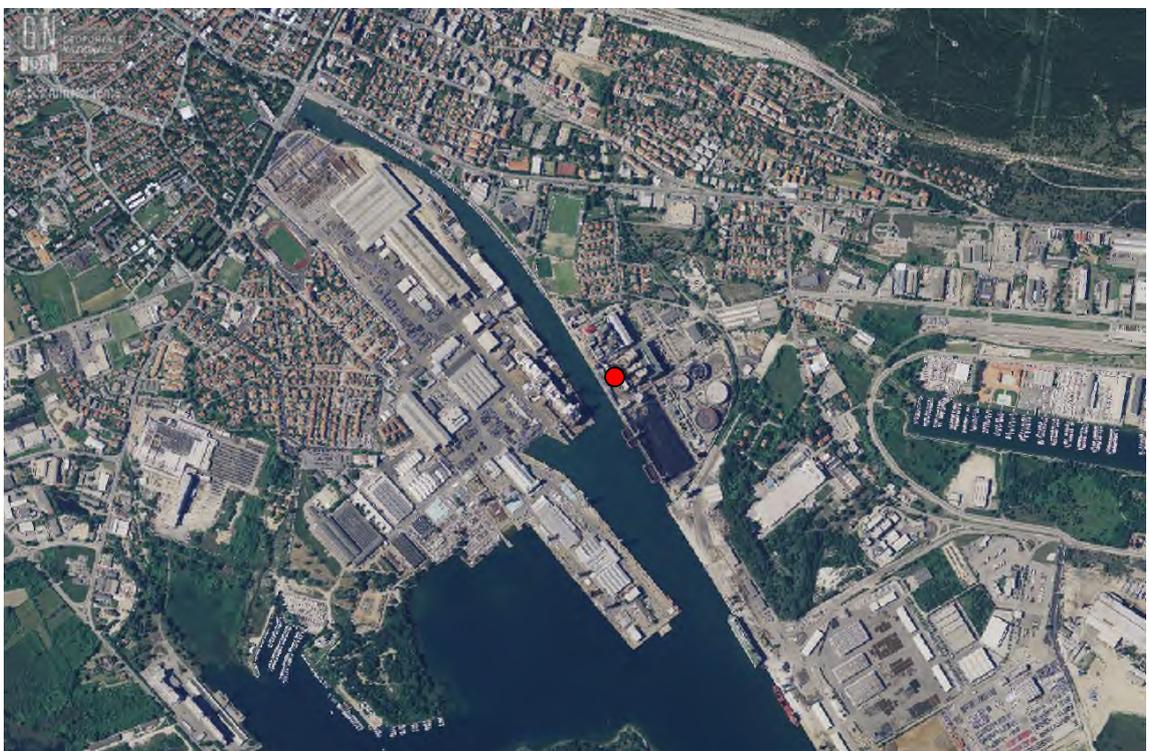
- il processore per la definizione dei parametri di turbolenza SurfPro;
- il modello lagrangiano a particelle SPRAY per la dispersione degli inquinanti su terreno complesso.

Tale sistema è in grado di soddisfare le esigenze specifiche del caso in esame.

Le simulazioni sono state condotte su base oraria per un intero anno di riferimento scelto sulla base della disponibilità di dati tridimensionali necessari ad un sistema modellistico di questo tipo, relativamente agli inquinanti ossidi di azoto, biossido di zolfo e particolato.

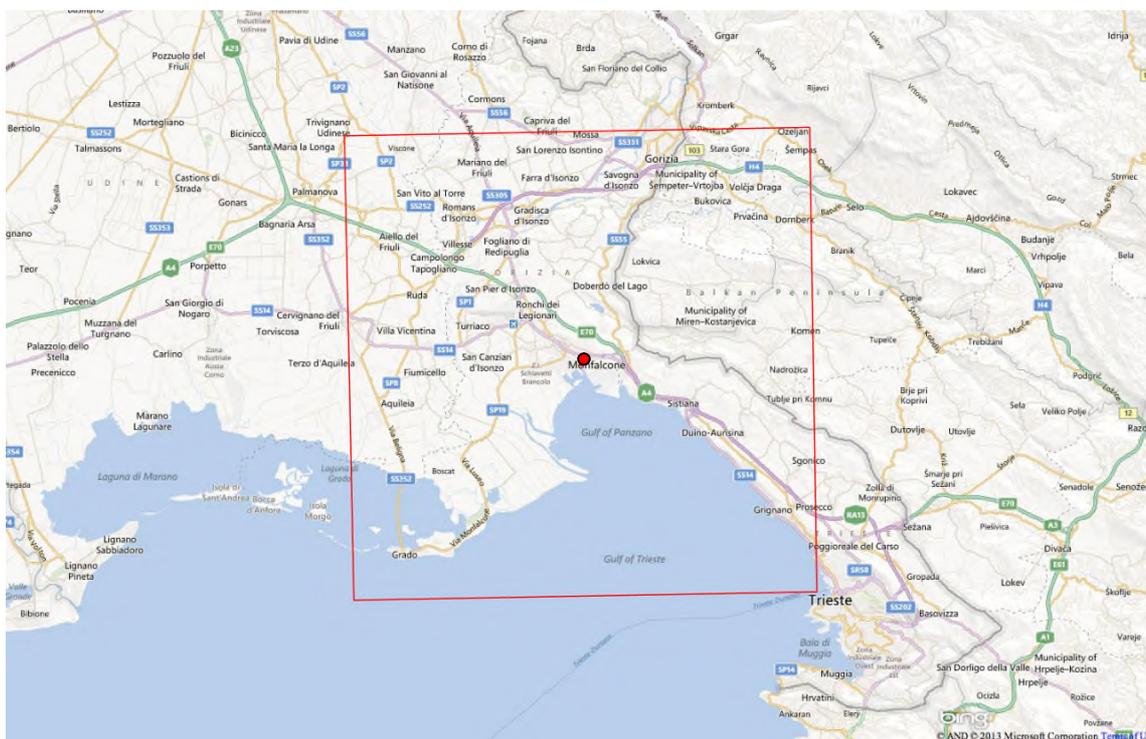
## 5.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

La centrale termoelettrica di Monfalcone (GO) si trova lungo la sponda orientale del Canale Valentinis in prossimità del centro abitato. In Fig. – 2 è mostrata la localizzazione della centrale, il punto rosso in figura è collocato in corrispondenza del camino emittente



**Fig. - 2** Foto aerea di dettaglio dell'area della Centrale termoelettrica di Monfalcone. In rosso è rappresentato il camino della centrale.

In Fig. 3 è illustrato il domino di calcolo esteso 32 x 32 km, considerato nella simulazione presentata in questo studio. La risoluzione orizzontale utilizzata per descrivere sia i dati meteorologici in input che le concentrazioni in output è di 400 m, compatibile con la durata delle simulazioni su scala annuale da eseguire e in grado di fornire un sufficiente dettaglio alla scala complessiva considerata.



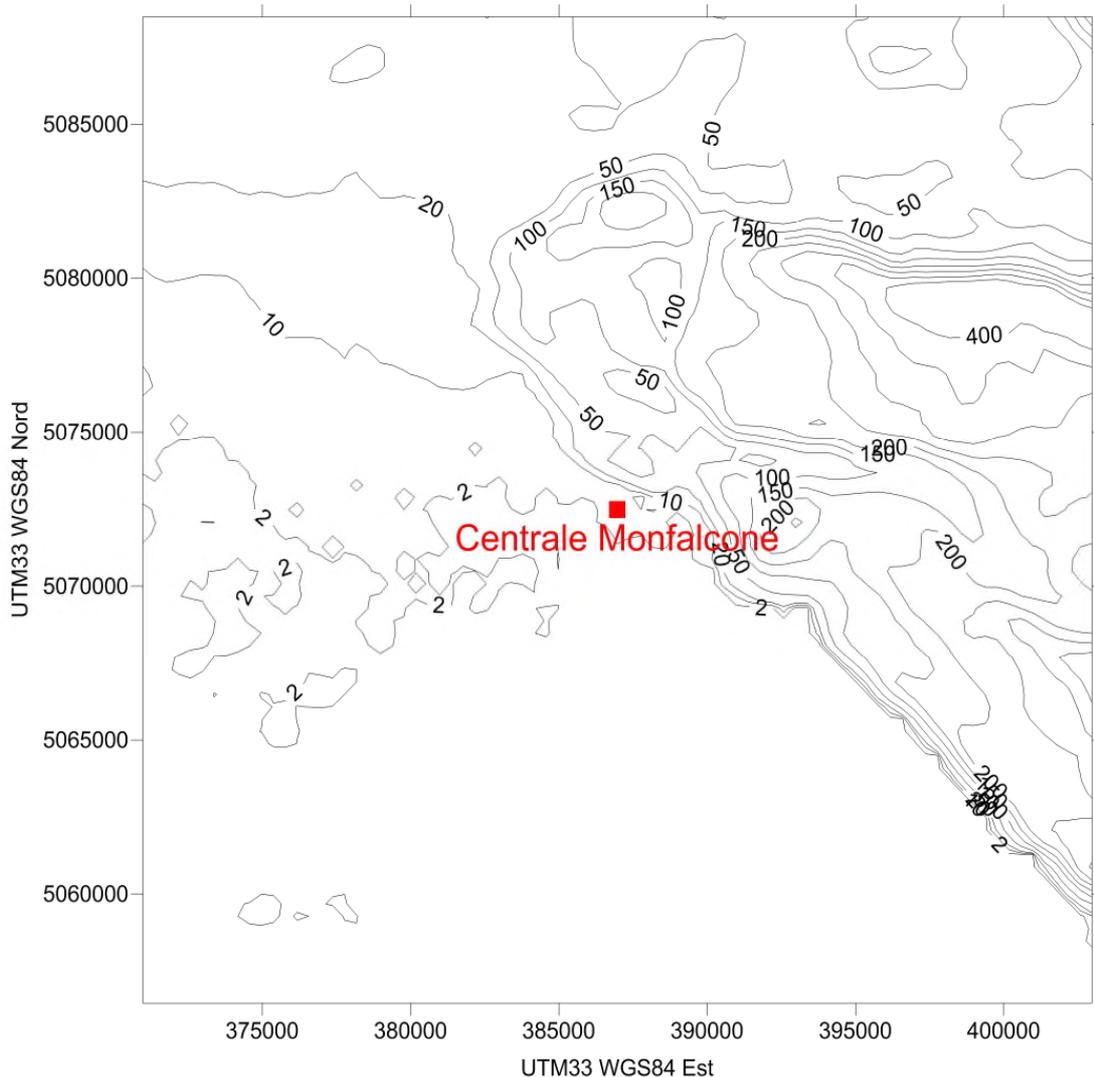
**Fig. - 3** Rappresentazione cartografica della zona di simulazione. L'area bordata di rosso rappresenta il dominio di calcolo 32x32 km considerato per la simulazione. Il punto rosso centrale è ubicato in corrispondenza del camino della centrale.

La griglia di calcolo utilizzata per la simulazione meteorologica e di dispersione ha le seguenti caratteristiche:

- 81 celle nella direzione x;
- 81 celle nella direzione y;
- 400 m di risoluzione orizzontale;
- Coordinate UTM fuso 33 (WGS84) del vertice Sud Ovest del dominio pari a 370970 m Est, 5056480 m Nord.

L'estensione verticale del dominio di simulazione per la ricostruzione meteorologica è di 5.000 m con i seguenti 15 livelli di calcolo sopra l'orografia espressi in metri:

0, 20, 50, 94, 156, 243, 364, 530, 755, 1061, 1471, 2020, 2751, 3720, 5000



**Fig. - 4** Dominio di studio: è rappresentato il modello digitale del terreno mediante isolinee di altimetria con indicazione della localizzazione dell'impianto.

In Fig. 4 è illustrato il modello digitale del terreno all'interno del dominio calcolo considerato. Il dominio esteso è, come detto, un quadrato di lato 32 km delimitato a Sud dal mare Adriatico con il litorale di Grado, a Nord Est da territorio Sloveno, a Nord dalla valle dell'Isonzo e la città di Gorizia e ad Ovest da territorio pianeggiante interno alla regione Friuli Venezia Giulia nei comuni di Aquileia, Cervignano del Friuli e Palmanova. La città di Monfalcone è posizionata nella zona centrale del dominio, esattamente al centro del dominio è la posizione della sorgente considerata dalle simulazioni, ovvero il camino della centrale termoelettrica a2a. Immediatamente a Nord dell'emissione e a

circa 2.5 km da essa sono presenti i primi rilievi di circa 120-150 m che portano verso il lago di Doberdò. A Nord Est di quest'ultimo, già in territorio Sloveno, sono presenti i rilievi più marcati fino a poco oltre 350 metri. Nella zona a Sud e ad Ovest, la costa risulta essere invece sostanzialmente piatta.

L'estensione del dominio e le caratteristiche di complessità topografica (presenza di rilievi e di una linea di costa), necessitano il ricorso ad un modello di dispersione tridimensionale Lagrangiano a particelle.

In Fig. 5 è riportata la mappa dell'uso suolo relativa al dominio descritto in precedenza, con risoluzione orizzontale di 400 m. I codici di uso del suolo sono definiti secondo una classificazione a 21 classi ricavata da quella standard internazionale CORINE a 44 classi (EEA Data Service), mediante accorpamento di alcune categorie, secondo la didascalia riportata accanto alla figura. Sono evidenti la presenza di zone urbanizzate (la zona industriale e urbana di Monfalcone) al centro del dominio, la zona prevalentemente agricola ad Ovest e la zona più boschiva a Nord e NordEst verso la Slovenia.

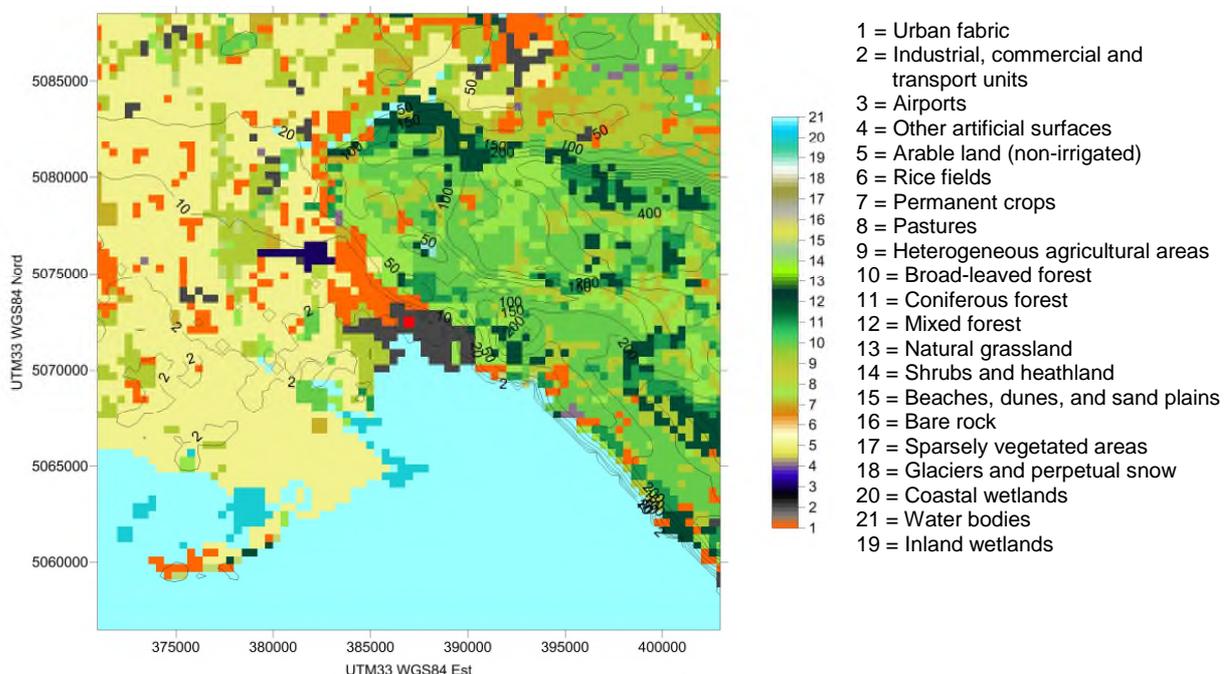


Fig. – 5 Mappa di uso suolo (secondo le 21 classi elencate nella didascalia) e orografia.

## 5.2 CARATTERIZZAZIONE METEOROLOGICA DEL SITO

Per la realizzazione delle simulazioni di dispersione a scala locale con il modello Lagrangiano a particelle SPRAY alla risoluzione di 400 m, è necessario disporre di un set di dati meteorologici tridimensionali, che riproduca realisticamente le caratteristiche del dominio sotto investigazione.

A questo scopo sono stati estratti i dati meteorologici prodotti dal sistema modellistico utilizzato all'interno del progetto MINNI (Zanini, 2009, Vitali et al., 2010). Il progetto MINNI ("Modello Integrato Nazionale a supporto della Negoziazione internazionale sui temi dell'Inquinamento atmosferico"; <http://www.minni.org/>) comprende infatti la produzione di campi meteorologici alla risoluzione di 20 km sul dominio di riferimento nazionale e successivamente di campi meteorologici ad alta risoluzione (4 km) su 5 sottodomini illustrati in figura 6, dove le aree coperte da simulazioni meteorologiche sono rappresentate dai rettangoli blu, tra i quali il dominio Nord Italia. Le simulazioni MINNI coprono diversi periodi annuali, in particolare per gli anni 1999-2003-2005-2007, per le simulazioni oggetto del presente lavoro è stato scelto l'anno 2007, che rappresenta una situazione media da un punto di vista climatologico, non caratterizzata da periodi particolarmente estremi. In aggiunta a questo, il periodo garantisce una copertura dei dati di qualità dell'aria provenienti dalla rete di capannine intorno all'impianto gestita da a2a, da utilizzare per una verifica dei livelli locali di inquinamento osservati nel periodo di riferimento.

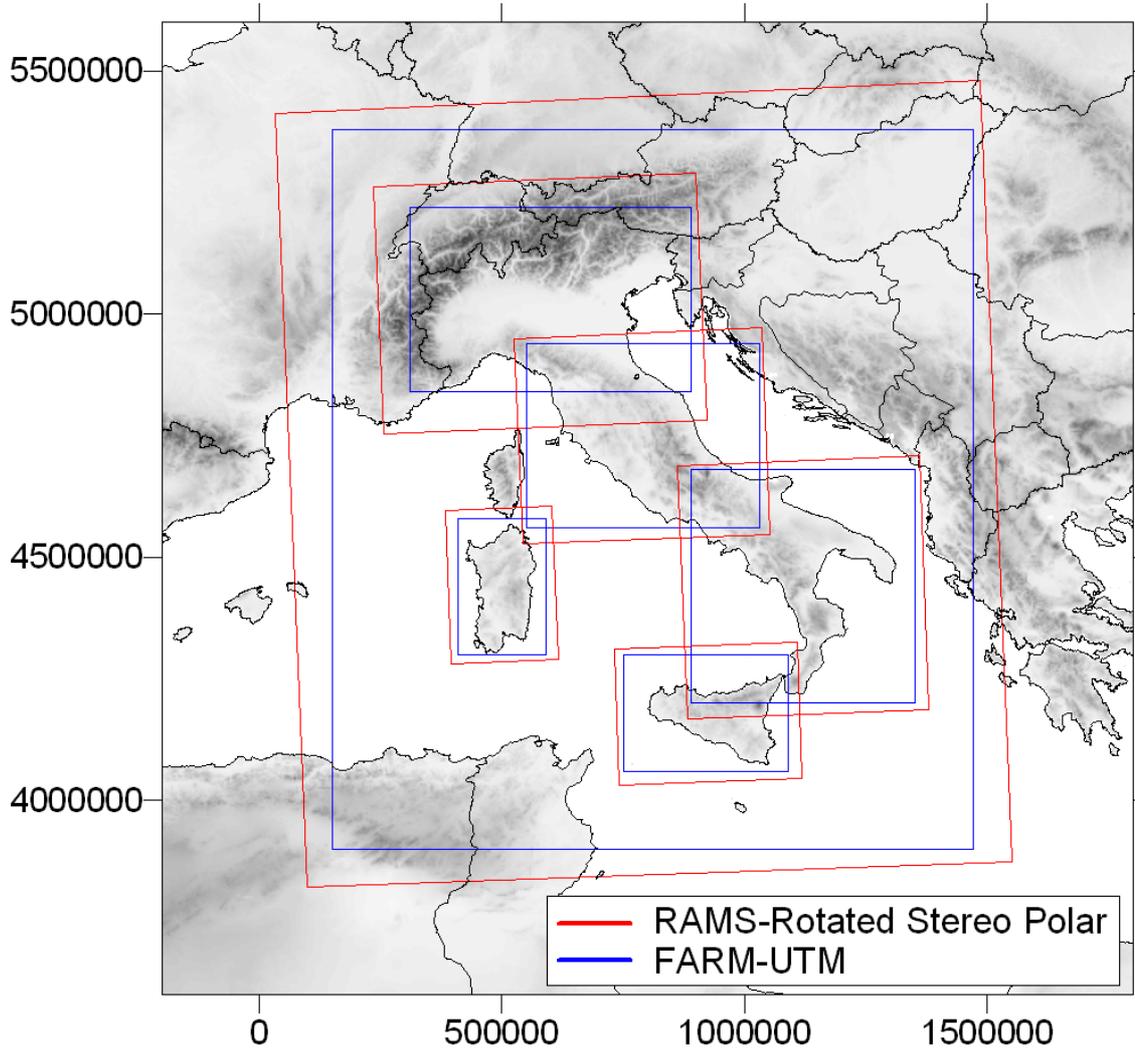


Fig. - 6 Domini di calcolo per le simulazioni MINNI 2007

L'area MINNI Nord Italia copre interamente la zona di simulazione, come indicato nelle figure 7 e 8, che rappresentano rispettivamente sia il dettaglio totale del grigliato MINNI che la copertura sul dominio di simulazione.



**Fig. - 7 Area complessiva di copertura dei punti meteorologici MINNI Nord Italia**

Il dataset MINNI contiene i campi meteorologici tridimensionali (matrici di vento, temperatura e umidità) e bidimensionali (precipitazione e copertura nuvolosa) a risoluzione temporale oraria. Il dataset è stato ottenuto mediante l'applicazione di un modello meteorologico prognostico alle equazioni primitive, opportunamente guidato al contorno da campi di analisi a grande scala e localmente mediante l'utilizzo di dati misurati.

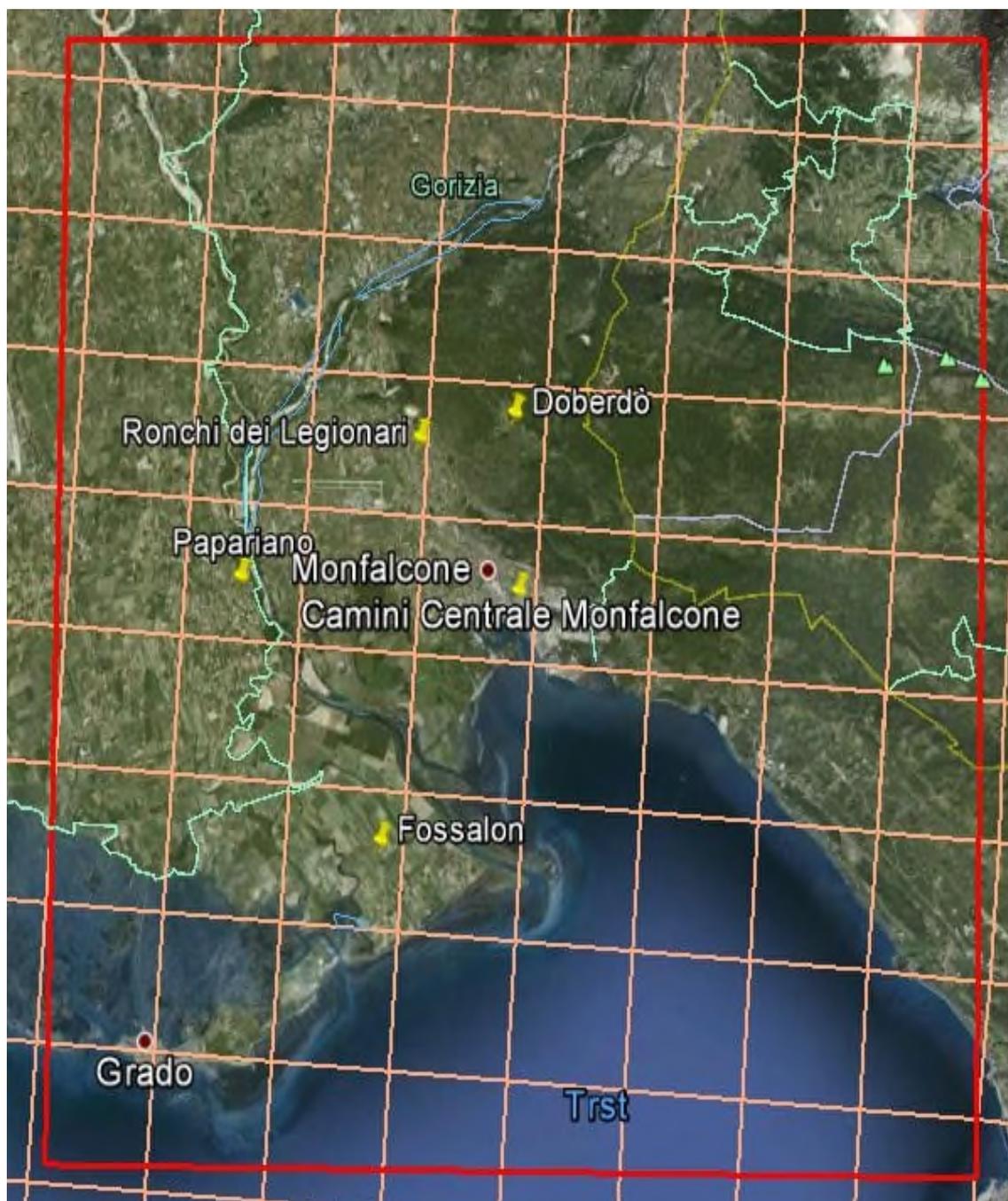


Fig. - 8 Dettaglio di copertura dei grigliato punti MINNI Nord Italia sul dominio target di calcolo, rappresentato dal quadrato rosso

Per effettuare un'analisi di rappresentatività locale dei dati MINNI, è stato effettuato un confronto con i dati anemometrici locali disponibili nella zona, in particolare è stato effettuato il confronto sia con i dati misurati da a2a a quota camino che con i dati climatologici di Ronchi dei Legionari misurati dal Servizio

	CENTRALE TERMOELETTRICA DI MONFALCONE	Elaborato n. P01MF00189 Rev.00
	Installazione del sistema di abbattimento degli Ossidi di Azoto (DeNOx) sui gruppi a carbone 1 e 2 per l'adeguamento ai valori limite nel rispetto delle MTD	Pag. 59 di 133

Meteorologico dell'Aeronautica militare e presenti nel sito SCIA (<http://www.scia.sinanet.apat.it/>).

Le figure 9, 10 e 11 riportano rispettivamente le rose dei venti misurate totali rispettivamente a Ronchi dei Legionari (statistica su lungo periodo), sul camino della centrale a2a (anni dal 2008 al 2012) e la rosa dei venti estratta a quota camino dal dataset MINNI 2007. I confronti mostrano tutte un buon accordo conservando le caratteristiche generali del flusso, mostrando alcune differenze legate ai diversi sistemi di misura e di modellazione.

In particolare è evidente in tutte le rose dei venti la predominanza delle direzioni da Nord-Est e Est Nord-Est che mostrano anche le velocità più elevate.

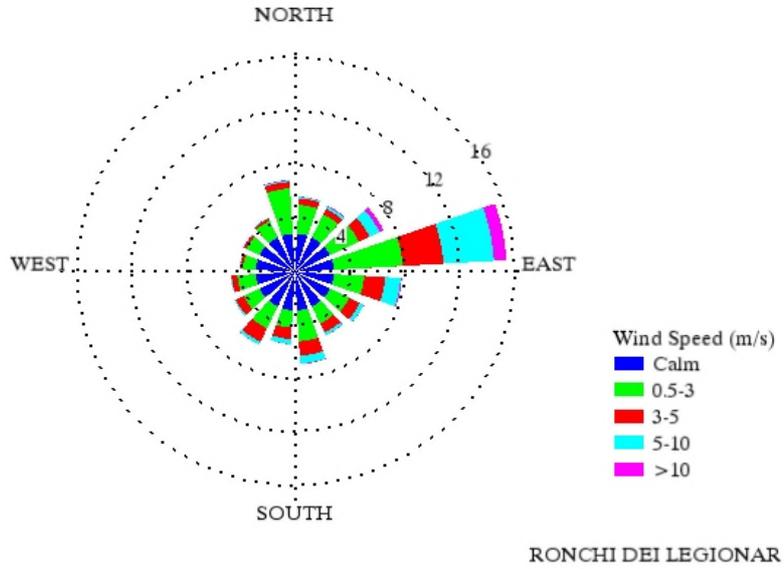


Fig. - 9: Rosa dei venti totale misurata a Ronchi dei Legionari climatologica su lungo periodo (dati SCIA)

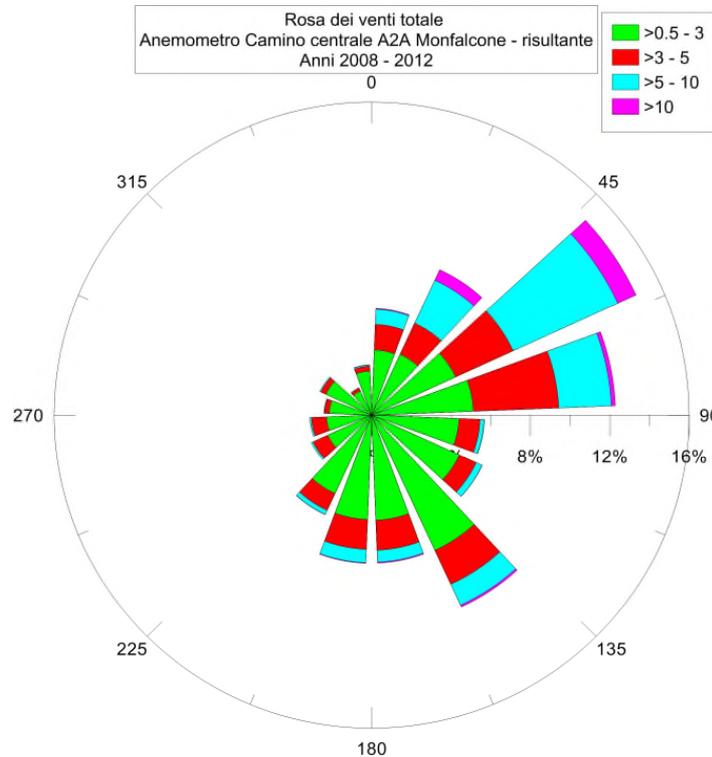
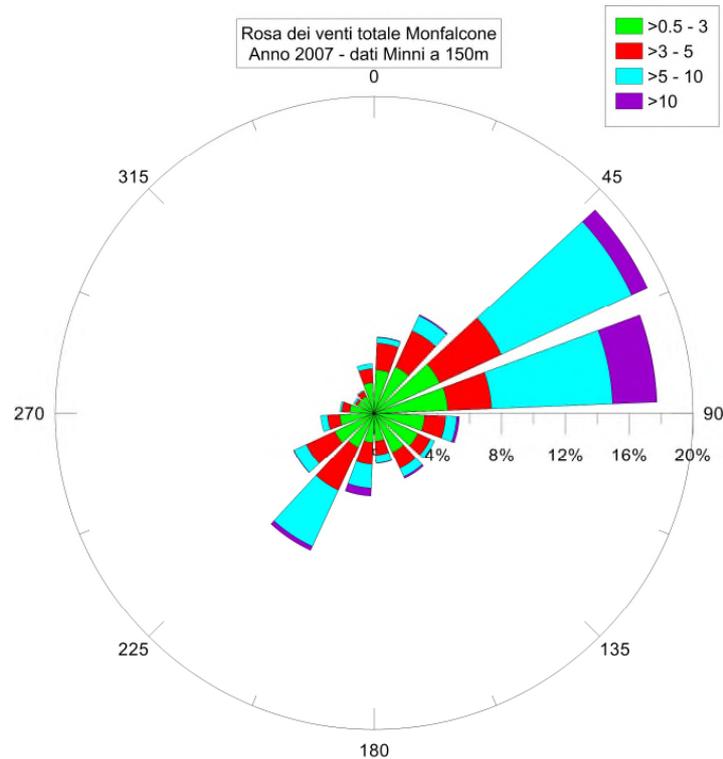
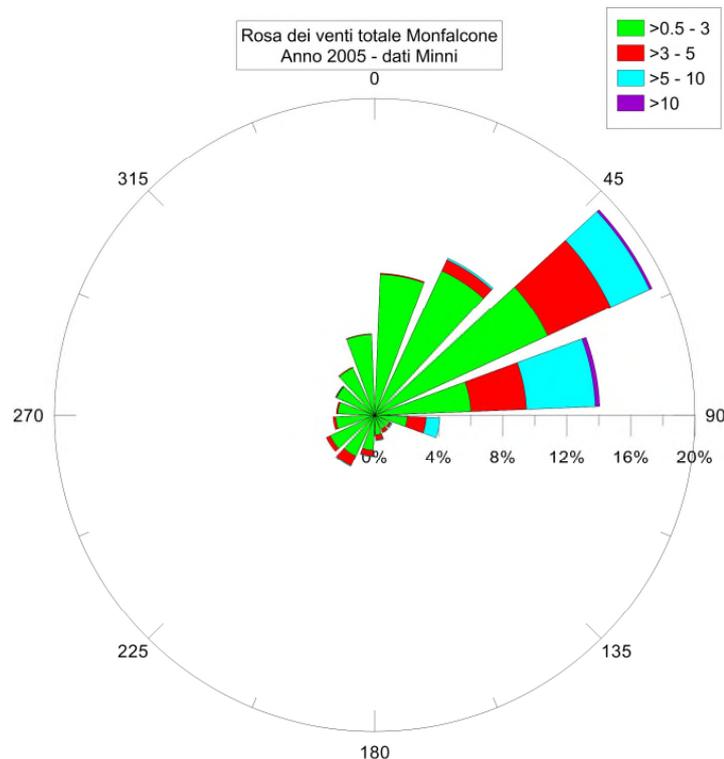


Fig. - 10 Rosa dei venti totale misurata presso l'anemometro a quota camino a2a, anni 2008-2012



**Fig. - 11 Rosa dei venti MINKI per l'anno 2007 quota camino nella posizione della ciminiera a2a**

A titolo di esempio, viene presentata in figura 12, la rosa dei venti MINKI in prossimità del suolo per l'anno 2005, considerato periodo di riferimento per ARPA FVG che mostra caratteristiche simili (con velocità del vento meno elevate) rispetto alla rosa dei venti a quota camino MINKI del 2007.



**Fig. - 12 Rosa dei venti MINNI per l'anno 2005 in prossimità del suolo, nella posizione della ciminiera a2a**

Complessivamente, il confronto con i dati sperimentali disponibili mostra una buona affidabilità del dato MINNI 2007 che è stato quindi utilizzato per la realizzazione della parte meteorologica delle simulazioni.

Utilizzando i dati di topografia e uso suolo alla risoluzione di 4 km, è stata quindi effettuata una discesa di scala dei campi meteorologici orari al suolo e in quota provenienti dal dataset MINNI 2007, passando dalla risoluzione iniziale a 4 km alla risoluzione finale di 400 m, applicando il modello diagnostico a divergenza nulla Swift/Minerve, descritto nel seguito.

Il modello Swift/Minerve sviluppato da EDF e ARIA Technologies S.A. (Aria Technologies, 2001, Finardi et al. 1998) è un codice "mass-consistent" di tipo diagnostico in grado di ricostruire i campi tridimensionali di vento e temperatura.

Per la ricostruzione del campo di vento, il modello opera essenzialmente in due fasi:

- nella prima effettua l'interpolazione sul dominio di calcolo tridimensionale dei dati di vento forniti in input;
- nella seconda, detta di analisi oggettiva, applica il principio fluidodinamico di conservazione della massa ad ogni cella del dominio e produce un campo di vento definito aggiustato.

La fase di aggiustamento consiste nella soppressione della divergenza presente nel campo interpolato, attraverso la minimizzazione del seguente funzionale:

$$I(u, v, w, \lambda) = \int_V (u - u_0)^2 + (v - v_0)^2 + \alpha(w - w_0)^2 + \lambda \nabla \cdot \underline{u} \, dV$$

con:  $u_0, v_0, w_0$  componenti cartesiane del campo interpolato;

$u, v, w$  componenti cartesiane del campo aggiustato;

$\lambda$  è il moltiplicatore di Lagrange;

$\nabla \cdot \underline{u}$  è la divergenza del vettore vento  $\underline{u} = (u, v, w)$ .

Il parametro  $\alpha$  consente di pesare diversamente l'aggiustamento delle componenti orizzontali e verticali della velocità del vento: con  $\alpha = 1$  non c'è differenza nel grado di aggiustamento, mentre valori più piccoli/grandi di  $\alpha$  fanno sì che l'aggiustamento sia operante principalmente sulla componente orizzontale/verticale del campo di vento. Inoltre, poiché da  $\alpha$  dipende la parte di flusso che aggira l'ostacolo orografico in rapporto a quella che lo oltrepassa verticalmente, il suo valore è usato spesso per tenere conto della stabilità atmosferica sul flusso.

La componente verticale del campo di vento ( $w$ ) normalmente non viene considerata durante la fase di interpolazione, in quanto non si dispone di una rete tridimensionale di misura per tale parametro, quindi si considera  $w_0=0$  per ogni cella del dominio e, di fatto,  $w$  viene generata dal modello durante la fase di aggiustamento.

Per costruzione, i modelli di tipo "mass-consistent" hanno la caratteristica di produrre il migliore campo di vento a divergenza nulla che minimizza lo scostamento complessivo dall'iniziale interpolazione grezza delle misure. Per

questo motivo, la prima fase di interpolazione delle misure di vento riveste grande importanza nel processo di ricostruzione del campo di vento finale. Inoltre il campo interpolato che si ottiene dipende spesso dalla configurazione spaziale delle postazioni di misura, oltre che dalle quote di misura dei profili verticali.

Swift/Minerve consente di scegliere tra diversi metodi di interpolazione: propone l'interpolazione di Cressman pesata sull'inverso del quadrato della distanza, che può essere effettuata separatamente per i diversi strati verticali (Cressman 2D) o in maniera tridimensionale (Cressman 3D), e il metodo non isotropo di triangolazione delle misure al suolo associato ad un'interpolazione tridimensionale delle misure in quota (profili verticali). L'interpolazione dei dati di vento viene eseguita indipendentemente per ognuna delle componenti cartesiane del vettore vento.

Più esplicitamente, il metodo Cressman 2D consiste dapprima nell'interpolare linearmente sugli strati verticali del reticolo i profili di vento, quindi nel calcolare, per ogni strato, le componenti del vento nei punti di coordinate (x,y) della maglia, secondo le equazioni:

$$U_i(x, y, k) = \frac{\sum_{n=1}^{NMSUR} [U_i(x_n, y_n) P_n(x, y)]}{\sum_{n=1}^{NMSUR} P_n(x, y)} \quad i = 1,2$$

con:  $U_1 = u_0$  e  $U_2 = v_0$ , componenti orizzontali del campo interpolato;

NMSUR, numero di stazioni dello strato:

1. per il primo strato sopra il suolo (k=2), NMSUR è il numero delle misure al suolo utilizzate;
2. per gli strati sovrastanti, NMSUR è pari al numero delle misure interpolate a partire dai profili considerati;
3.  $P_n(x, y)$  il peso associato alla postazione di misura ed espresso dalla funzione del tipo:

$$P_n(x, y) = \frac{1}{r_n^2}$$

dove:

$r_n = \frac{R_n}{P_h}$  ; rappresenta la distanza del punto maglia (x,y) dalla stazione di coordinate  $(x_n, y_n)$ ;

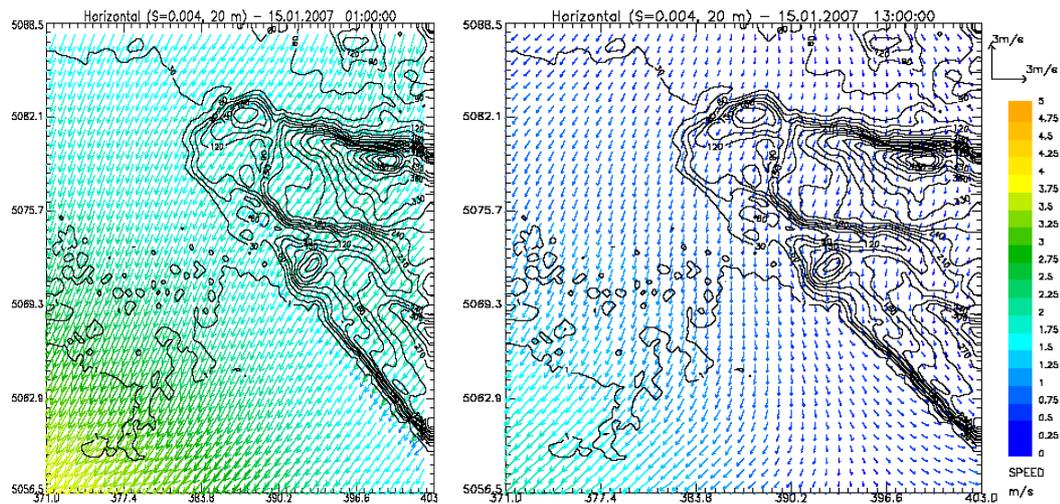
$P_h$  il parametro di portata orizzontale, calcolato automaticamente da Swift/Minerve, in funzione della distanza tra le stazioni e del passo della maglia orizzontale.

Al termine di questa inizializzazione del campo tridimensionale, mediante una funzione esponenziale può essere eseguito un raccordo tra il campo alla superficie  $U_i(x,y,2)$ , relativo al primo strato della maglia, e quello in quota  $U_i(x,y,k)$ , riguardante i restanti strati del reticolo. Tutto ciò in modo da attenuare le discontinuità che possono insorgere per il fatto che, per il livello superficiale vengono utilizzate solo le misure delle postazioni al suolo, mentre per i livelli sovrastanti vengono usate solo le misure dei profili di vento.

Nella interpolazione di tipo Cressman 3D, il peso  $P_n(x, y, z)$  è funzione della distanza tridimensionale e le componenti orizzontali di ogni cella del grigliato,  $U_i(x, y, k)$ , sono calcolate tenendo conto non solo della distanza in senso orizzontale ma anche della quota a cui è stata effettuata la misura. In questo modo si ha una ricostruzione più continua dei profili di ogni cella.

Il modello ha prodotto 8761 campi meteorologici orari a partire dalle ore 00:00 del giorno 1/1/2007, fino alle ore 00:00 del giorno 1/1/2008. Questi campi sono stati direttamente utilizzati dal modello Lagrangiano a particelle SPRAY per ricostruire la dispersione degli agenti inquinanti.

A titolo esemplificativo, nelle figure 13 e14 sono riportati rispettivamente i campi meteorologici di vento medio in prossimità del suolo sul dominio esteso per una situazione invernale, il giorno 15/1/2007, e per una situazione estiva, giorno 15/7/2007 alle ore 01:00 (caso notturno) e alle ore 13:00 (caso diurno)

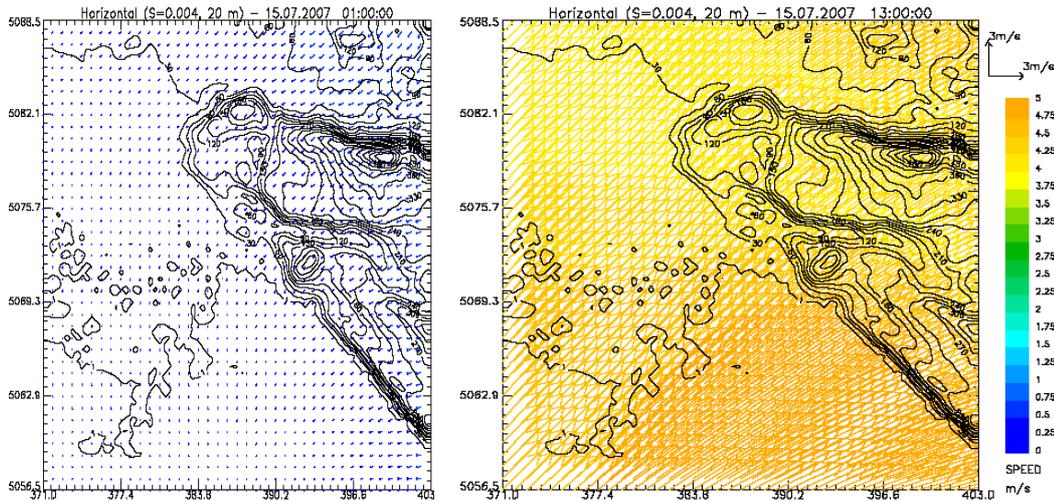


**Fig. - 13** Campi di vento in prossimità del suolo calcolati il giorno 15/1/2007 alle ore 01:00 (a sinistra) e alle ore 13:00 (a destra). Per maggiore chiarezza, i campi sono mostrati con risoluzione orizzontale di 800 m.

Nel caso specifico, durante la notte del 15/1/2007 i venti provengono da Nord-Est con intensità sulla terra di circa 2 m/s in rafforzamento verso SudOvest sul mare fino a raggiungere intensità di circa 4.6 m/s. Durante le ore diurne dello stesso giorno invernale, il vento ha intensità decisamente ridotta, mantenendo una direzione prevalentemente da Nord e rimanendo lungo la costa nella parte a Sud-Est del dominio.

Nello specifico caso estivo, durante la notte il vento è in situazione di calma con direzioni variabili.

Durante il giorno, la velocità del vento è decisamente maggiore arrivando a oltre 5.9 m/s e la direzione di provenienza Sud-Ovest uniforme su tutto il dominio, a rappresentare un tipico caso di brezza diurna ben sviluppata.



**Fig. - 14** Campi di vento in prossimità del calcolati il giorno 15/7/2007 alle ore 01:00 (a sinistra) e alle ore 13:00 (a destra). Per maggiore chiarezza, i campi sono mostrati con risoluzione orizzontale di 800m.

Allo scopo di illustrare le caratteristiche statistiche del flusso simulato, sono state estratte le serie temporali dei dati prodotti mediante il codice Swift/Minerve in corrispondenza dell'impianto a2a, e sono state calcolate le rose dei venti in corrispondenza sia del primo livello della ricostruzione meteorologica, alla quota di 20 m, che a quota camino. Le figure 15 e 16 mostrano rispettivamente le rose dei venti alle due quote, considerando il totale dei dati, il caso diurno e il caso notturno.

Nelle rose dei venti al suolo si nota la presenza di un flusso meno intenso, con una minore polarizzazione sulle direzioni da Est e da Est Nord-Est che è invece presente nelle rose dei venti a 150 metri. Nei grafici giorno-notte è evidente il contributo del fenomeno di brezza costiera, che determina un maggior contributo delle direzioni di provenienza dal mare durante le ore diurne e di vento da terra durante le ore notturne. Permangono comunque in percentuale elevata i venti forti provenienti da Est e Est NordEst. Le rose dei venti a 150 metri subiscono solo piccole differenze rispetto a quelle alla medesima quota ottenuta dai dati MINNI 2007 in input al codice Minerve/Swift, che quindi non modifica in maniera sostanziale il flusso ai livelli più elevati proveniente da informazioni a scala più grande.

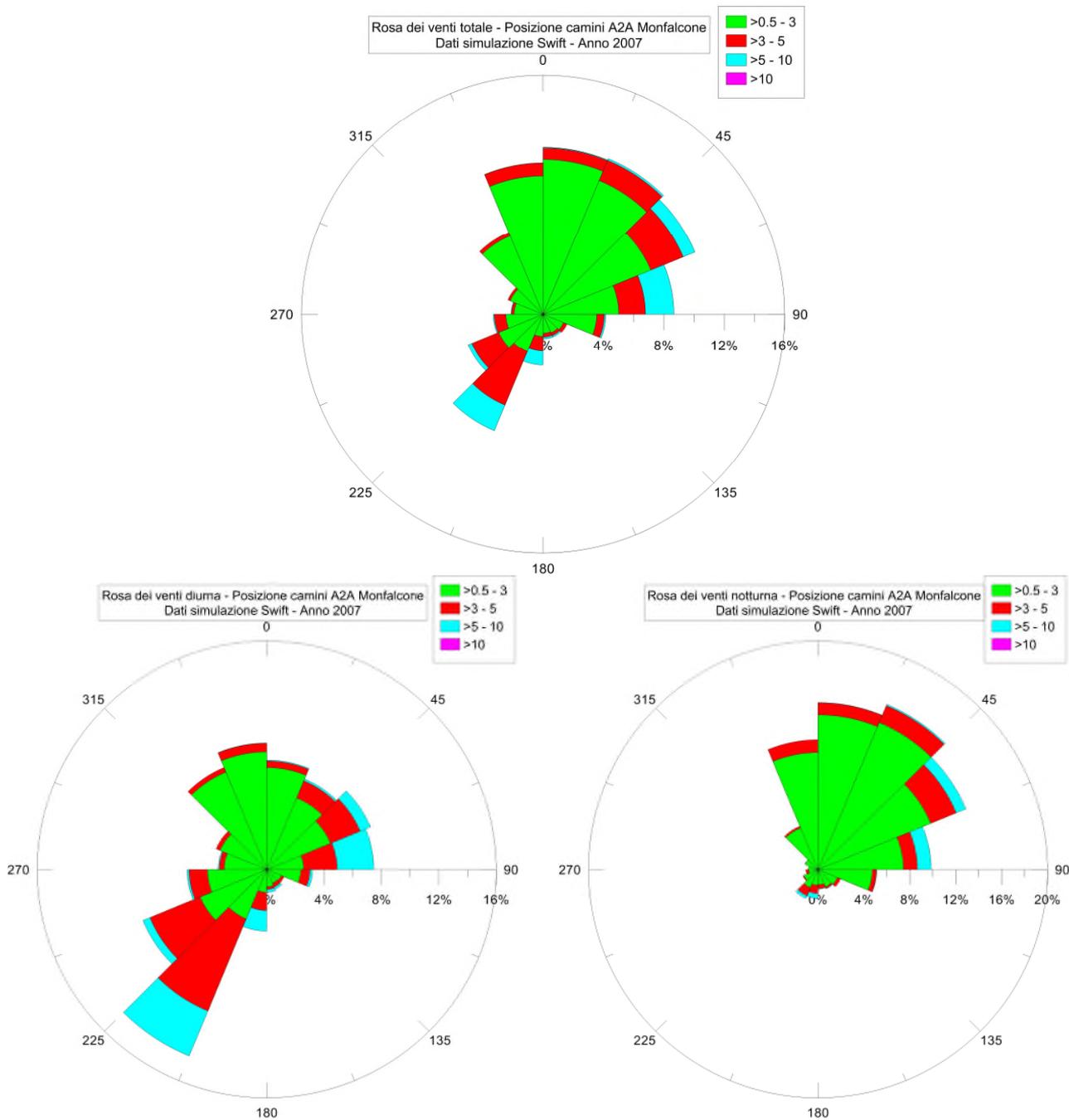
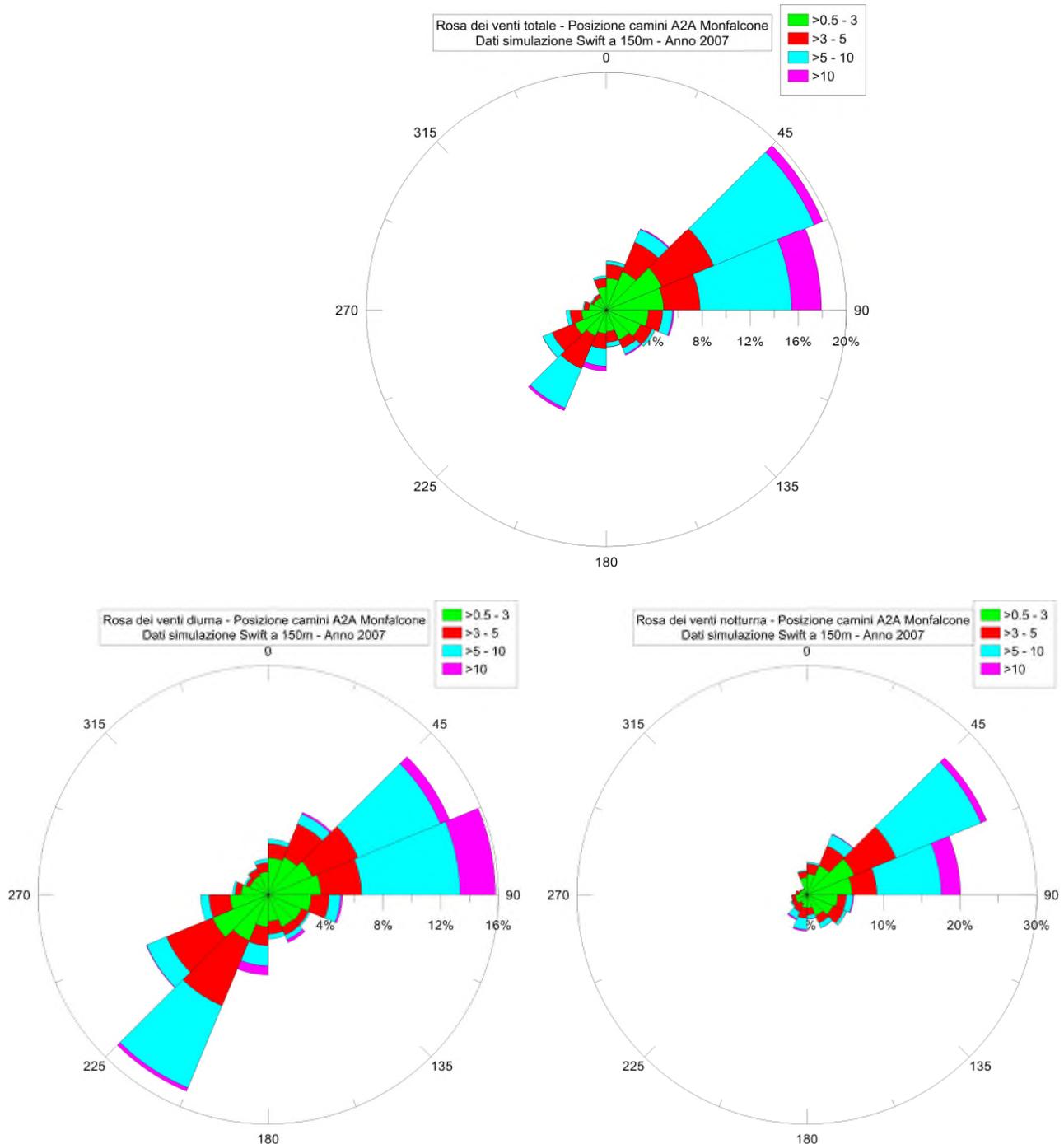


Fig. - 15

Rose dei venti totale (in alto), diurna (in basso a sinistra) e notturna (in basso a destra) in prossimità del suolo, posizione camini centrale a2a, simulata dal codice Swift/Minerve. Scale di velocità del vento in m/s



**Fig. - 16** Rose dei venti totale (in alto), diurna (in basso a sinistra) e notturna (in basso a destra) a 150 m di quota, in posizione camini centrale a2a, simulata dal codice Swift/Minerve. Scale di velocità del vento in m/s

Il modello Lagrangiano a particelle SPRAY, per determinare il trasporto degli inquinanti emessi in atmosfera oltre alle caratteristiche del vento che domina il trasporto in direzione orizzontale richiede che siano definite le caratteristiche

della turbolenza atmosferica, cioè dei moti disordinati che hanno origine sia meccanica che termica e che favoriscono, in condizioni di instabilità, la dispersione anche nella direzione verticale.

Nei modelli utilizzati per il presente lavoro, la turbolenza viene descritta attraverso opportune variabili fisiche dette 'di scala', che hanno il compito di riassumerne le principali caratteristiche. Tali variabili sono:

- $u^*$  o velocità di frizione, che descrive gli effetti legati alla turbolenza di tipo 'meccanico', dovuti alla presenza di ostacoli superficiali o variazioni con la quota della velocità del vento (shear);
- $H_{mix}$  o altezza dello strato limite, che rappresenta lo strato adiacente al suolo variabile nel tempo e nello spazio all'interno del quale avvengono i principali fenomeni turbolenti generati dall'interazione del flusso atmosferico con la superficie, e dove vengono in genere immesse le sostanze inquinanti;
- $L$  o lunghezza di Monin-Obukhov che rappresenta un indicatore della stabilità atmosferica. Un'atmosfera stabile tende ad un minore rimescolamento e dispersione delle sostanze emesse, al contrario un'atmosfera instabile è caratterizzata da una maggiore efficienza dispersiva. Valori negativi vicini allo zero sono rappresentativi di un'atmosfera instabile in condizioni convettive diurne, valori positivi piccoli sono invece caratteristici di un'atmosfera stabile tipicamente notturna;
- $w^*$  o velocità convettiva di scala che rappresenta una misura dell'intensità della turbolenza nelle ore più calde in presenza di forte irraggiamento solare.

I campi di queste variabili vengono ricostruiti ora per ora su tutto il dominio mediante l'utilizzo del preprocessore SurfPro descritto nel seguito, tenendo conto delle disomogeneità orizzontali indotte dalla presenza di differenti caratteristiche di uso del suolo.

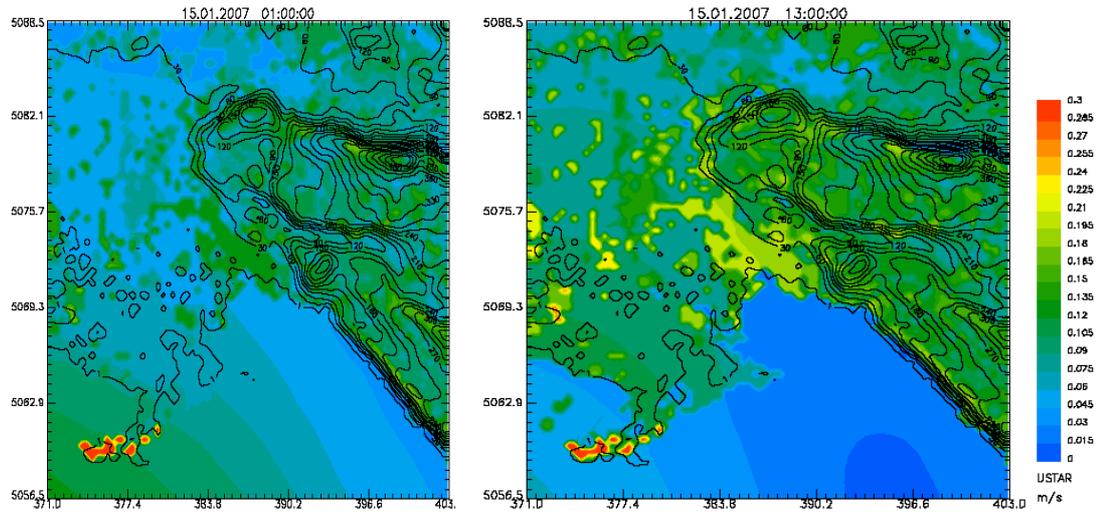
Il codice SurfPro sviluppato da ARIANET S.r.l. (Silibello, 2006), è un preprocessore meteorologico in grado di ricostruire le principali variabili che descrivono la turbolenza atmosferica su terreno complesso, necessarie in input a modelli di dispersione. Il codice riceve in input i campi tridimensionali di vento e temperatura generati dal codice Swift/Minerve, eventuali variabili meteorologiche disponibili sul territorio in esame (quali ad esempio la nuvolosità o la radiazione solare globale disponibile ora per ora dai campi provenienti da un modello prognostico) e la matrice di dati di uso del suolo, su un grigliato orizzontale corrispondente a quello dei dati di vento, in grado di descrivere la non omogeneità orizzontale del terreno nella risposta alla forzante radiativa solare e la conseguente disomogeneità nei campi di turbolenza che si vengono a determinare. Utilizzando diversi schemi di parametrizzazione della turbolenza consolidati in letteratura, il codice ricostruisce campi bidimensionali delle variabili di scala descritte in precedenza.

Il programma tiene inoltre conto sia dell'inclinazione dei pendii rispetto a quella dei raggi solari che degli effetti d'ombra presenti a causa dell'eventuale mascheramento provocato dall'orografia.

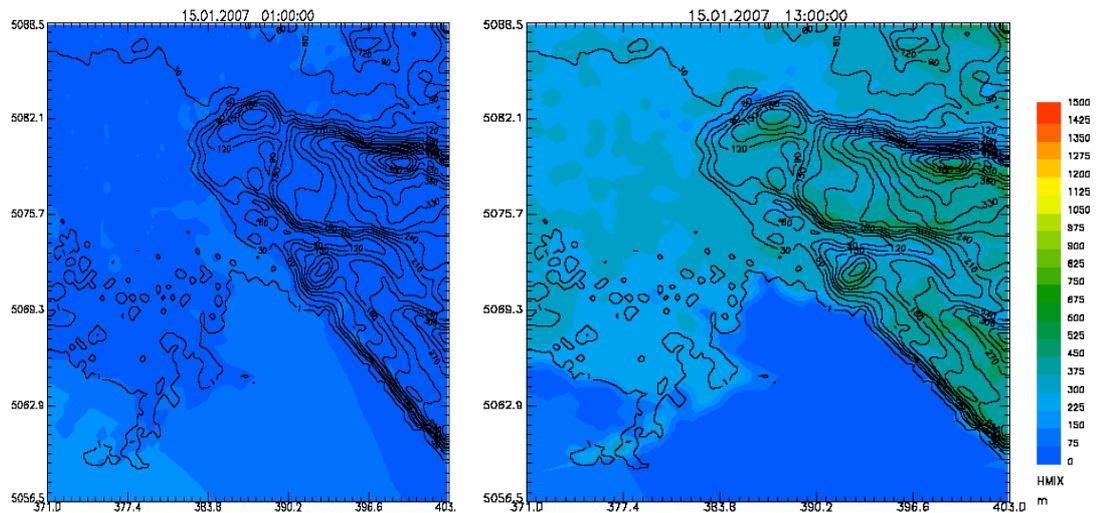
Nelle figure seguenti sono riportati rispettivamente i campi (bidimensionali) di  $u^*$ ,  $H_{mix}$ ,  $L$  e  $w^*$  alle ore 01:00 e 13:00 del giorno 15/1/2007, calcolati dal codice SurfPro.

Durante le ore notturne, i campi mostrano lo sviluppo di uno strato limite stabile di spessore molto limitato, caratterizzato da valori di  $u^*$  ovunque piuttosto piccoli, più elevati nelle zone urbanizzate e boschive caratterizzate da maggiore rugosità superficiale. L'atmosfera rimane instabile sulla superficie del mare.

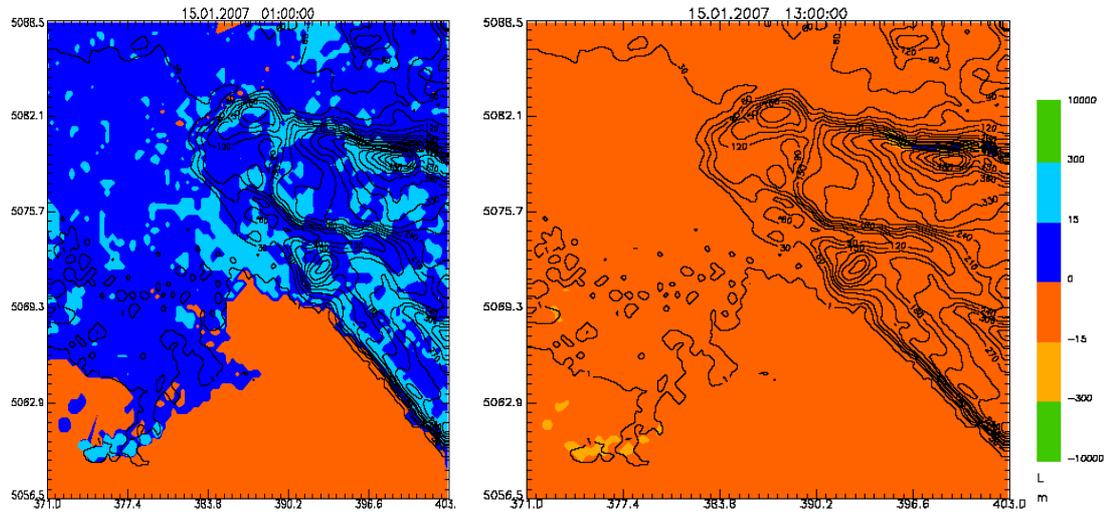
Durante le ore diurne, sulla terraferma si sviluppa uno strato limite instabile con spessore compreso tra 300 e 700 m, con velocità convettiva non trascurabile ma estremamente ridotta sulla superficie del mare.



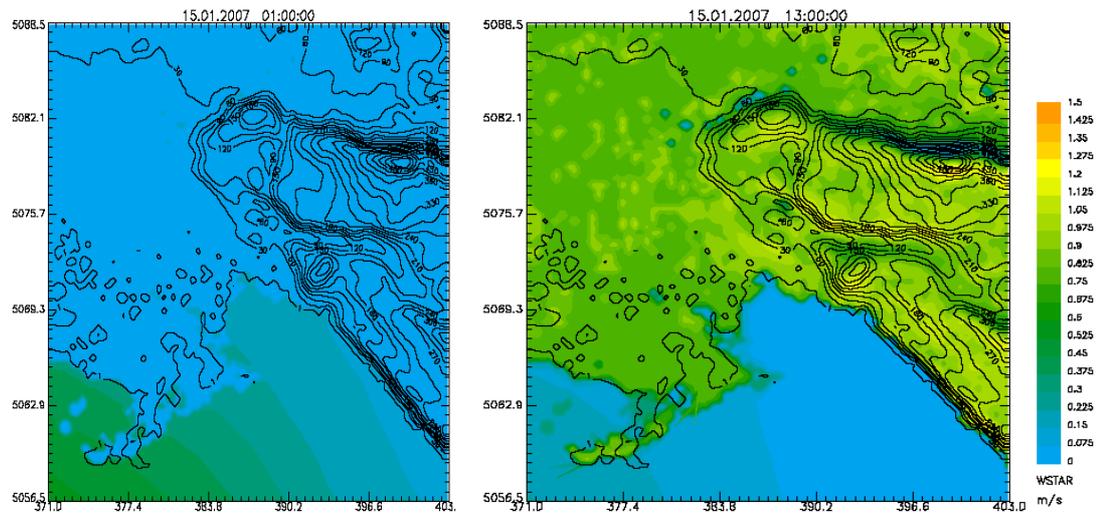
**Fig. - 17** Campi bidimensionali della velocità di frizione  $u^*$  calcolati il giorno 15/1/2007 alle ore 01:00 (a sinistra) e alle ore 13:00 (a destra). Valori in m/s, secondo la scala colorata.



**Fig. - 18** Campi bidimensionali dell'altezza di rimescolamento  $H_{mix}$  calcolati il giorno 15/1/2007 alle ore 01:00 (a sinistra) e alle ore 13:00 (a destra). Valori in m, secondo la scala colorata.



**Fig. - 19** Campi bidimensionali della lunghezza di Monin-Obukhov calcolati il giorno 15/1/2007 alle ore 01:00 (a sinistra) e alle ore 13:00 (a destra). Valori in m, secondo la scala colorata.

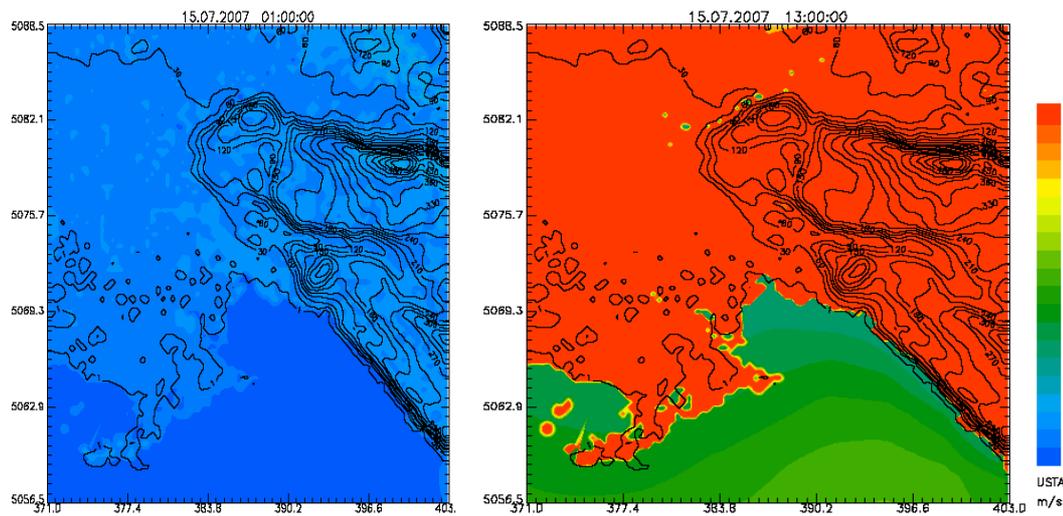


**Fig. - 20** Campi bidimensionali della velocità di scala convettiva  $w^*$  calcolati il giorno 15/1/2007 alle ore 01:00 (a sinistra) e alle ore 13:00 (a destra). Valori in m/s, secondo la scala colorata.

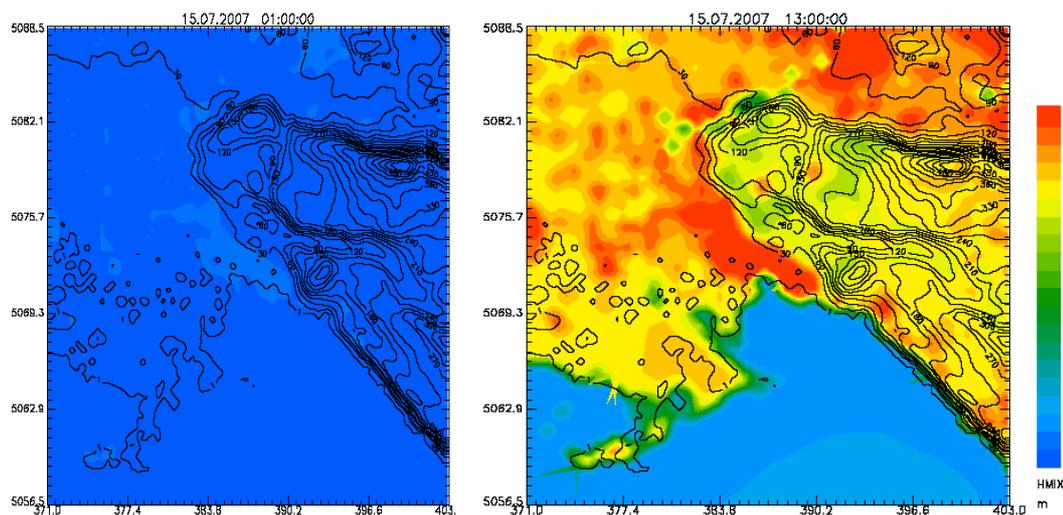
Nelle figure seguenti sono riportate le medesime figure dei campi (bidimensionali) di  $u^*$ ,  $H_{mix}$ ,  $L$  e  $w^*$  alle ore 01:00 e 13:00 del giorno 15/7/2007, calcolati dal codice SurfPro.

Durante le ore notturne, i campi mostrano lo sviluppo di uno strato limite estremamente limitato, caratterizzato da valori di  $u^*$  ovunque molto piccoli.

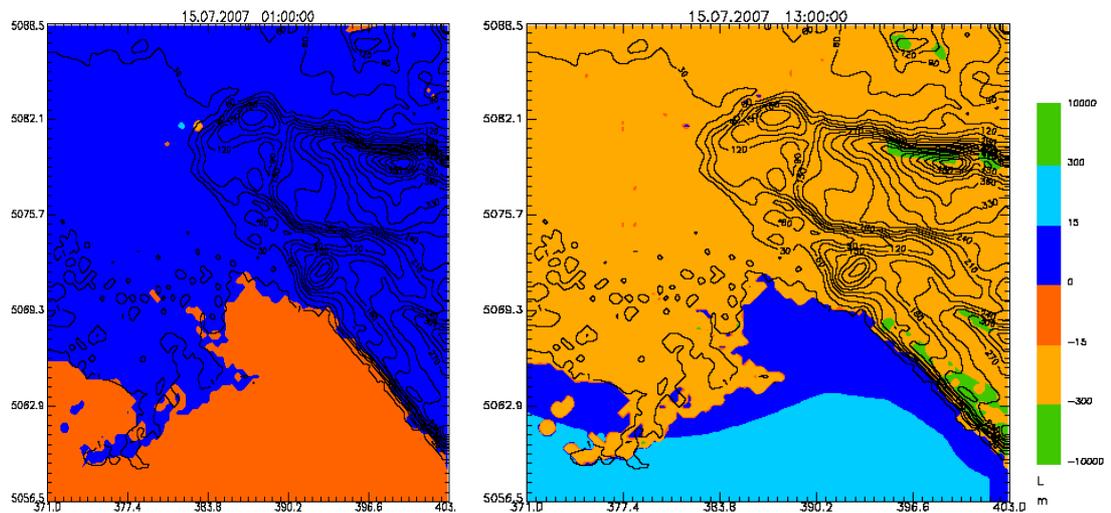
Durante le ore diurne, sulla terraferma si sviluppa uno strato limite altamente instabile con spessore compreso tra i 1000 e 1500 m. La velocità convettiva di scala sulla terra raggiunge valori di circa 2 m/s, in questo caso specifico, valore tipico di situazioni convettive.



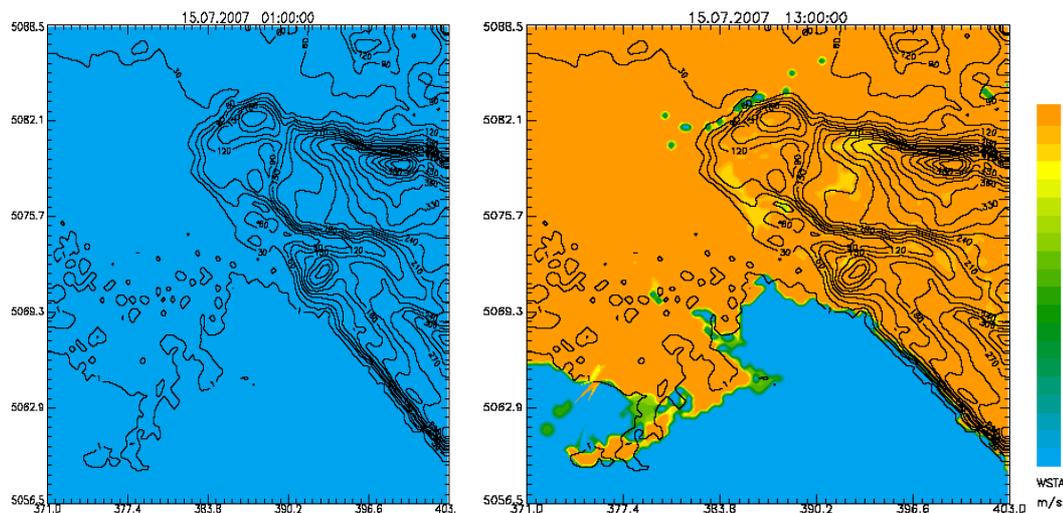
**Fig. - 21** Campi bidimensionali della velocità di frizione  $u^*$  calcolati il giorno 15/7/2007 alle ore 01:00 (a sinistra) e alle ore 13:00 (a destra). Valori in m/s, secondo la scala colorata.



**Fig. - 22** Campi bidimensionali dell'altezza di rimescolamento  $H_{mix}$  calcolati il giorno 15/7/2007 alle ore 01:00 (a sinistra) e alle ore 13:00 (a destra). Valori in m, secondo la scala colorata.



**Fig. - 23** Campi bidimensionali della lunghezza di Monin-Obukhov calcolati il giorno 15/7/2007 alle ore 01:00 (a sinistra) e alle ore 13:00 (a destra). Valori in m, secondo la scala colorata.



**Fig. - 24** Campi bidimensionali della velocità di scala convettiva  $w^*$  calcolati il giorno 15/7/2007 alle ore 01:00 (a sinistra) e alle ore 13:00 (a destra). Valori in m/s, secondo la scala colorata.

## 5.3 QUADRO EMISSIVO

Per la simulazione della dispersione degli inquinanti emessi dalla centrale a2a di Monfalcone, sono state considerate le sorgenti convogliate emesse attraverso un'unica ciminiera multi-canna. Per quanto riguarda le specie inquinanti sono state prese in considerazione le emissioni di ossidi totali di Azoto, SO<sub>2</sub>, e Polveri. Vengono considerati due scenari emissivi, il primo denominato Configurazione di Riferimento o *ante operam* nella quale sono in funzione contemporaneamente 4 gruppi generatori da 1 a 4, il secondo denominato Configurazione Futura o *post operam*, nella quale è prevista la messa fuori produzione dei gruppi 3 e 4 ed alcune modifiche per i gruppi 1 e 2 che rimangono in funzione, come evidenziato nel seguito. La Tab. 3 riporta la situazione emissiva della configurazione *ante operam* dei 4 gruppi, che confluiscono ciascuno in una canna differente del camino aventi i seguenti diametri:

- gruppi 1 e 2 = 3,5 m
- gruppi 3 e 4 = 4,7 m

Configurazione <i>Ante Operam</i> (Gruppi 1 2 3 4)									
Gruppo	Composizione dei fumi								
	Fumi secchi @O <sub>2</sub> rif (Nm <sup>3</sup> /h)	Velocità uscita (m/s)	Concentr. SO <sub>2</sub> (mg/Nm <sup>3</sup> )	Concentr. NOx (mg/Nm <sup>3</sup> )	Concentr. PTS (mg/Nm <sup>3</sup> )	Temperat. fumi °C	Rilasci SO <sub>2</sub> (kt/anno)	Rilasci NO <sub>x</sub> (kt/anno)	Rilasci PTS (kt/anno)
MF1	505.000	24,3	200	500	30	100	0,885	2,212	0,133
MF2	523.000	25,2	200	500	30	100	0,916	2,291	0,137
MF3	808.000	22,2	400	200	30	135	2,831	1,416	0,212
MF4	808.000	22,2	400	200	30	135	2,831	1,416	0,212
<b>Totale</b>							<b>7,463</b>	<b>7,335</b>	<b>0,694</b>

@ riferita al 6% di O<sub>2</sub> in eccesso per i gruppi 1 e 2 e 3% di O<sub>2</sub> in eccesso per i gruppi 3 e 4

Tabella - 3 Caratteristiche emissive della centrale - "configurazione di riferimento *ante operam*"

Per definire la situazione *post operam*, si considera il progetto di riconversione che consiste nella installazione di DeNOx sui gruppi esistenti 1 e 2, nella messa fuori produzione dei gruppi esistenti 3 e 4, alimentati a OCD.

La Tab. 4 riporta la situazione emissiva della configurazione *post operam* della centrale.

Configurazione futura <i>Post Operam</i> gruppi 1 e 2 (*)									
Gruppo	Composizione dei fumi								
	Fumi secchi @O <sub>2</sub> rif (Nm <sup>3</sup> /h) (*)	Velocità uscita (m/s)	Concentr. SO <sub>2</sub> (mg/Nm <sup>3</sup> )	Concentr. NOx (mg/Nm <sup>3</sup> )	Concentr. PTS (mg/Nm <sup>3</sup> ) (*)	Temp Fumi °C	Rilasci SO <sub>2</sub> (kt/anno)	Rilasci NO <sub>x</sub> (kt/anno)	Rilasci PTS (kt/anno)
MF1	505.000	24,3	200	200	20	100	0,885	0,885	0,088
MF2	523.000	25,2	200	200	20	100	0,916	0,916	0,092
<b>Totale</b>							<b>1,801</b>	<b>1,801</b>	<b>0,180</b>

@ riferita al 6% di O<sub>2</sub> in eccesso (\*) gruppi 1 e 2 adeguati per le nuove emissioni di NOx e polveri

**Tabella - 4** Caratteristiche emissive della centrale – “configurazione futura *post operam*”

In tab. 5 vengono inoltre indicati le riduzioni percentuali dei flussi di emissione per ciascuna delle specie considerate.

Emissioni	ante operam (g/s)	post operam (g/s)	ante operam Kt/anno(*)	post operam Kt/anno(*)	Riduzione % post operam/ ante operam
NOx	232,6	57,1	7,335	1,801	-75%
SO <sub>2</sub>	236,7	57,1	7,463	1,801	-76%
PTS	22,0	5,7	0,694	0,18	-74%

(\*)8760 ore/anno

**Tabella - 5** Emissioni quantitative e confronto situazioni *ante e post operam*

I flussi emissivi, rappresentati nelle tabelle precedenti, vengono considerati stazionari per tutto l'anno di riferimento, ipotizzando un funzionamento continuo per 8760 ore. Tale ipotesi è necessaria in quanto, oltre ai limiti alle concentrazioni medie annue, la normativa vigente fissa anche valori limite da non superare più di un certo numero di volte su un dato periodo (ore o giorni/anno) (valori percentili) delle concentrazioni medie orarie o giornaliere e quindi stabilisce il numero massimo di periodi nell'anno (giorni o ore) durante i quali le concentrazioni possono superare tali limiti. Dato l'esiguo numero di giorni o di ore previsto, una qualunque riduzione del periodo di indagine potrebbe comportare il rischio di eliminare le condizioni meteo più sfavorevoli e

falsare quindi significativamente le valutazioni. Per tale motivo le valutazioni effettuate sono da considerare cautelative.

Il camino emittente, di altezza pari a 150 m, ingloba come detto in precedenza le 4 canne che convogliano i fumi dei gruppi in funzione. La fig. 25 mostra una foto aerea che illustra le caratteristiche del camino, mettendo in evidenza le aperture relative alle 4 canne.



**Fig. - 25 Immagine aerea del camino della centrale a2a di Monfalcone**

In una tale situazione non è possibile considerare i pennacchi di fumo emessi dai diversi gruppi indipendenti tra di loro. La notevole vicinanza degli imbocchi delle canne è tale da poter considerare con ottima approssimazione i fumi emessi quasi immediatamente rimescolati. Dal punto di vista della risalita dei pennacchi sono state quindi ricalcolate le caratteristiche di un camino equivalente ovvero

diametro, velocità e temperatura di uscita. Queste caratteristiche sono differenti nelle due configurazioni (a causa dello spegnimento di due sezioni) e si riassumono nella seguente Tab.6.

Le temperature e velocità di uscita equivalenti nei due scenari sono calcolate considerando una media pesata sulle portate effettive per ciascun gruppo.

camini equivalenti nelle due configurazioni			
configurazione	Velocità uscita (m/s)	Temperatura uscita (°C)	Diametro equivalente (m)
<i>ante operam</i>	23.14	122.1	8.29
<i>post operam</i>	24.76	100	4.95

Tabella - 6 Caratteristiche dei camini equivalenti

## 5.4 CONFIGURAZIONE DEL SISTEMA MODELLISTICO

La suite di codici Swift/Minerve-SurfPro-SPRAY è stata utilizzata in una configurazione tale da ottenere simulazioni su scala climatologica annuale per l'intero anno 2007.

Il modello SPRAY, utilizzato nella versione 3.1, è sviluppato da ARIANET S.r.l. e ARIA Technologies S.A. (Tinarelli et al., 1994, 1999, 2007) è un codice lagrangiano a particelle tridimensionale per la simulazione della dispersione di inquinanti in atmosfera in grado di tenere conto delle variazioni del flusso e della turbolenza atmosferica sia nello spazio (condizioni disomogenee) che nel tempo (condizioni non stazionarie). È in grado di ricostruire campi di concentrazione determinati da sorgenti puntiformi, lineari, areali o volumetriche. L'inquinante è simulato da "particelle virtuali" il cui movimento è definito sia dal vento medio locale che da velocità casuali che riproducono le caratteristiche statistiche della turbolenza atmosferica. In questo modo, differenti parti del pennacchio emesso possono "vedere" differenti condizioni atmosferiche, permettendo simulazioni più realistiche in condizioni difficili da riprodurre con modelli tradizionali (calma di vento, inversione di temperatura con la quota, impatto con orografia complessa, dispersione in siti con forti discontinuità spaziali tipo terra-mare o città-campagna).

Il moto di ogni particella viene ricostruito utilizzando le equazioni:

$$x(t + \Delta t) = x(t) + u_x(t) \cdot \Delta t \quad ; \quad u_x(t) = \overline{U_x}(t) + u'_x(t)$$

$$y(t + \Delta t) = y(t) + u_y(t) \cdot \Delta t \quad ; \quad u_y(t) = \overline{U_y}(t) + u'_y(t)$$

$$z(t + \Delta t) = z(t) + u_z(t) \cdot \Delta t \quad ; \quad u_z(t) = \overline{U_z}(t) + u'_z(t)$$

dove x, y, z rappresentano le coordinate cartesiane di ogni singola particella nel dominio tridimensionale e  $u_x$ ,  $u_y$ ,  $u_z$  le componenti delle velocità, suddivise in parte media e fluttuazione turbolenta. La parte media, responsabile del

trasporto degli inquinanti, è ottenuta dal modello Swift/Minerve nel sistema di riferimento terrain-following  $x,y,s$ , in cui la coordinata verticale  $s$  è definita come:

$$s = \frac{z - z_g}{z_{top} - z_g}$$

dove  $z$  è la coordinata geometrica verticale,  $z_{top}$  l'altezza del dominio di calcolo e  $z_g(x,y)$  l'altezza dell'orografia. Le particelle interpolano linearmente il valore del vento nel punto  $x,y,z$  in cui si trovano utilizzando i valori di tali matrici. SPRAY 3.1 consente di simulare condizioni non stazionarie interpolando linearmente nel tempo il valore tra quelli di due matrici successive.

Le fluttuazioni turbolente  $u'_x$ ,  $u'_y$  e  $u'_z$ , responsabili della diffusione, sono determinate risolvendo le equazioni differenziali stocastiche di Langevin:

$$\dot{u}_i(t + \Delta t) = a_i(\vec{x}, \vec{u}(t), t) + b_i(\vec{x}, \vec{u}(t), t) \Delta \xi \quad ; \quad i = x, y, z$$

dove  $a$  e  $b$  sono funzioni della posizione e della velocità di ogni particella e dipendono dalle caratteristiche della turbolenza e dallo schema risolutivo utilizzato. SPRAY 3.1 implementa gli schemi indicati da Thomson (1984, 1987).

SPRAY 3.1 è in grado di simulare i fenomeni di deposizione secca ed umida. La deposizione secca viene simulata mediante un metodo di rimozione probabilistico orientato alla particella, derivato dalla soluzione dell'equazione di Fokker-Planck (Boughton et al., 1987) che impone una condizione al contorno al suolo tale da garantire, in ogni intervallo di tempo  $\Delta t$ , che il flusso di deposizione sia proporzionale alla concentrazione al suolo, secondo un coefficiente rappresentato dalla velocità di deposizione. La massa rimossa dalla particella viene accumulata nella cella sottostante consentendo il calcolo dei flussi di deposizione per ogni specie considerata.

La deposizione umida viene calcolata in presenza di precipitazione ipotizzando che, in ogni intervallo di tempo  $\Delta t$ , vi sia un decadimento o rimozione della massa di una specie associata alla particella secondo la legge esponenziale

$$m(t + \Delta t) = m(t)e^{-S\Delta t}$$

dove  $S$  è definito come coefficiente di washout, proporzionale alla precipitazione

$$S = S_1 R$$

$R$  rappresenta il rateo di precipitazione in mm/ora e  $S_1$  è il coefficiente standardizzato di washout, dipendente dalla specie o dalla granulometria di particolato e riferito alla precipitazione standard di 1 mm/ora.

Per pilotare una simulazione di dispersione che tenga anche conto dei fenomeni di deposizione secca e umida, il modello SPRAY 3.1 utilizza principalmente:

- campi tridimensionali di vento e temperatura, forniti dal codice Swift/Minerve;
- campi bidimensionali di turbolenza  $z_0$ ,  $H_{mix}$ ,  $u^*$ ,  $L$ ,  $w^*$  forniti dal codice SurfPro;
- campi bidimensionali di deposizione secca, disomogenei nello spazio e nel tempo e dipendenti dalla specie gassosa o dalla granulometria del particolato, forniti dal codice SurfPro;
- dati di emissione, costituiti da una sequenza di informazioni sulla loro geometria e localizzazione spaziale, sulle quantità in massa emesse per ciascuna delle specie inquinanti prese in considerazione nella simulazione e sul numero di particelle da utilizzare. Ad ogni particella viene attribuita una massa per ogni specie, dipendente dalle caratteristiche della sorgente nel momento in cui viene emessa, simulando in questo modo condizioni non stazionarie. Il modello tiene inoltre conto dell'eventuale risalita di pennacchi caldi emessi da ciminiere di impianti industriali.

Per completare la simulazione su base annua, i modelli vengono richiamati in cascata con frequenza oraria. All'interno di ogni ora vengono inserite nel dominio di calcolo per ogni sorgente un numero di particelle sufficienti per

garantire una risoluzione minima (contributo in concentrazione di una singola particella computazionale), per la specie NO<sub>x</sub>, inferiore a 1 µg/m<sup>3</sup> nelle celle per il calcolo della concentrazione al suolo, delle dimensioni di 400x400x10 m<sup>3</sup>.

Sono state calcolate matrici di concentrazione orarie per ciascuno dei due scenari *ante operam* e *post operam* e per ogni specie considerata (NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> e Polveri) considerando sia il complesso delle emissioni che i contributi separati per ciascuna sorgente. Ogni media oraria è costruita mediante 120 campionamenti dei pennacchi di particelle, effettuati alla frequenza fissa di 30 secondi.

Lo stato finale di ogni ora (posizioni, velocità e masse associate ad ogni particella) viene utilizzato per inizializzare il run dell'ora successiva. In questo modo la simulazione risulta essere continua durante tutto il periodo annuale descrivendo l'evoluzione spazio-temporale di ogni pennacchio emesso. Complessivamente vengono quindi prodotti 8760 campi di concentrazione suddivisi secondo quanto descritto in precedenza, a partire dal 1/1/2007 01:00 fino al 31/12/2007 24:00.

La sequenza temporale dei campi di concentrazione così ottenuta è stata utilizzata per calcolare i valori statistici di confronto con i limiti della normativa, caratteristici di ogni specie.

## 5.5 RISULTATI DELLE SIMULAZIONI

Vengono illustrati, nei paragrafi seguenti, i risultati ottenuti mediante le simulazioni di dispersione effettuate, suddivisi secondo le diverse specie studiate, considerando il totale dovuto alle emissioni complessive in ognuno dei due scenari.

Sono stati calcolati gli indicatori statistici fissati dalla attuale normativa sulla qualità dell'aria per gli inquinanti investigati. In aggiunta sono stati estratti i valori degli agenti inquinanti in corrispondenza dei sei principali centri abitati siti all'interno del dominio di calcolo. In Tabella 7 sono mostrate le coordinate dei punti di estrazione nel sistema di riferimento UTM fuso 33 (WGS84).

Sito	Coordinata E	Coordinata N
Monfalcone	386003	5073938
Doberdò sul Lago	386646	5077771
Duino-Aurisina	395745	5067580
Ronchi dei Legionari	383532	5075535
Staranzano	383441	5073555
S. Canzian d'Isonzo	379083	5074077

Tabella – 7 Coordinate in UTM 33 dei punti di estrazione delle concentrazioni simulate.

La figura 26 mostra il posizionamento geografico dei punti di estrazione considerati.

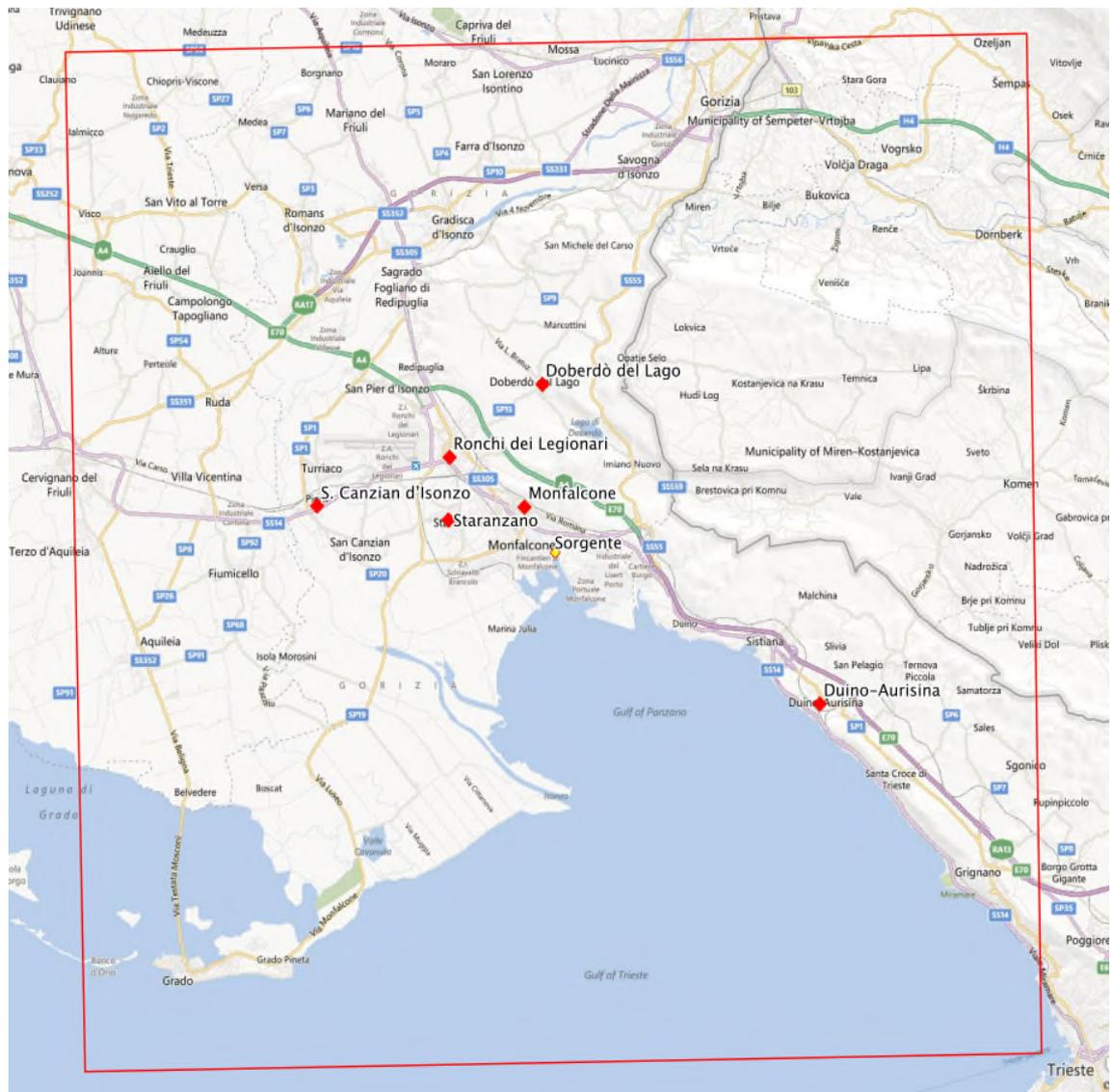


Fig. - 26 Posizione (simboli in rosso) dei punti di estrazione delle concentrazioni simulate.

### 5.5.1 OSSIDI DI AZOTO

Per quanto riguarda gli ossidi di azoto, il modello simula la dispersione del totale ( $\text{NO}_x$ ). Essendo normata soprattutto la componente biossido di azoto ( $\text{NO}_2$ ), è necessario estrarre quest'ultima componente dalle concentrazioni di  $\text{NO}_x$  totale. La ripartizione tra monossido e biossido di azoto dipende da

reazioni chimiche il cui effetto viene derivato utilizzando i dati orari di concentrazione di  $\text{NO}_x$  attraverso l'utilizzo di una relazione empirica, basata sull'analisi delle serie storiche sperimentali di  $\text{NO}_2/\text{NO}_x$  ricavate dalle stazioni appartenenti alla rete a2a di rilevamento della qualità dell'aria. La scelta delle stazioni (Monfalcone, Doberdò e Ronchi dei Legionari) da cui estrarre i dati necessari per l'elaborazione è stata effettuata a seguito dell'analisi delle mappe di ricaduta di  $\text{NO}_x$  per lo scenario ante operam.

Le serie storiche sperimentali di  $\text{NO}_2/\text{NO}_x$  relative alle tre stazioni selezionate consentono di calcolare i coefficienti di una curva interpolante (Derwent e Middleton, 1996, Dixon et al, 2000, rapporto FAIRMODE, [http://acm.eionet.europa.eu/reports/ETCACM\\_TP\\_2011\\_15\\_FAIRMODE\\_guide\\_modelling\\_NO2](http://acm.eionet.europa.eu/reports/ETCACM_TP_2011_15_FAIRMODE_guide_modelling_NO2)) che consente di derivare i valori medi orari di  $\text{NO}_2$  noti i valori delle concentrazioni di  $\text{NO}_x$ .

La Fig. 27 mostra l'andamento della curva interpolante calcolata, rappresentata dai simboli in rosso, mentre i simboli in blu rappresentano i valori sperimentali. I campi di concentrazione totali di  $\text{NO}_2$  vengono ottenuti attraverso l'applicazione della relazione descritta dalla curva.

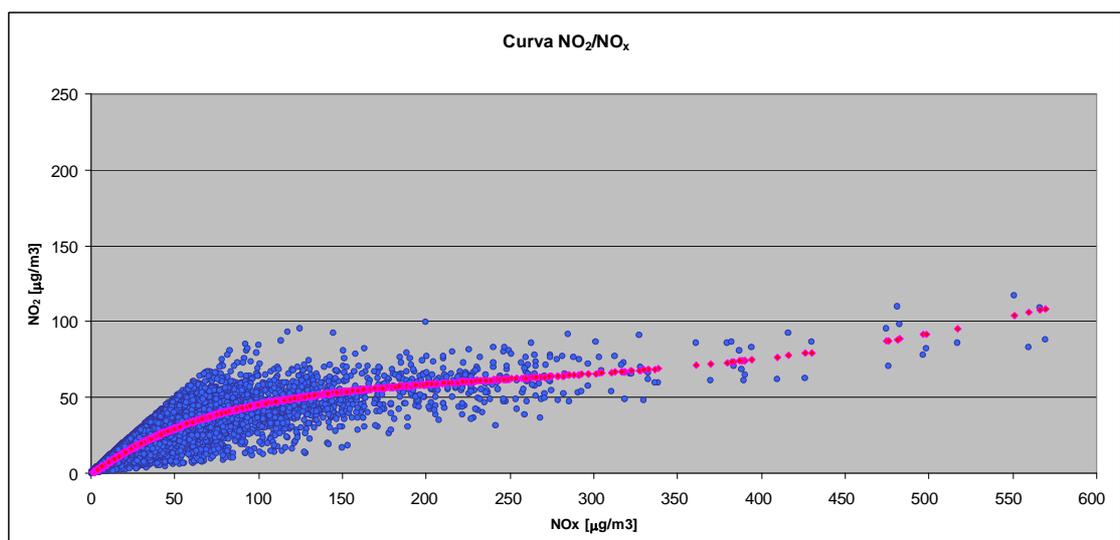


Fig. - 27

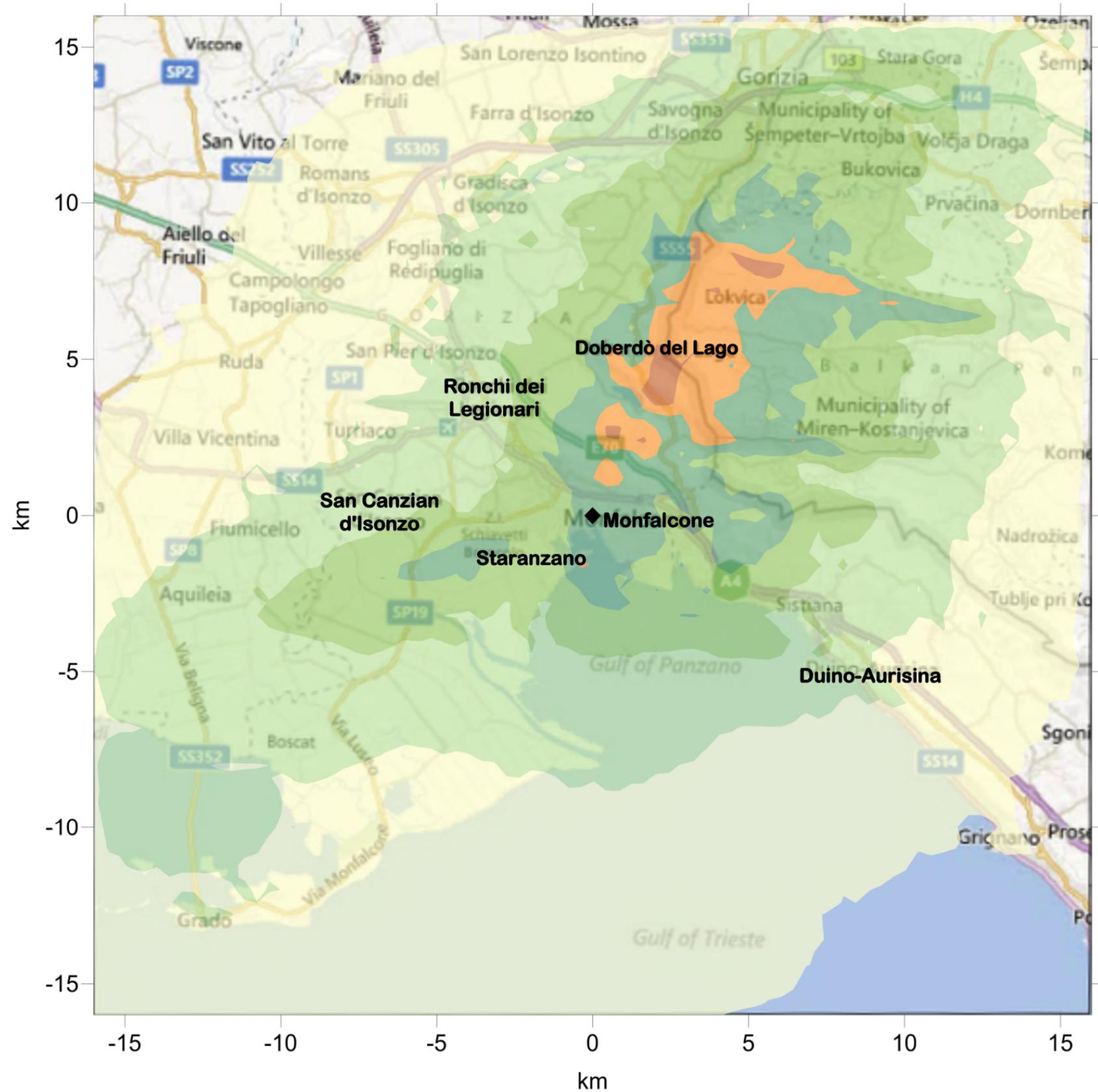
Curva interpolante  $\text{NO}_2/\text{NO}_x$  ricavata dalla regressione delle misure delle stazioni a2a di Monfalcone, Doberdò e Ronchi dei Legionari

La figura 28 mostra il campo della concentrazione media annuale al suolo di NO<sub>x</sub> generato dalle emissioni della centrale nella configurazione *ante operam*. I valori massimi sono di circa 1.75 µg/m<sup>3</sup> a Nord-Est dell'impianto ad una distanza di circa 5 km da esso. Ulteriori valori massimi secondari di intensità minore si ritrovano più a Nord in territorio sloveno e rappresentano l'impatto, causato dall'orografia, con i rilievi più elevati presenti in quella zona. Valori superiori a 1 µg/m<sup>3</sup> si ritrovano soprattutto in direzione Nord Nord-Est della centrale fino ad una distanza di circa 10 km da quest'ultima, mentre l'impatto verso la zona meridionale del dominio è soprattutto elongato verso Sud Ovest su valori mediamente inferiori a 0.75 µg/m<sup>3</sup>. Si ricorda che il limite di legge per questa specie, relativo alla protezione della vegetazione, è di 30 µg/m<sup>3</sup>, il contributo della centrale risulta essere quindi molto al di sotto di tale limite.

La figura 29 mostra il campo della concentrazione media annuale al suolo di NO<sub>x</sub> generato dalle emissioni della centrale nella configurazione *post operam*. Le caratteristiche spaziali di impatto sono simili a quelle del caso *ante operam* ma è evidente una riduzione dei valori al suolo, i massimi si riducono a 0.75 µg/m<sup>3</sup> e complessivamente si ha una riduzione di circa il 50%.

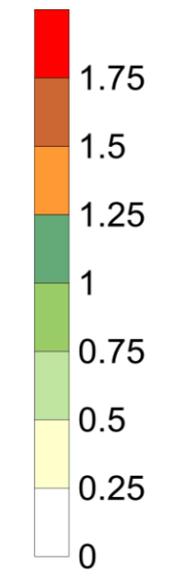
Le figure 30 e 31 mostrano rispettivamente i campi di concentrazione media annuale di NO<sub>2</sub> per il caso *ante operam* e *post operam* stimati sulla base delle simulazioni modellistiche. Nel caso *ante operam* il massimo sul dominio considerato è di 1.09 µg/m<sup>3</sup> contro un limite legislativo di 40 µg/m<sup>3</sup>, mentre nel caso *post operam* il massimo si riduce a 0.44 µg/m<sup>3</sup>.

Le figure 32 e 33 mostrano rispettivamente i campi del 99.8 percentile delle medie orarie della concentrazione di NO<sub>2</sub> per il caso *ante operam* e *post operam* stimati sulla base delle simulazioni modellistiche. Nel caso *ante operam* il massimo sul dominio considerato è di poco oltre 36 µg/m<sup>3</sup>

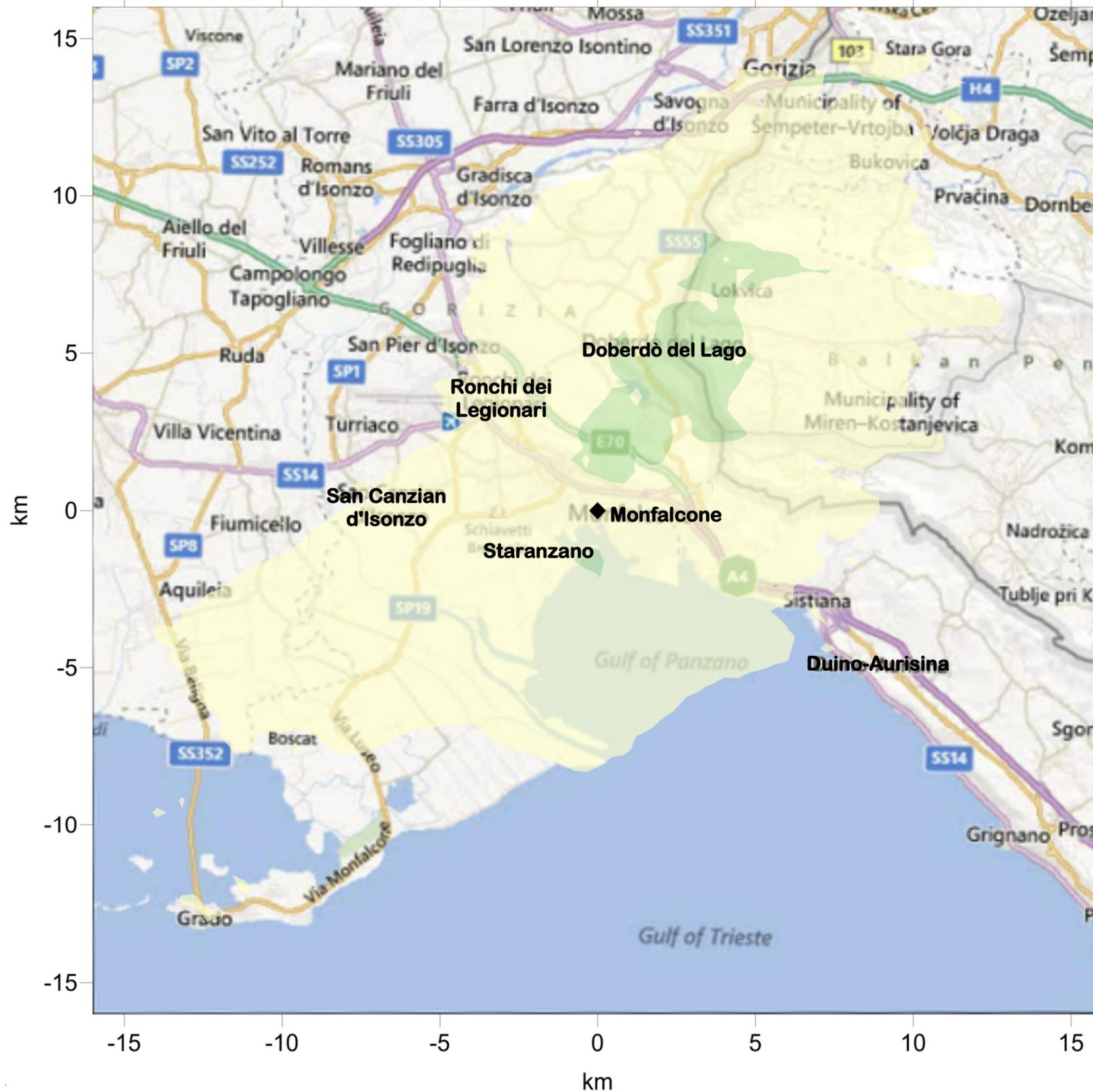


**LEGENDA**

◆ sito  
 Concentrazione ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )  
 Valore massimo  $1.75 \mu\text{g}/\text{m}^3$   
 Coordinate punto massimo: (2.200, 4.200) km  
 Limite normativo  $30.00 \mu\text{g}/\text{m}^3$   
 (protezione della vegetazione)



**Fig. 28**  
 Contributo della centrale alle concentrazioni al suolo:  
 concentrazioni medie annue di NOx.:  
 Configurazione ante operam.



LEGENDA

◆ sito  
 Concentrazione ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )  
 Valore massimo  $0.75 \mu\text{g}/\text{m}^3$   
 Coordinate punto massimo: (2.200, 4.200) km  
 Limite normativo  $30.00 \mu\text{g}/\text{m}^3$   
 (protezione della vegetazione)

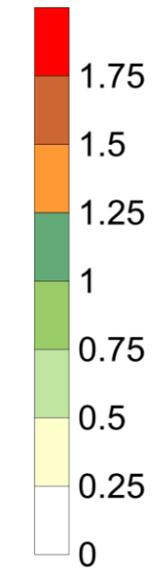
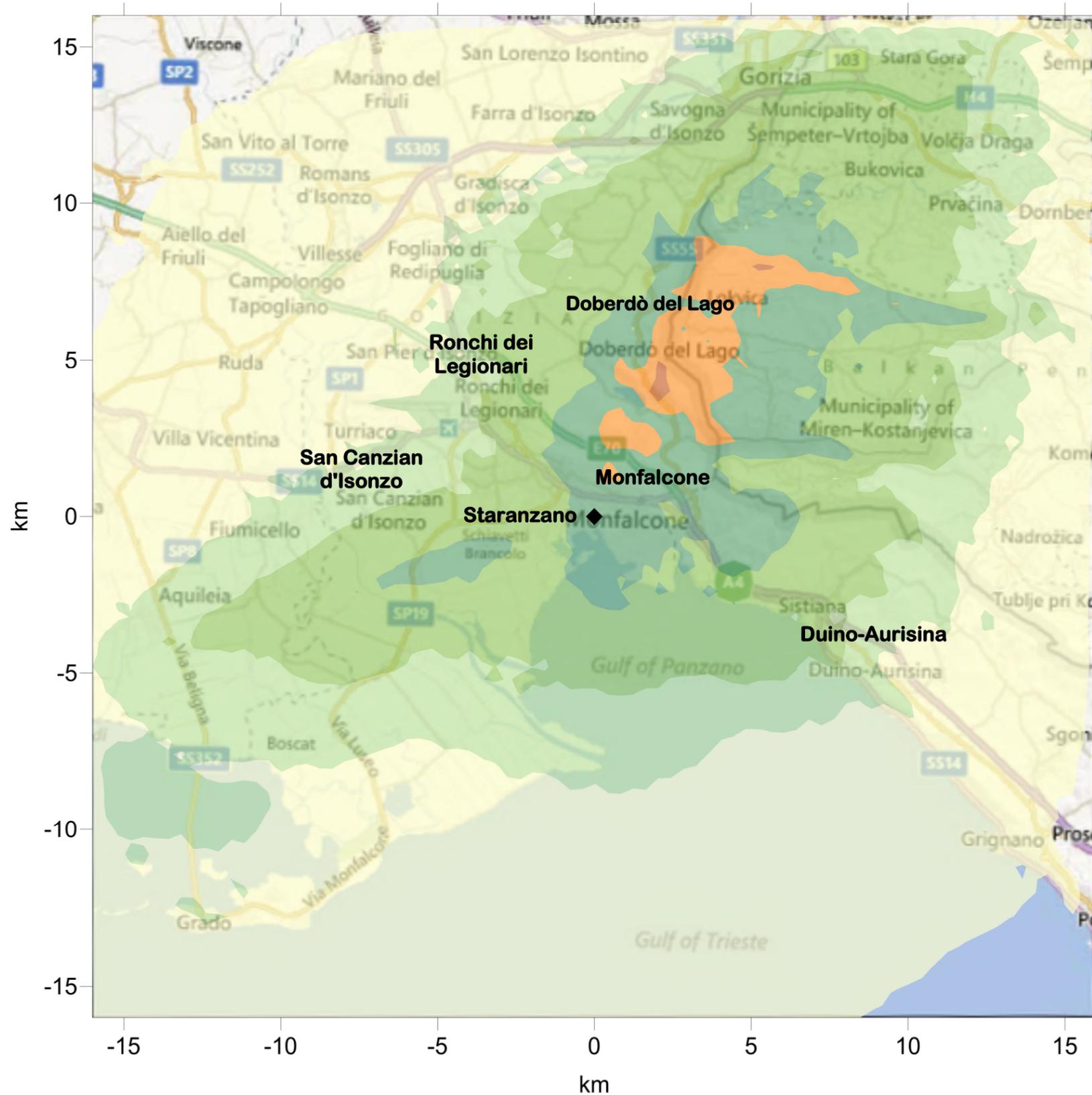


Fig. 29  
 Contributo della centrale alle concentrazioni al suolo:  
 concentrazioni medie annue di NOx.  
 Configurazione post operam.



### LEGENDA

◆ sito  
 Concentrazione ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )  
 Valore massimo 1.09  $\mu\text{g}/\text{m}^3$   
 Coordinate punto massimo: (2.200, 4.200) km  
 Limite normativo 40.00  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

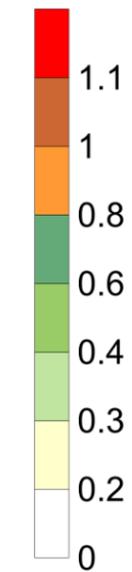


Fig. 30  
 Contributo della centrale alle concentrazioni al suolo:  
 concentrazioni medie annue di  $\text{NO}_2$ .  
 Configurazione ante operam

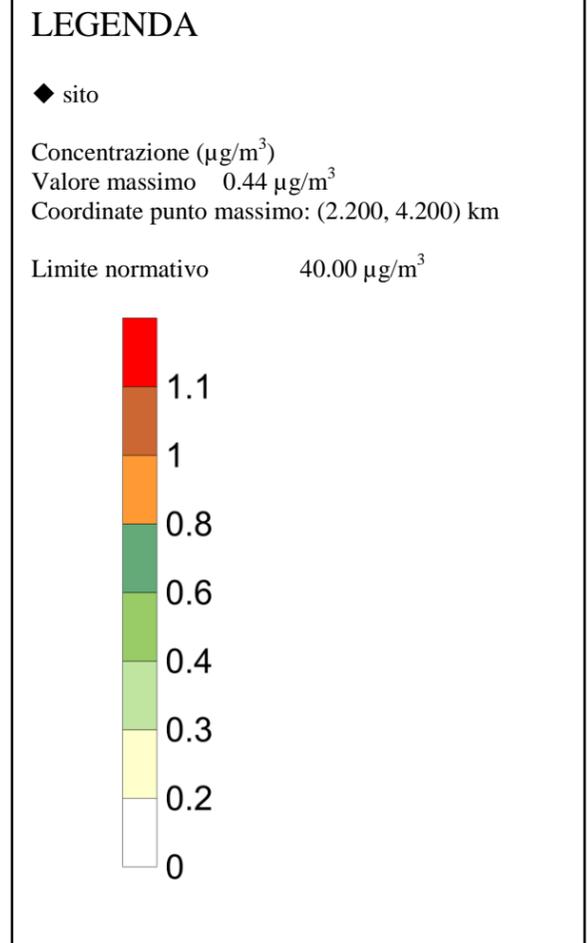
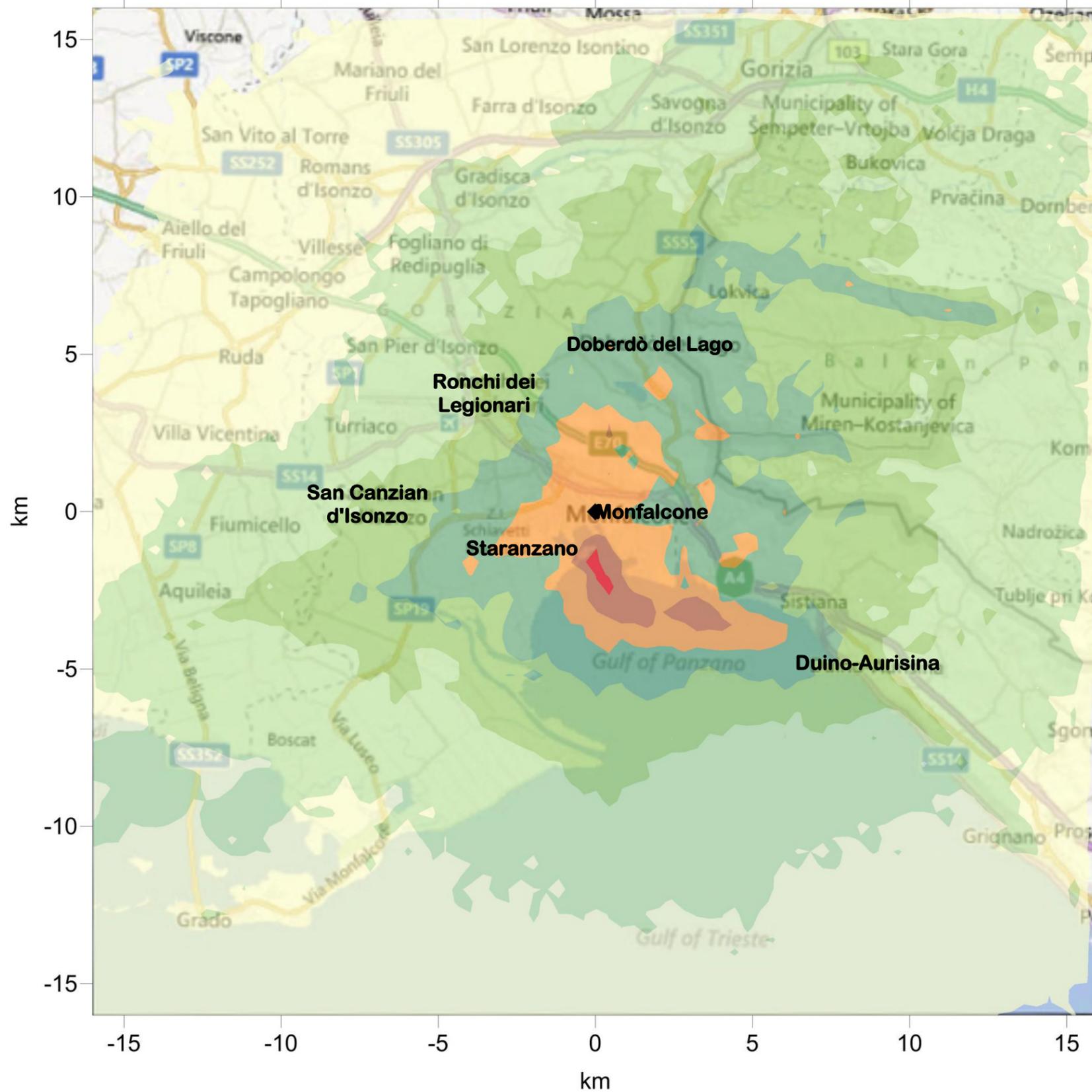


Fig. 31  
 Contributo della centrale alle concentrazioni al suolo:  
 concentrazioni medie annue di  $\text{NO}_2$ .  
 Configurazione post operam



### LEGENDA

◆ sito  
 Concentrazione ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )  
 Valore massimo  $36.05 \mu\text{g}/\text{m}^3$   
 Coordinate punto massimo: (0.600, -2.200) km  
 Limite normativo  $200.00 \mu\text{g}/\text{m}^3$

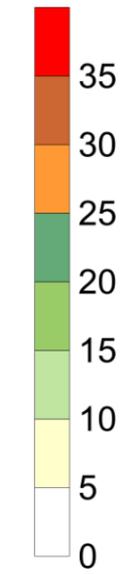


Fig. 32  
 Contributo della centrale alle concentrazioni al suolo: 99.8  
 percentile delle concentrazioni orarie di  $\text{NO}_2$ .  
 Configurazione ante operam

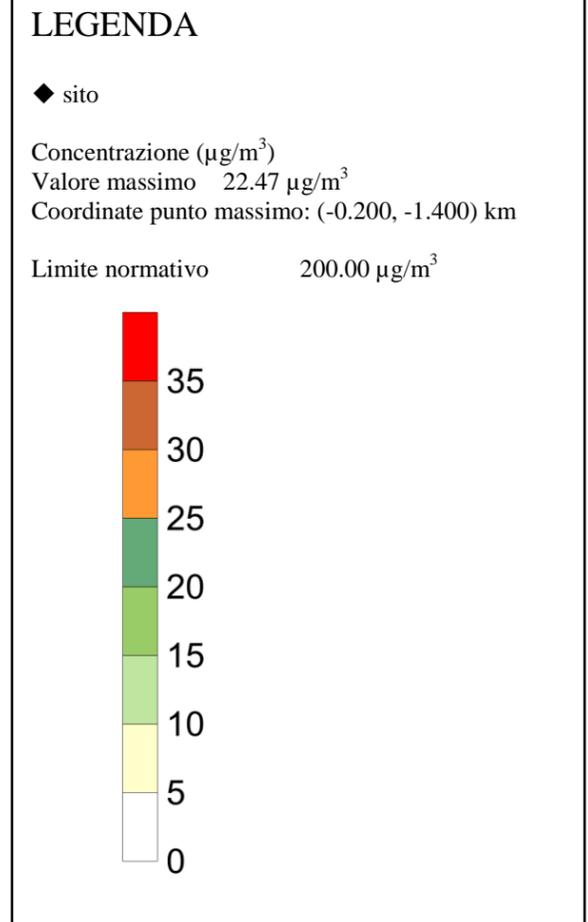


Fig. 33  
 Contributo della centrale alle concentrazioni al suolo: 99.8  
 percentile delle concentrazioni orarie di  $\text{NO}_2$ .  
 Configurazione post operam.

contro un limite legislativo di  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , localizzato in direzione Sud rispetto all'impianto, sul mare. Verso l'interno, in direzione Nord, vi è una zona che presenta valori compresi tra  $25$  e  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , mentre valori compresi tra  $20$  e  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  si estendono per circa  $6$  km, se si esclude la fascia visibile di impatto orografico a Nord-Est in territorio sloveno.

Nel caso *post operam* il valore massimo, localizzato sempre a Sud sul mare a ridosso della costa, si riduce a  $22.47 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ed è ben visibile la riduzione complessiva di impatto rispetto al caso *ante operam*.

Per consentire un'analisi puntuale più diretta dell'impatto simulato nella zona, nelle Tabelle 8 e 9 sono mostrati i valori degli indicatori statistici per le concentrazioni di  $\text{NO}_x$  e  $\text{NO}_2$  in corrispondenza dei principali centri abitati siti all'interno del dominio di calcolo (vedi Tabella 7) nelle due configurazioni *ante operam* e *post operam*.

Indicatore	Configurazione	Monfalcone	Doberdò	Duino	Ronchi dei Legionari	Staranzano	S. Canzian d'Isonzo
Concentrazione media annuale	Ante operam	0.98	0.95	0.55	0.68	0.71	0.55
	Post operam	0.43	0.40	0.18	0.30	0.31	0.23

**Tabella - 8** Valori degli indicatori statistici per i contributi dell'impianto alle concentrazioni di  $\text{NO}_x$ , in corrispondenza dei centri abitati siti nel dominio di calcolo (valori in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Indicatore	Configurazione	Monfalcone	Doberdò	Duino	Ronchi dei Legionari	Staranzano	S. Canzian d'Isonzo
Concentrazione media annuale	Ante operam	0.60	0.58	0.34	0.41	0.43	0.33
	Post operam	0.25	0.23	0.10	0.17	0.18	0.13
99.8° perc. delle medie orarie	Ante operam	26.34	22.88	17.52	16.52	20.65	13.15
	Post operam	12.03	10.08	5.38	8.23	9.00	4.78

**Tabella - 9** Valori degli indicatori statistici per i contributi dell'impianto alle concentrazioni di  $\text{NO}_2$ , in corrispondenza dei centri abitati siti nel dominio di calcolo (valori in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Le tabelle mostrano valori molto al di sotto dei limiti legislativi per tutti gli indicatori calcolati, sia nel caso *ante operam* che nel caso *post operam*. I livelli più elevati si ritrovano nella zona di Monfalcone, che presenta comunque valori

circa doppi rispetto alla postazione caratterizzata dai valori più bassi, ovvero S.Canzian di Isonzo. Le riduzioni che si ottengono nel nuovo scenario emissivo sono di poco oltre il 50% rispetto al caso *ante operam*.

In particolare, per gli Ossidi di Azoto totali il cui limite per la protezione della vegetazione è di  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , l'impatto massimo per la situazione *ante operam* è di  $1.75 \mu\text{g}/\text{m}^3$  che si riduce a poco più del 40% nella situazione *post operam*. Tale percentuale di riduzione è simile per tutti gli altri indicatori delle specie prese in considerazione.

Per gli altri indicatori relativi al Biossido di Azoto i valori simulati nel caso *ante operam* risultano molto al di sotto dei limiti legislativi sui livelli massimi simulati nel dominio, meno di 1/30 rispetto al limite per la media annuale e meno di 1/5 per il 99.8 percentile delle medie orarie. Mentre il pattern del primo indicatore mostra i massimi a Nord Nord-Est dell'impianto, i valori estremi si trovano invece localizzati sul mare in prossimità della costa. Valori estratti in alcuni punti significativi in corrispondenza dei principali centri abitati della zona mostrano livelli ancora più bassi, e più significativi nella zona di Monfalcone.

### 5.5.2 SO<sub>2</sub>

La figura 34 mostra il campo della concentrazione media annuale al suolo di SO<sub>2</sub> generato dalle emissioni della centrale nella configurazione *ante operam*. I valori massimi sono di circa  $1.79 \mu\text{g}/\text{m}^3$  mostrando un andamento spaziale simile a quello identificato per le medie annuali degli ossidi totali di azoto. Il valore di concentrazione massimo leggermente superiore a quello simulato per la specie NO<sub>x</sub> è consistente con il rapporto all'emissione esistente tra SO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub>. Il limite legislativo è di  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  per cui anche per questa specie i valori generati dalle emissioni della centrale risultano essere molto inferiori.

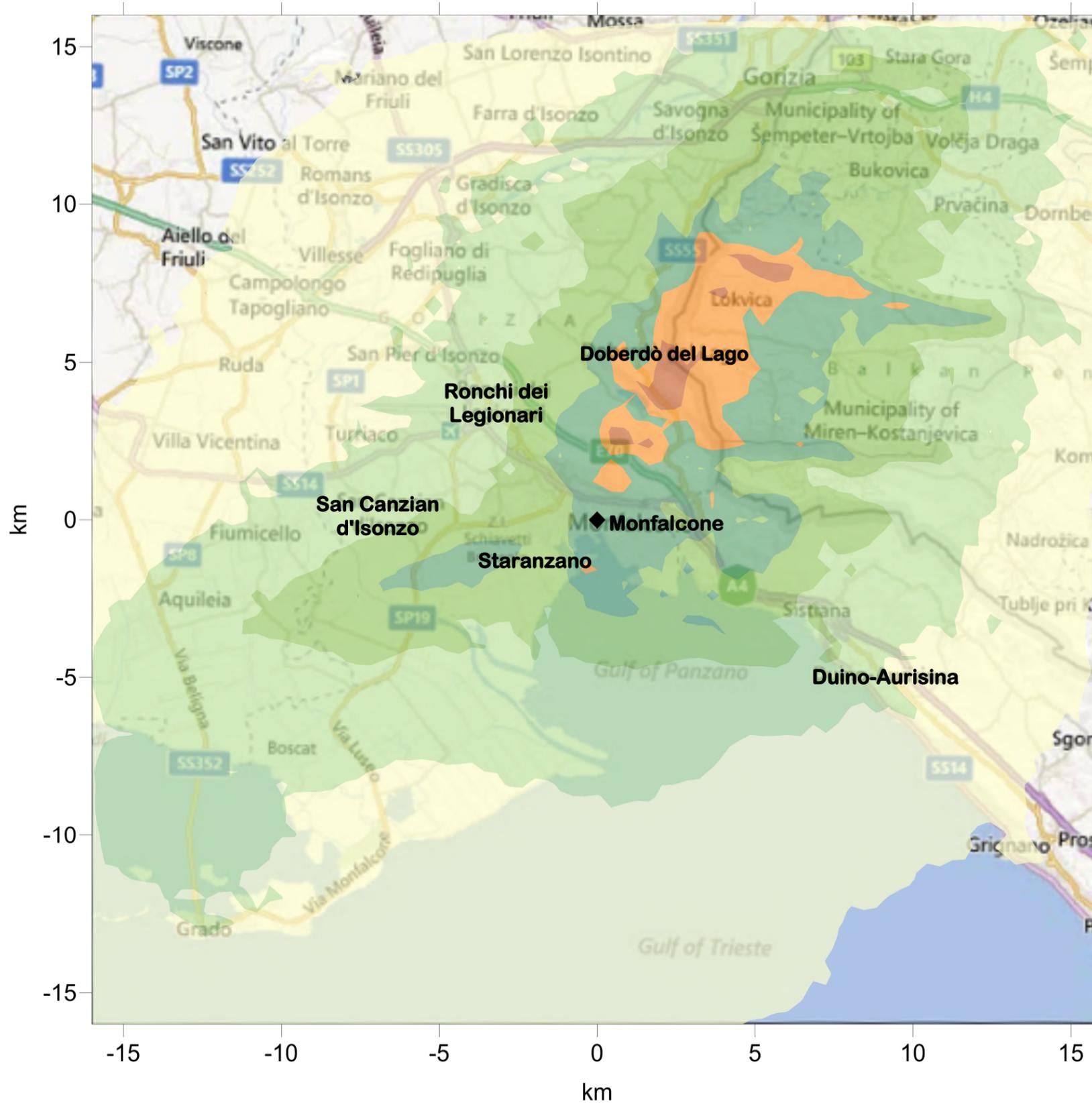
La figura 35 mostra il campo della concentrazione media annuale al suolo di SO<sub>2</sub> generato dalle emissioni della centrale nella configurazione *post operam*. I valori massimi sono di  $0.75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , in linea con le riduzioni ottenute per la

specie NO<sub>x</sub> e con le riduzioni all'emissione di SO<sub>2</sub>. Le figure 36 e 37 riportano rispettivamente il campo della concentrazione media invernale (da ottobre a marzo) al suolo di SO<sub>2</sub> *ante operam* e *post operam*. Nel caso *ante operam*, i valori massimi risultano di 1.50 µg/m<sup>3</sup>, leggermente inferiori rispetto alla media annuale. Il campo risultante presenta un pattern più spostato verso Nord con una zona contraddistinta da valori superiori a 1 µg/m<sup>3</sup> delle dimensioni orizzontali di circa 4-5 km che si estende fino alla Slovenia, intorno alla zona di Doberdò del Lago e a circa 5 km dalla sorgente. Nel caso *post operam* il valore massimo diminuisce portandosi a 0.7 µg/m<sup>3</sup>.

Le figure 38 e 39 riportano rispettivamente il campo del 99.2 percentile della concentrazione media giornaliera al suolo di SO<sub>2</sub> *ante operam* e *post operam*.

Il valore massimo nel caso *ante operam* è di 28.35 µg/m<sup>3</sup>, meno di 1/4 rispetto al valore limite legislativo di 125. Il pattern al suolo presenta la zona con valori più elevati sul mare lungo la costa a Sud-Est della sorgente verso Trieste a circa 5 km dalla centrale. Nel resto del dominio, i valori non superano il livello di 20 µg/m<sup>3</sup>. Nel caso *post operam*, il massimo si riduce a 12.9 µg/m<sup>3</sup> sempre localizzato nella zona sul mare a Sud-Est della centrale.

Le figure 39 e 40 riportano rispettivamente il campo del 99.7 percentile della concentrazione media oraria al suolo di SO<sub>2</sub> *ante operam* e *post operam*. Nella configurazione *ante operam* il valore massimo è di 58.53 µg/m<sup>3</sup>, circa 1/6 rispetto al limite legislativo di 350 µg/m<sup>3</sup> localizzato sul mare a Sud della centrale non lontano dalla costa. Valori superiori a 30 µg/m<sup>3</sup> si ritrovano in un'area avente un'estensione orizzontale di circa 10x10 km<sup>2</sup>



**LEGENDA**

◆ Sito  
 Concentrazione ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )  
 Valore massimo 1.79  $\mu\text{g}/\text{m}^3$   
 Coordinate punto massimo: (2.200, 4.200) km  
 Limite normativo 20.00  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

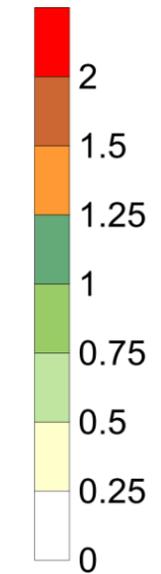
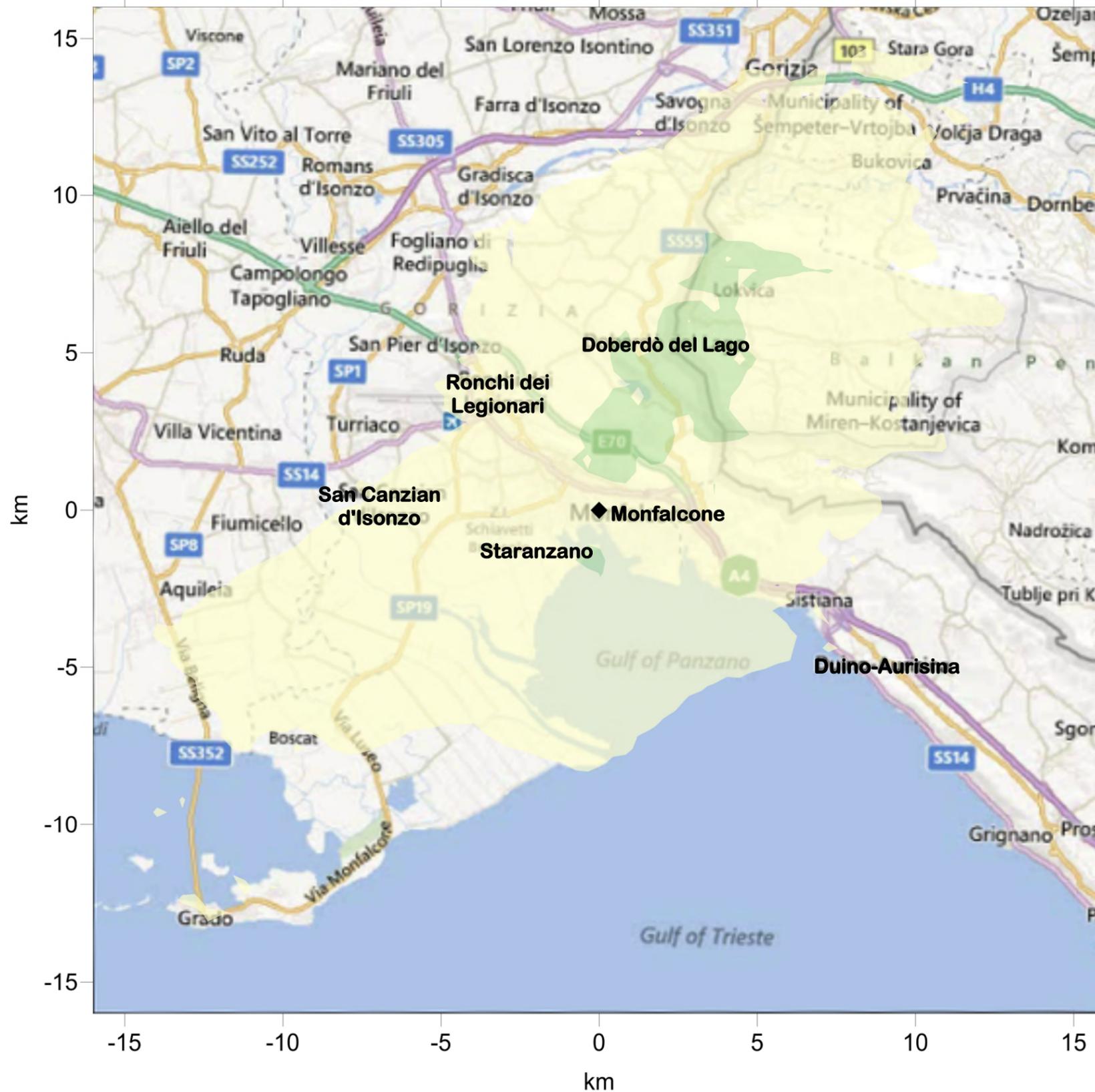


Fig. 34  
 Contributo della centrale alle concentrazioni al suolo:  
 concentrazioni medie annue di  $\text{SO}_2$ .  
 Configurazione ante operam.



**LEGENDA**

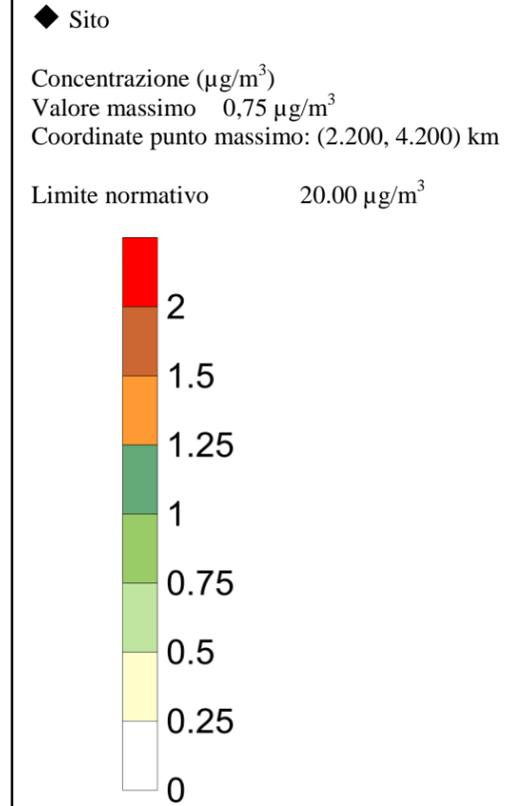
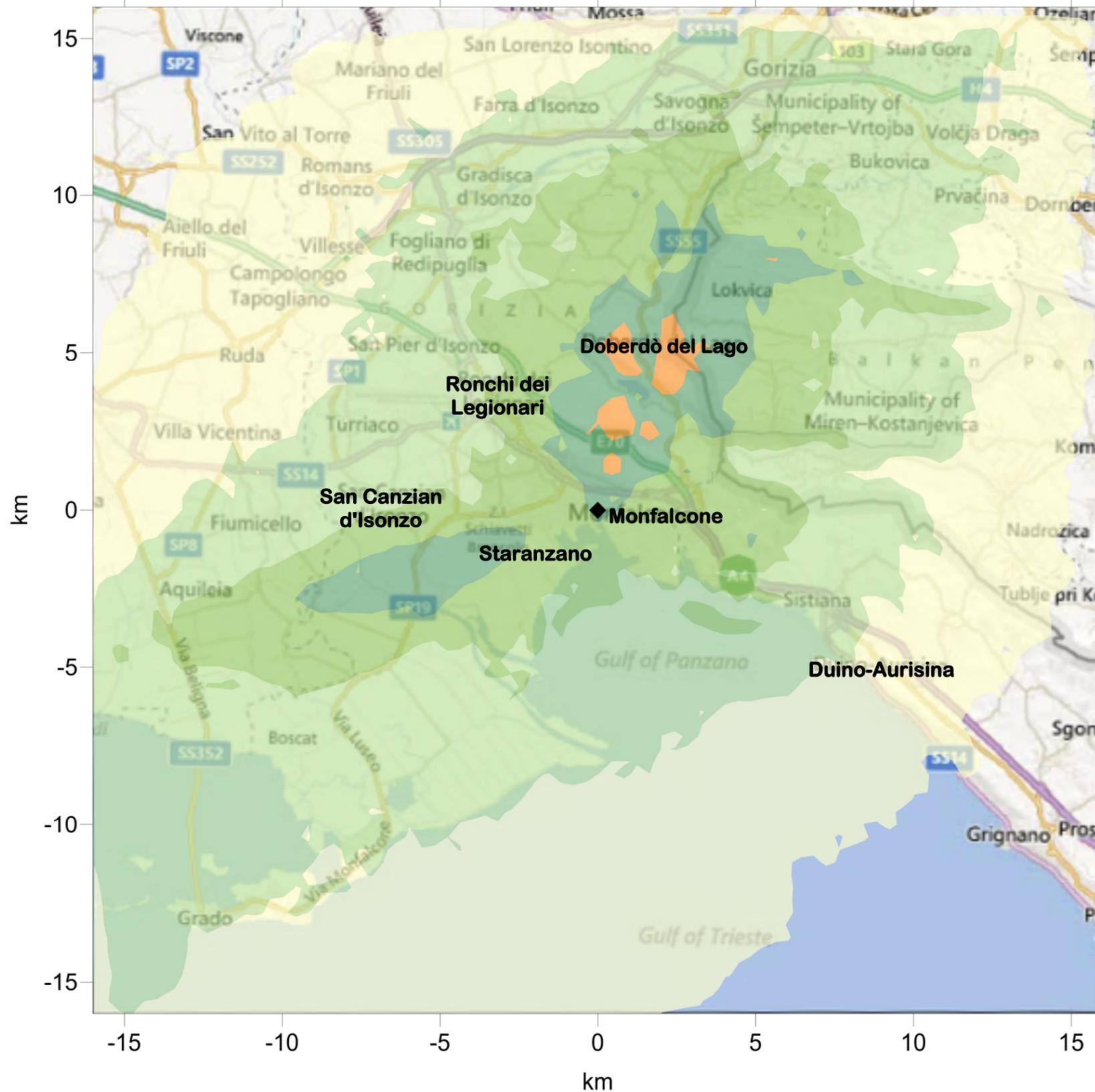


Fig. 35  
 Contributo della centrale alle concentrazioni al suolo:  
 concentrazioni medie annue di  $\text{SO}_2$ .  
 Configurazione post operam.



**LEGENDA**

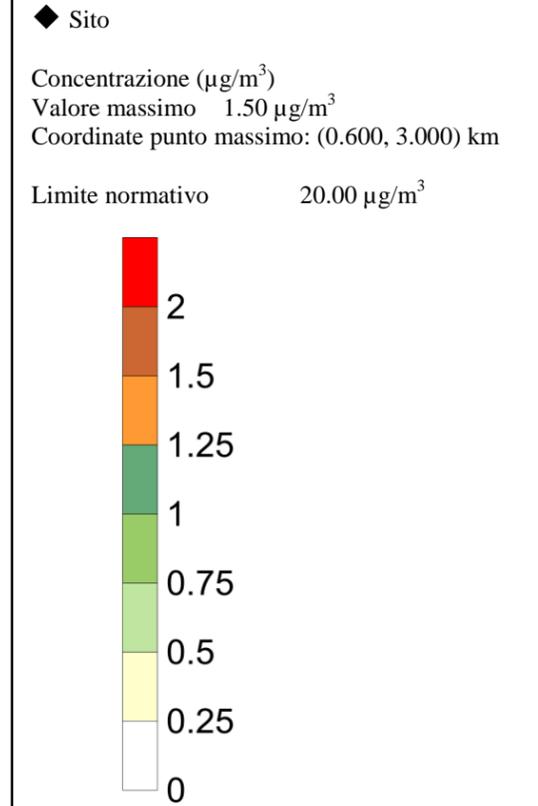


Fig. 36  
 Contributo della centrale alle concentrazioni al suolo:  
 concentrazioni medie invernali (1/10. - 31/3) di  $\text{SO}_2$ .  
 Configurazione ante operam



**LEGENDA**

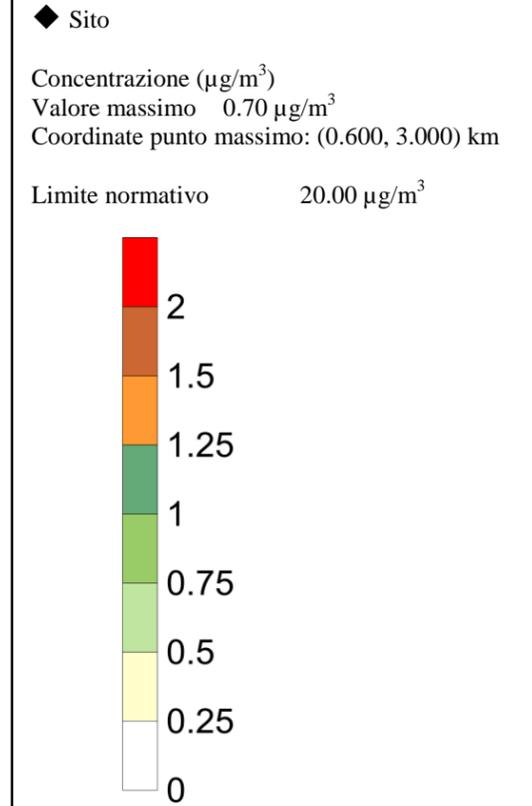


Fig. 37  
 Contributo della centrale alle concentrazioni al suolo:  
 concentrazioni medie invernali (1/10 – 31/3) di  $\text{SO}_2$ .  
 Configurazione post operam

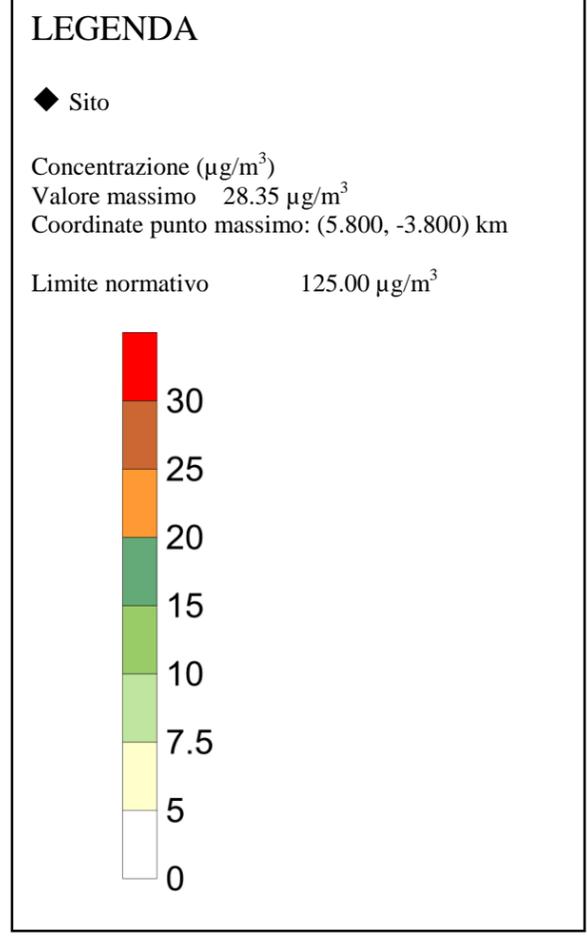
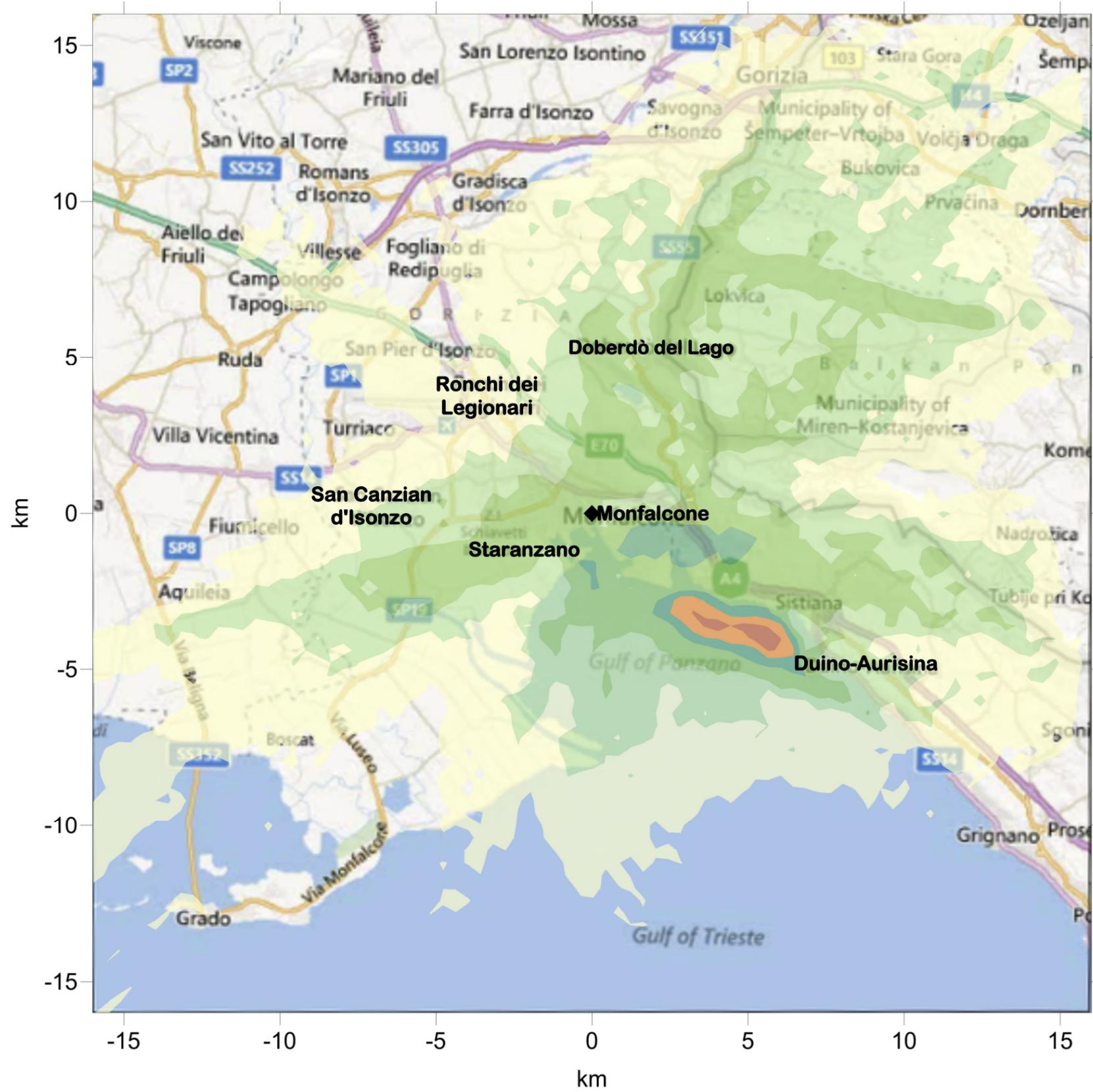


Fig. 38  
 Contributo della centrale alle concentrazioni al suolo: 99.2  
 percentile delle conc. medie giornaliere di  $\text{SO}_2$ .  
 Configurazione ante operam.

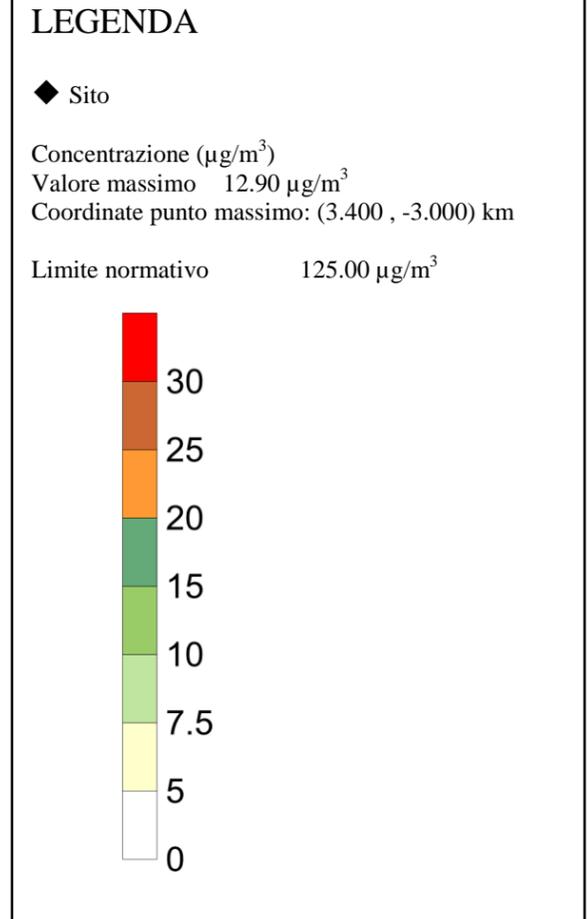
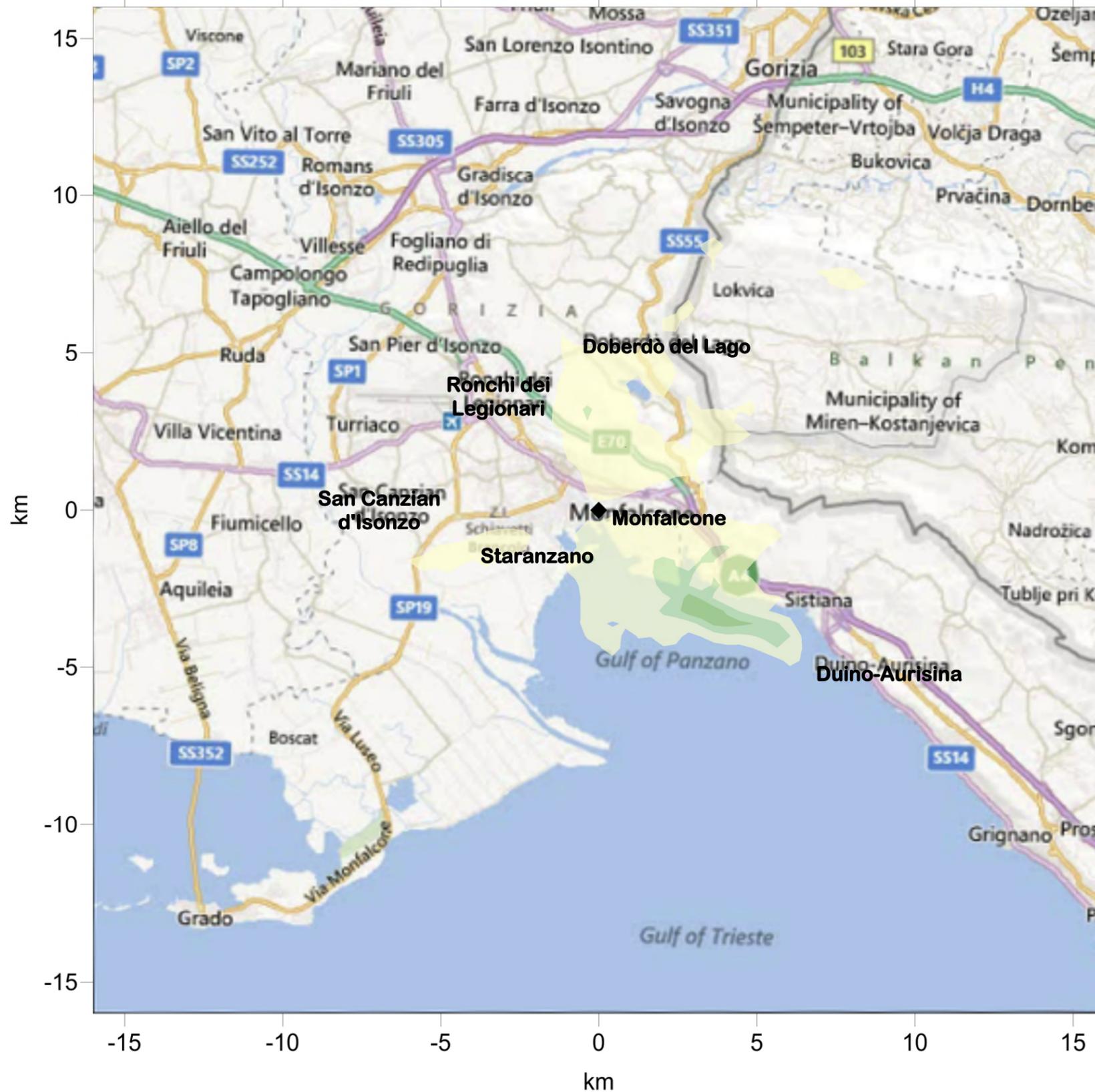
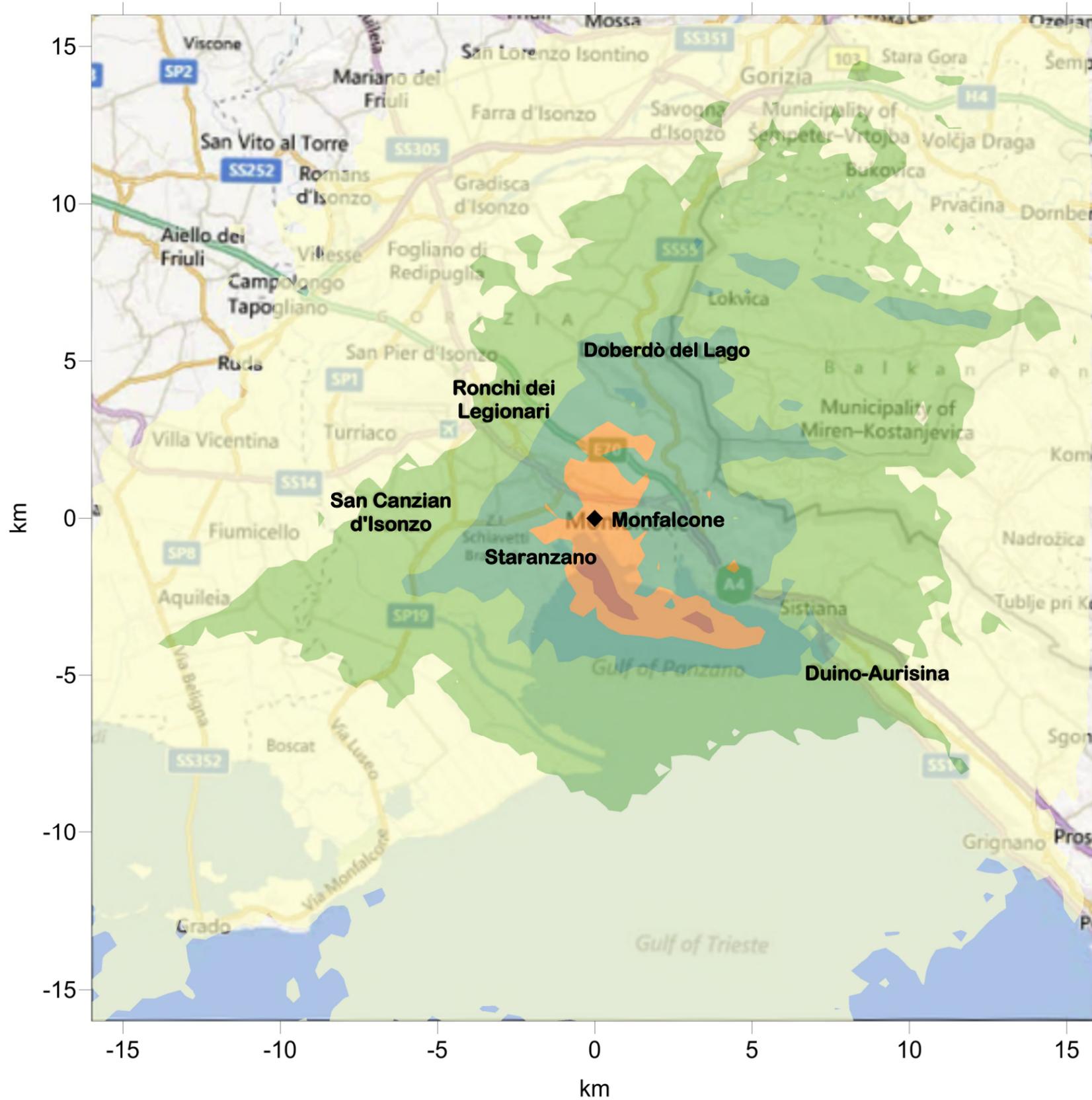


Fig. 39  
 Contributo della centrale alle concentrazioni al suolo: 99.2  
 percentile delle conc. medie giornaliere di  $\text{SO}_2$ .  
 Configurazione post operam.



### LEGENDA

◆ Sito

Concentrazione ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

Valore massimo  $58.83 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Coordinate punto massimo: (0.600, -2.200) km

Limite normativo  $350.00 \mu\text{g}/\text{m}^3$

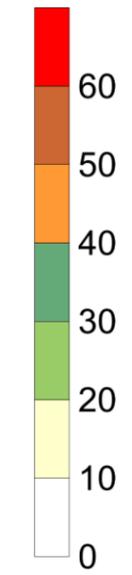


Fig. 40  
 Contributo della centrale alle concentrazioni al suolo: 99.7  
 percentile delle concentrazioni medie orarie di SO<sub>2</sub>.  
 Configurazione ante operam

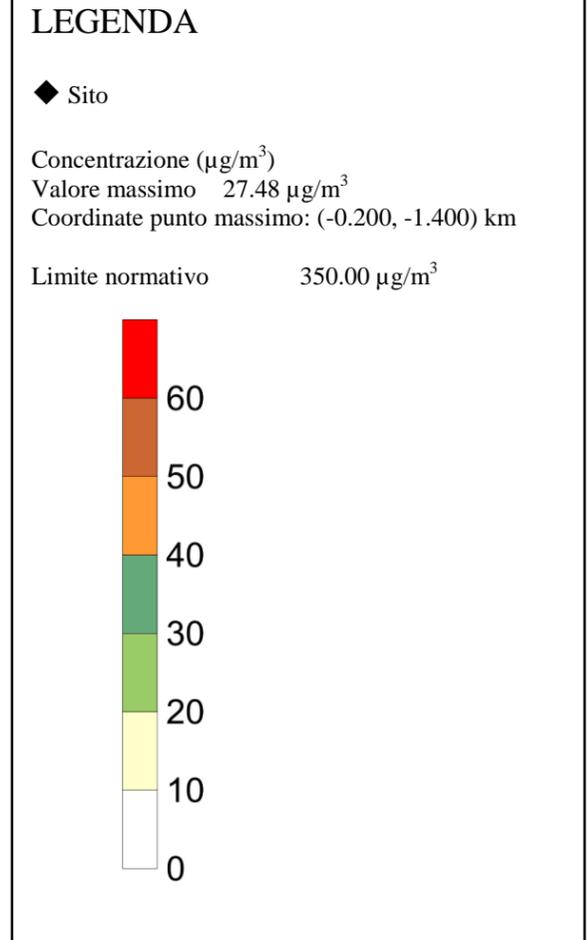
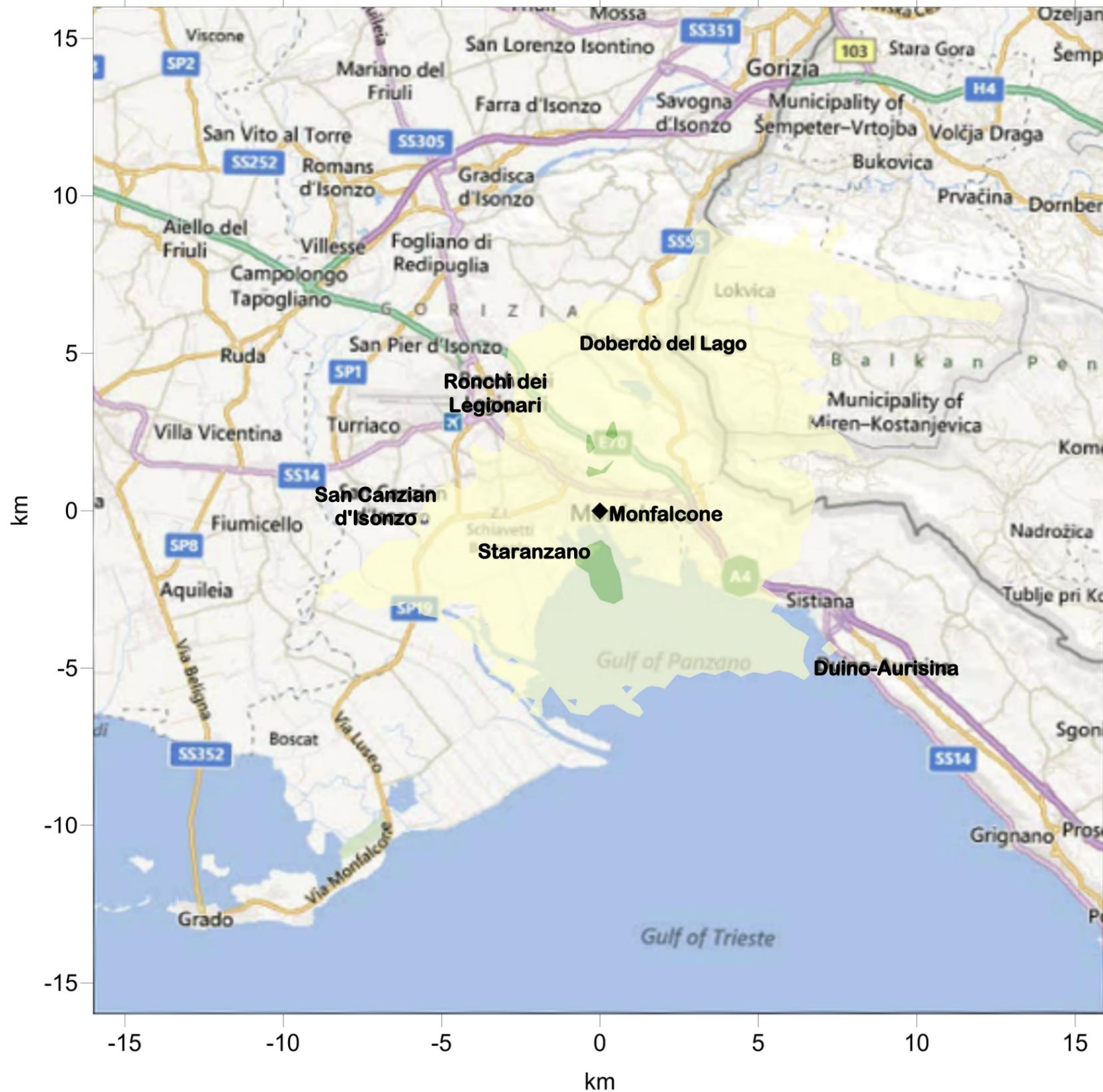


Fig. 41  
 Contributo della centrale alle concentrazioni al suolo: 99.7  
 percentile delle concentrazioni medie orarie di  $\text{SO}_2$ .  
 Configurazione post operam

elongata principalmente verso Sud-Est rispetto all'impianto dove si trovano i valori massimi per questo indicatore. Nel caso *post operam* il valore massimo si riduce a  $27.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e i valori si riducono a poco sotto la metà rispetto a quelli del caso *ante operam*.

Nella Tabella 10 sono mostrati i valori degli indicatori statistici per le concentrazioni di  $\text{SO}_2$  in corrispondenza dei principali centri abitati siti all'interno del dominio di calcolo nelle due configurazioni *ante operam* e *post operam*.

Indicatore	Configurazione	Monfalcone	Doberdò	Duino	Ronchi dei Legionari	Staranzano	S. Canzian d'Isonzo
Concentrazione media annuale	Ante operam	1.00	0.96	0.56	0.69	0.72	0.56
	Post operam	0.43	0.39	0.18	0.30	0.31	0.23
Concentrazione media invernale	Ante operam	0.96	1.06	0.44	0.73	0.74	0.63
	Post operam	0.45	0.48	0.15	0.35	0.35	0.28
99.2° perc. delle concentrazioni medie giornaliere	Ante operam	8.88	9.78	9.21	6.09	9.01	5.39
	Post operam	4.26	5.21	3.12	2.93	2.98	2.01
99.7° perc. delle concentrazioni medie orarie	Ante operam	37.81	30.36	23.64	21.14	26.31	17.90
	Post operam	16.15	12.88	7.27	9.14	10.88	6.65

**Tabella - 10 Valori degli indicatori statistici per il contributo della centrale alle concentrazioni di  $\text{SO}_2$ , in corrispondenza dei centri abitati siti nel dominio di calcolo (valori in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )**

La tabella mostra anche per il biossido di zolfo valori molto al di sotto dei limiti legislativi per tutti gli indicatori calcolati, sia nel caso *ante operam* che nel caso *post operam*. A differenza di ciò che succede per gli ossidi di azoto, non per tutti gli indicatori i livelli più elevati sono nella zona di Monfalcone. Sia le medie invernali che il 99.2 percentile delle medie giornaliere sono leggermente superiori nella zona di Doberdò del Lago. Le riduzioni che si ottengono nello scenario emissivo *post operam* sono generalmente poco oltre il 50% rispetto al caso *ante operam*.

In sintesi per quanto riguarda il Biossido di Zolfo, i valori medi annuali e invernali massimi nel dominio per lo scenario *ante operam* sono minori di 1/10 del limite legislativo di  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , mentre i valori estremi sono inferiori a 1/4 del limite per il 99.2 percentile della media giornaliera e inferiori a 1/6 per il 99.7

percentile delle medie orarie, in entrambi i casi ottenuti sul mare a Sud e Sud-Est dell'impianto.

### 5.5.3 POLVERI

La figura 42 mostra il campo della concentrazione media annuale al suolo di Polveri Totali Sospese generato dalle emissioni della centrale nella configurazione *ante operam*. Occorre considerare che le simulazioni effettuate riguardano il totale delle polveri, mentre la normativa si riferisce solo ad una frazione di esse, ovvero la parte di granulometria fine al di sotto di 10  $\mu\text{m}$ . Si ipotizza che le PTS emesse appartengano tutte alla frazione granulometrica fine e siano assimilabili a  $\text{PM}_{10}$  attuando in questo modo una procedura conservativa nell'analisi dei risultati. I valori massimi assoluti sul dominio sono di 0.17  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  a circa 5 km in direzione Nord-Est rispetto alla centrale, due ordini di grandezza al di sotto del valore limite di 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  per la frazione  $\text{PM}_{10}$ . La figura 43 mostra il campo della concentrazione media annuale al suolo di Polveri Totali Sospese *post operam*, che mostra un pattern simile a quello del caso *ante operam* ma con valori circa dimezzati rispetto a quest'ultimo ed un massimo di 0.08  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

La figura 44 mostra il campo del 90.5 percentile delle concentrazioni medie giornaliere al suolo di  $\text{PM}_{10}$ . Il valore massimo, anche in questo caso localizzato a Nord-Est dell'impianto a circa 10 km da quest'ultimo è di 0.56  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , anche in questo caso circa due ordini di grandezza inferiore rispetto al limite legislativo di 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . La figura 45 mostra lo stesso indicatore per il caso *post operam* che evidenzia un valore massimo di 0.23  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  e livelli anche in questo caso con riduzioni superiori al 50% rispetto al caso *ante operam*.

Nella Tabella 11 sono mostrati i valori degli indicatori statistici per le concentrazioni di  $\text{PM}_{10}$  in corrispondenza dei principali centri abitati siti

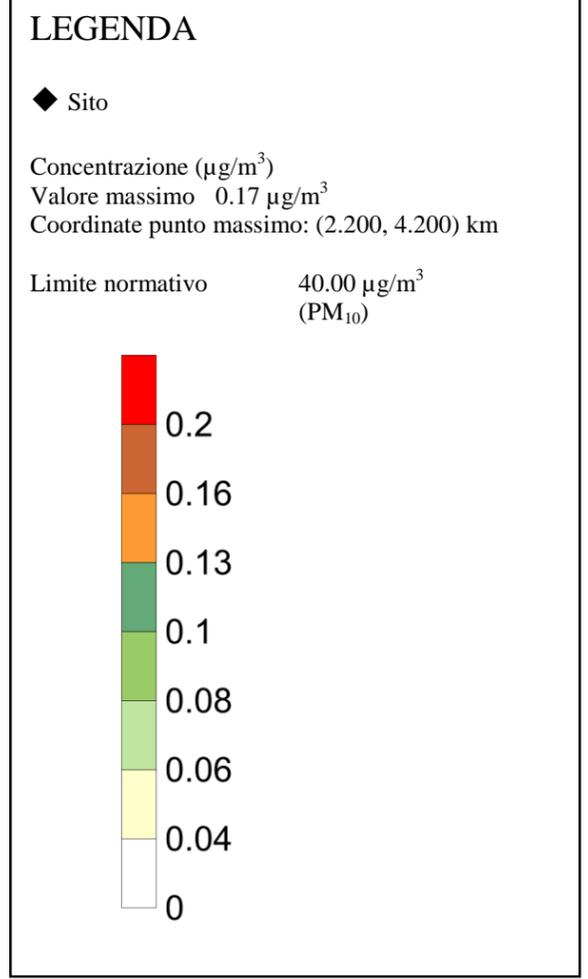
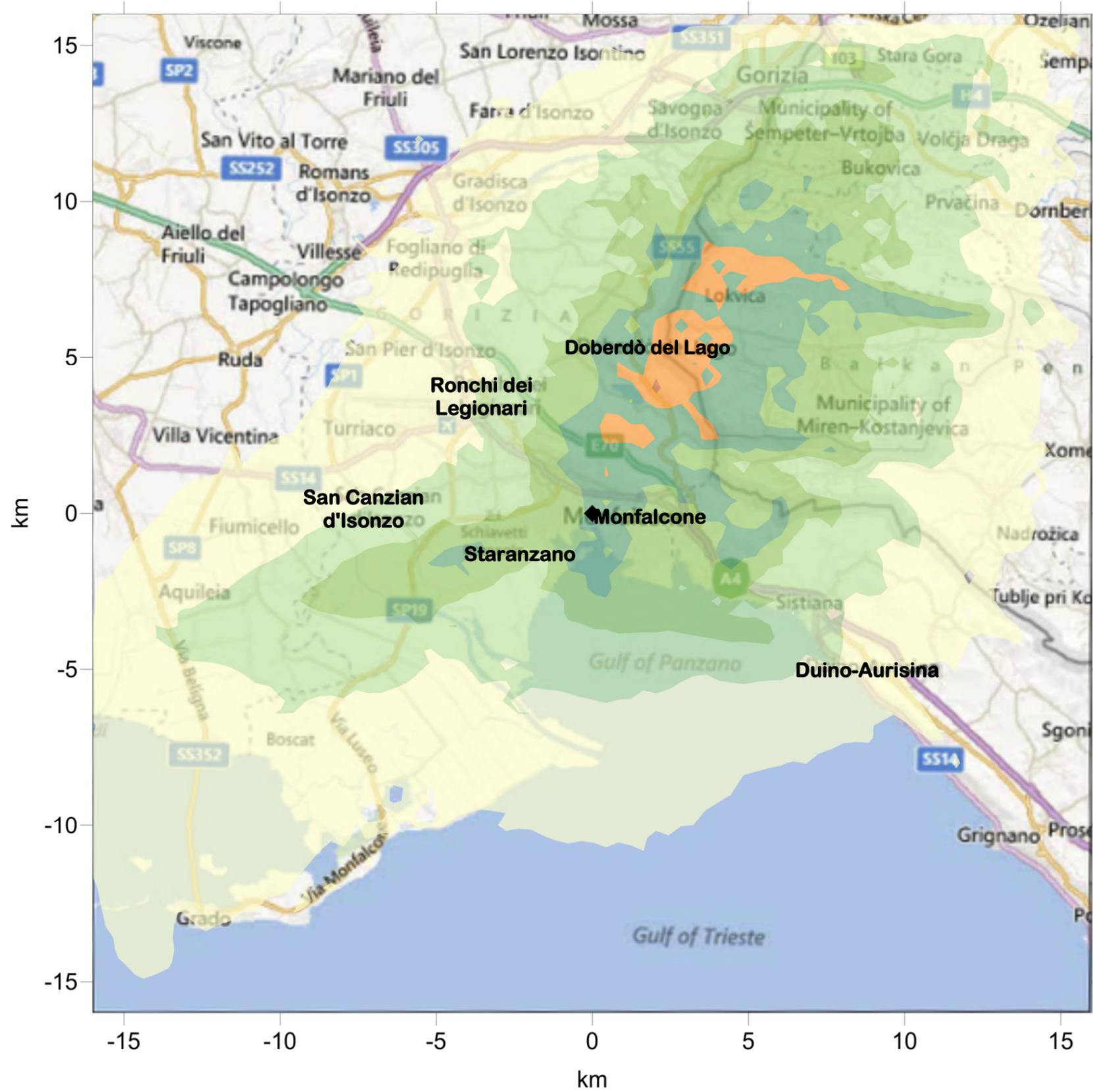


Fig. 42  
 Contributo della centrale alle concentrazioni al suolo:  
 concentrazioni medie annue di PTS.  
 Configurazione ante operam.

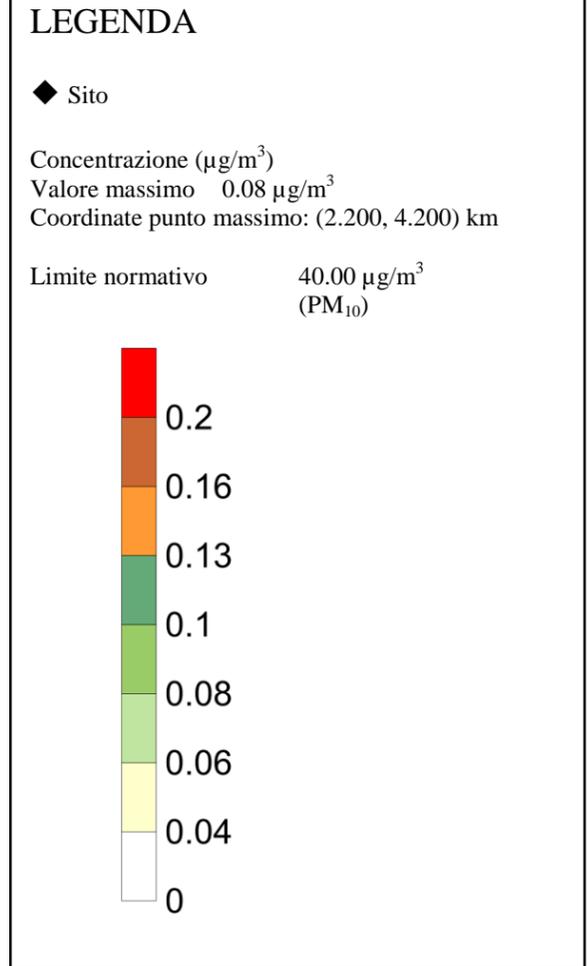
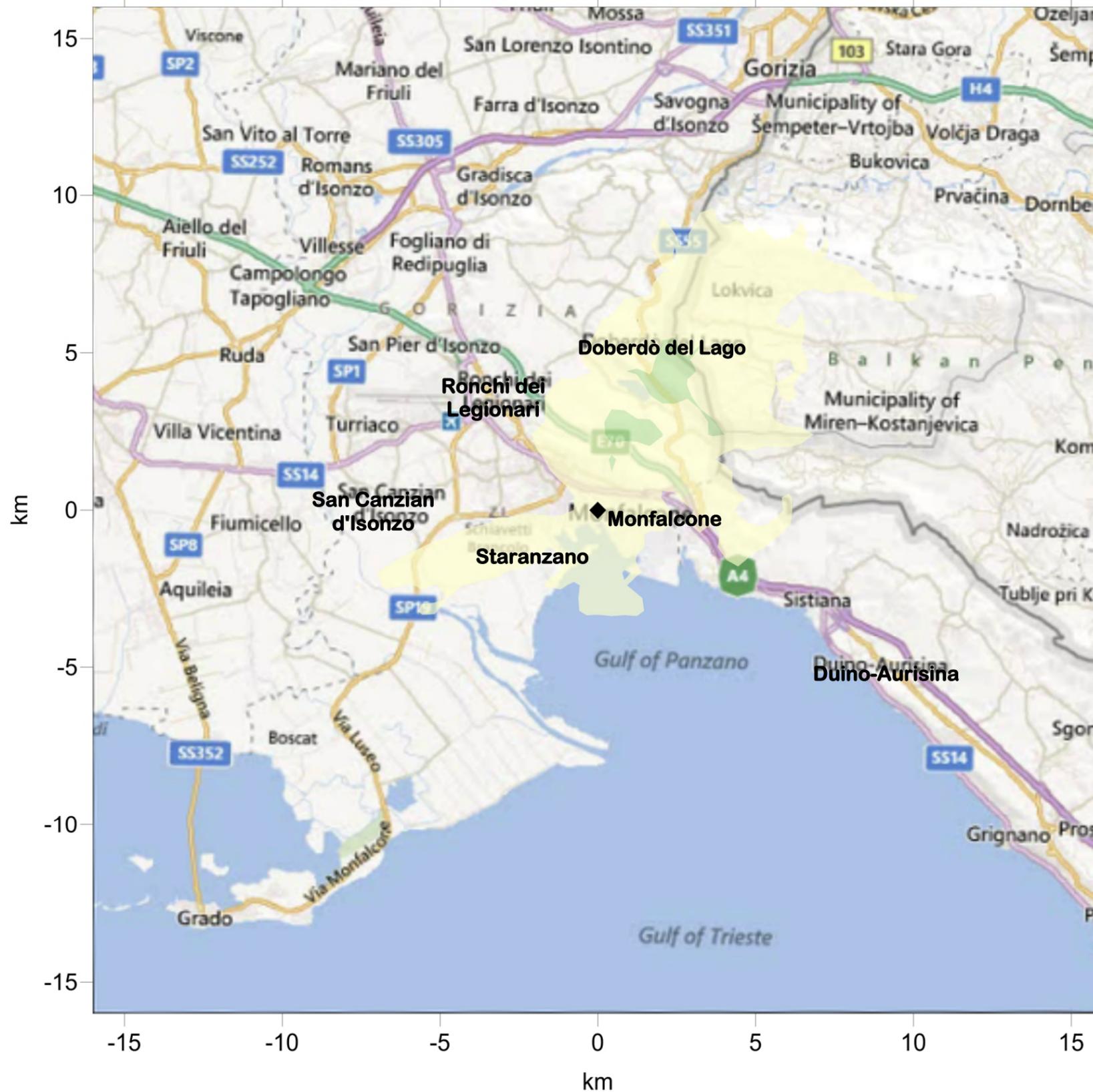


Fig. 43  
 Contributo della centrale alle concentrazioni al suolo:  
 concentrazioni medie annue di PTS.  
 Configurazione post operam.

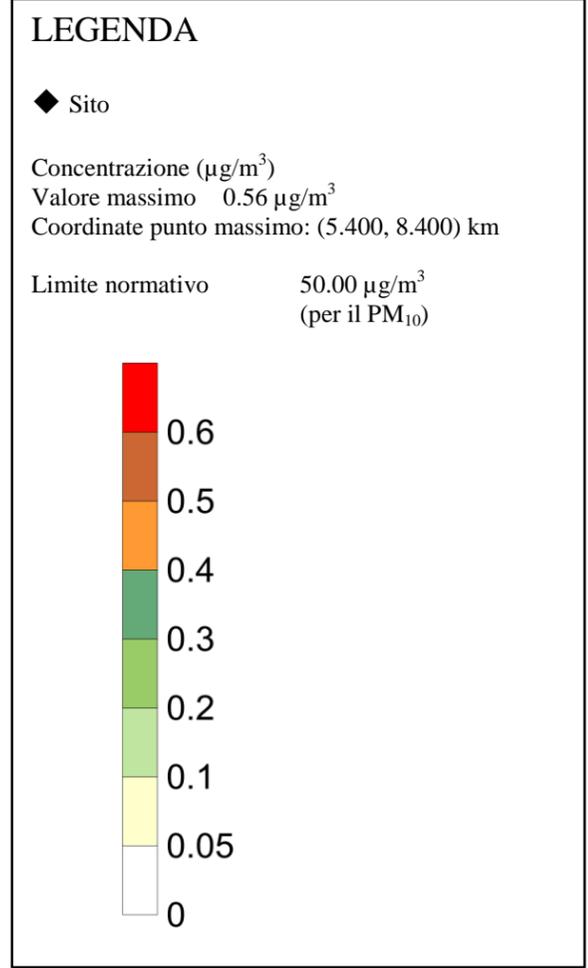
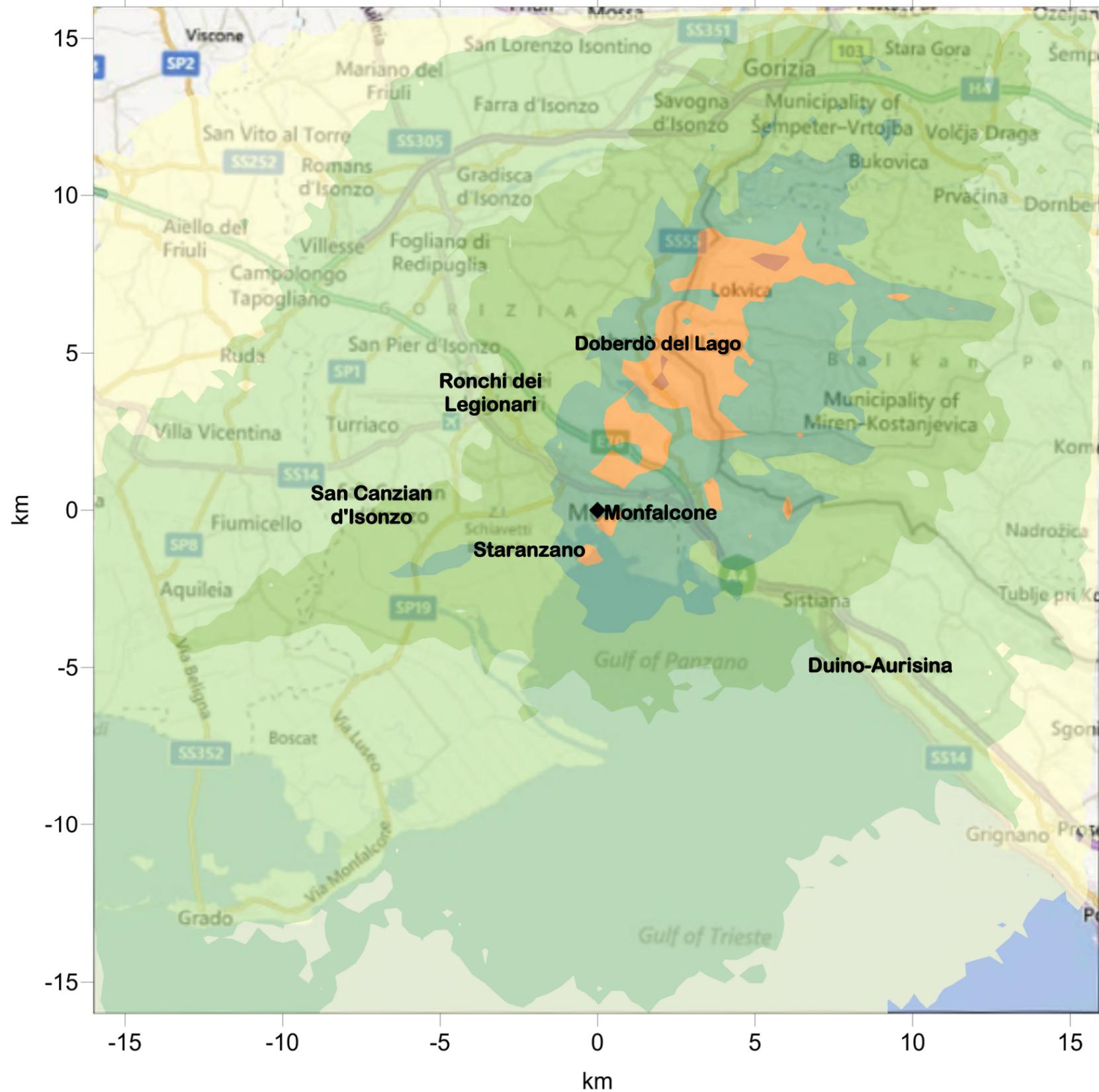
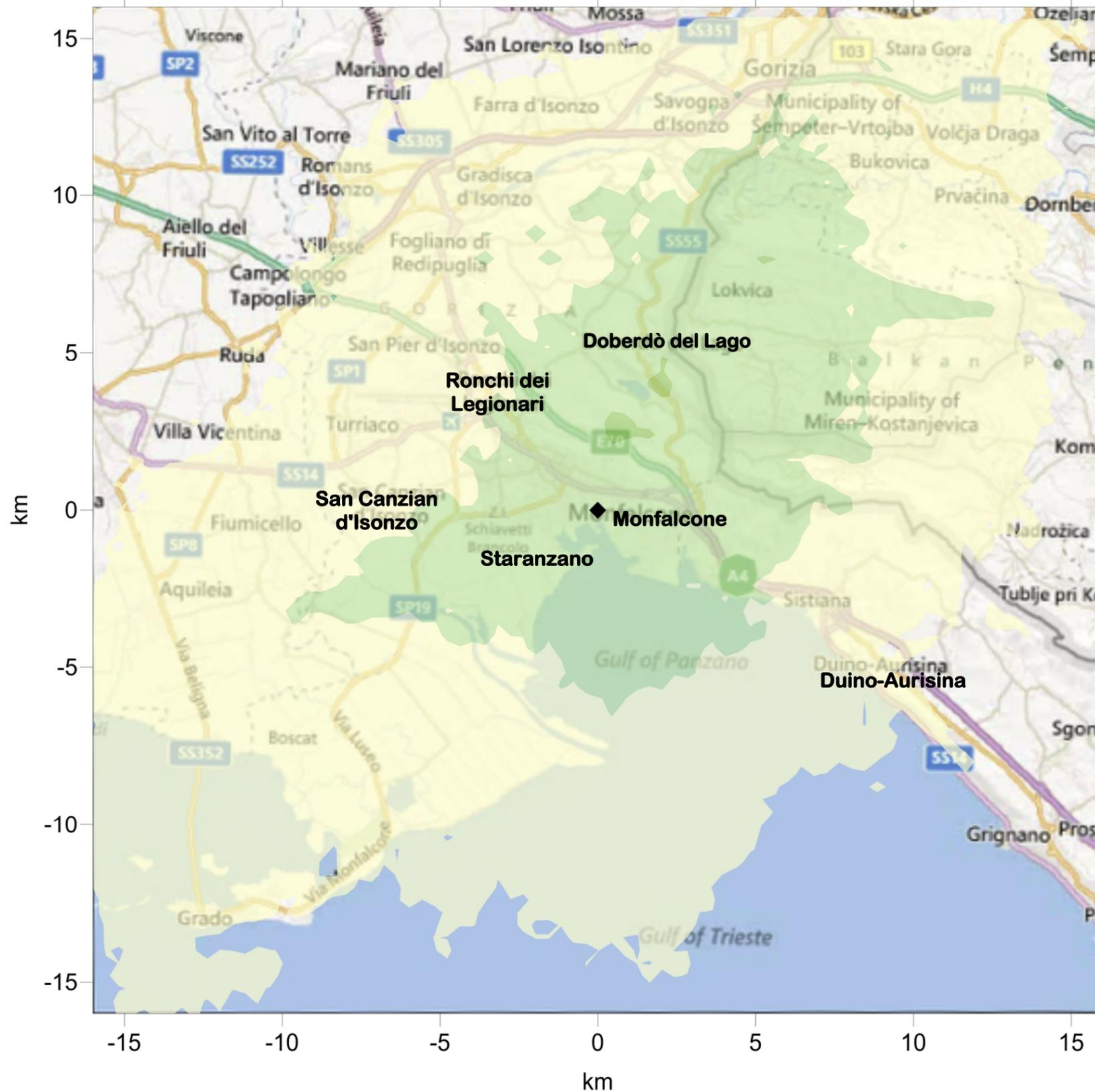


Fig. 44  
 Contributo della centrale alle concentrazioni al suolo: 90.5  
 percentile delle conc.medie giornaliere di PTS. Configurazione  
 ante operam.



**LEGENDA**

◆ Sito  
 Concentrazione ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )  
 Valore massimo  $0.23 \mu\text{g}/\text{m}^3$   
 Coordinate punto massimo: (0.600, 2.600) km  
 Limite normativo  $50.00 \mu\text{g}/\text{m}^3$   
 (per il  $\text{PM}_{10}$ )

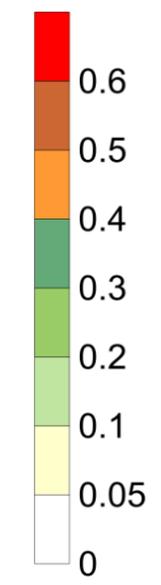


Fig. 45  
 Contributo della centrale alle concentrazioni al suolo: 90.5  
 percentile delle conc. medie giornaliere di PTS.  
 Configurazione post operam.

all'interno del dominio di calcolo nelle due configurazioni *ante operam* e *post operam*.

Indicatore	Configurazione	Monfalcone	Doberdò	Duino	Ronchi dei Legionari	Staranzano	S. Canzian d'Isonzo
Concentrazione media annuale	Ante operam	0.09	0.09	0.05	0.06	0.07	0.05
	Post operam	0.04	0.04	0.02	0.03	0.03	0.02
90.5° perc. delle concentrazioni medie giornaliere	Ante operam	0.31	0.29	0.17	0.21	0.20	0.17
	Post operam	0.15	0.12	0.06	0.10	0.11	0.07

**Tabella - 11** Valori degli indicatori statistici per il contributo della centrale alle concentrazioni di PM<sub>10</sub>, in corrispondenza dei centri abitati siti nel dominio di calcolo (valori in µg/m<sup>3</sup>)

La tabella mostra valori ovunque molto limitati e al di sotto dei limiti legislativi, Gli impatti relativi più elevati si ritrovano nella zona di Monfalcone e Doberdò del Lago con valori comparabili.

In sintesi per quanto riguarda le Polveri, anche considerando conservativamente che le emissioni e gli impatti al suolo appartengono alla classe granulometrica PM<sub>10</sub> i valori ottenuti sono trascurabili rispetto ai limiti legislativi in entrambe le configurazioni emissive. Nel caso *ante operam*, i valori massimi sul dominio delle medie annuali si attestano intorno a 0.17 µg/m<sup>3</sup>, inferiori ad 1/200 rispetto al limite legislativo di 40 µg/m<sup>3</sup>, mentre il massimo del 90.5 percentile delle medie giornaliere nel dominio è inferiore ad 1/80 del valore limite.

Complessivamente l'impianto mostra un impatto limitato nella zona sia nella configurazione *ante operam* che *post operam* per tutte le specie considerate. Le riduzioni dovute ai miglioramenti emissivi nello scenario *post operam* sono di circa il 50% rispetto alla configurazione originaria.

## 5.6 QUALITÀ DELL'ARIA COMPLESSIVA

Al fine di verificare il rispetto dei limiti di legge previsti dalla vigente normativa sulla qualità dell'aria, i risultati delle simulazioni modellistiche devono essere sovrapposti al fondo ambientale.

Gli attuali livelli di qualità dell'aria, comprensivi del contributo dato dalla centrale a2a di Monfalcone, sono stati valutati utilizzando i dati di concentrazione al suolo prodotti dal sistema modellistico del progetto MINNI (Zanini, 2009, Vitali et al., 2010). Il progetto MINNI ("Modello Integrato Nazionale a supporto della Negoziazione internazionale sui temi dell'Inquinamento atmosferico"; <http://www.minni.org/>) comprende infatti oltre alla produzione di campi meteorologici anche la produzione di campi di concentrazione dei principali inquinanti atmosferici alla risoluzione di 20 km sul dominio di riferimento nazionale e successivamente di campi a maggiore risoluzione (4 km) su 5 sottodomini. Le simulazioni MINNI coprono diversi periodi annuali, in particolare per gli anni 1999-2003-2005-2007, per le simulazioni oggetto del presente lavoro è stato scelto l'anno 2007 concordemente a quanto fatto per la caratterizzazione meteorologica del sito. In aggiunta a questo, il periodo garantisce una copertura dei dati di qualità dell'aria provenienti dalla rete di postazioni installata intorno all'impianto a2a. I dati misurati della rete a2a sono stati assimilati su base oraria (su base giornaliera per le PTS) ai campi di concentrazione prodotti dalla catena modellistica del progetto MINNI ritagliati sull'area di interesse, ricostruendo in questo modo lo stato complessivo della qualità dell'aria nel dominio nella configurazione *ante operam*.

Successivamente, i risultati delle simulazioni modellistiche precedentemente mostrati sono stati utilizzati per ricostruire lo stato complessivo della qualità dell'aria nelle due configurazioni, dapprima sottraendo su base oraria (su base giornaliera per le PTS) il contributo della centrale a2a alla configurazione attuale e successivamente sommando il contributo della stessa nello scenario futuro.

In tabella 12 sono riportati i valori per gli indicatori statistici normati delle concentrazioni al suolo di NO<sub>x</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> e PM<sub>10</sub>, estratti nelle località prescelte per i due scenari. L'ultima colonna a destra riporta inoltre il valore massimo ottenuto all'interno del dominio di calcolo per ciascun indicatore statistico.

Parametro	Configurazioni	Monfalcone	Doberdò	Duino	Ronchi dei Legionari	Staranzano	S. Canzian d'Isonzo	Massimo nel dominio
Concentrazione media annuale di NO <sub>x</sub>	Ante operam	19.6	11.5	12.5	22.1	21.2	18.6	55.2
	Post operam	19.1	10.9	12.1	21.8	20.8	18.3	55.2
Concentrazione media annuale di NO <sub>2</sub>	Ante operam	13.8	9.5	11.0	14.7	14.1	12.5	36.2
	Post operam	13.4	9.1	10.8	14.5	13.9	12.3	36.2
99.8° perc. delle medie orarie di NO <sub>2</sub>	Ante operam	72.7	56.1	74.1	73.3	69.8	55.1	137.2
	Post operam	72.6	55.5	74.1	72.2	69.1	55.1	137.2
Concentrazione media annuale di SO <sub>2</sub>	Ante operam	3.8	4.2	5.0	3.8	3.6	4.1	13.4
	Post operam	3.3	3.6	4.6	3.4	3.2	3.8	13.4
Concentrazione media invernale di SO <sub>2</sub>	Ante operam	4.5	4.4	5.9	4.4	4.4	4.5	17.1
	Post operam	4.0	3.8	5.6	4.0	4.0	4.2	17.0
99.2° perc. delle concentrazioni medie giornaliere di SO <sub>2</sub>	Ante operam	13.3	12.1	18.9	12.1	12.1	13.6	51.1
	Post operam	13.3	10.0	16.3	10.2	12.1	13.6	51.1
99.7° perc. delle concentrazioni medie orarie di SO <sub>2</sub>	Ante operam	32.4	40.4	35.0	33.9	31.4	39.0	91.8
	Post operam	30.9	39.7	34.3	33.0	30.6	38.6	91.8
Concentrazione media annuale di PM <sub>10</sub>	Ante operam	23.8	17.6	16.7	25.1	25.9	25.3	32.6
	Post operam	23.7	17.5	16.7	25.1	25.8	25.2	32.5
90.5° perc. delle concentrazioni medie giornaliere di PM <sub>10</sub>	Ante operam	42.5	30.9	31.2	45.2	44.9	44.9	63.0
	Post operam	42.5	30.9	31.2	45.0	44.8	44.8	63.0

**Tabella - 12** Qualità dell'aria complessiva Valori degli indicatori statistici normati per NO<sub>x</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> e PM<sub>10</sub>, in corrispondenza dei centri abitati siti nel dominio, e massimo nel dominio (valori in µg/m<sup>3</sup>).

Si nota che, come lecito attendersi, in quasi tutti i punti lo scenario *post operam* presenta livelli di concentrazione meno elevati rispetto allo scenario *ante operam*. Le differenze locali rispetto allo scenario attuale sono comunque minime per via del limitato impatto della centrale a2a sul quadro complessivo dell'area investigata.

Il limite per il valore medio annuale degli ossidi di azoto NOx non è superato in alcuno dei comuni del dominio in cui sono stati estratti i valori; tra di essi il valore massimo si osserva a Nord Nord-Est della centrale nel Comune di Ronchi dei Legionari. Il valore massimo del dominio risulta superiore al limite di legge per la protezione della vegetazione, pari a  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in entrambi gli scenari, anche se in tali scenari questo valore resta invariato a conferma della ridotta influenza della centrale sulla qualità dell'aria nella zona. Anche il valore medio del biossido di azoto è sempre inferiore al limite legislativo. Inoltre, in figura 46 e 47 sono illustrate le concentrazioni medie annuali al suolo per il biossido di azoto rispettivamente per il caso *ante operam* e *post operam*. Il pattern complessivo delle concentrazioni al suolo è sostanzialmente invariato, con una riduzione dei livelli intorno all'area di Monfalcone. Anche in questo caso l'area con impatto maggiore è quello a Nord Nord-Est della centrale nel Comune di Ronchi dei Legionari, dove comunque si osservano valori ben inferiori al limite di legge. Per quanto riguarda il 99.8 percentile delle concentrazioni orarie di NO<sub>2</sub>, i valori si riducono in tutti i sei Comuni investigati, mentre il valore massimo del dominio rimane invariato, mantenendosi comunque ben inferiore al limite legislativo. Il Comune di Duino-Aurisina mostra il valore più elevato tra quelli selezionati, con valori inferiori alla metà del limite normativo.

Considerazioni analoghe valgono per gli indicatori statistici normati del biossido di zolfo, dove i valori misurati nei Comuni evidenziati e i valori massimi nel dominio non subiscono variazioni. Anche in questo caso gli indicatori

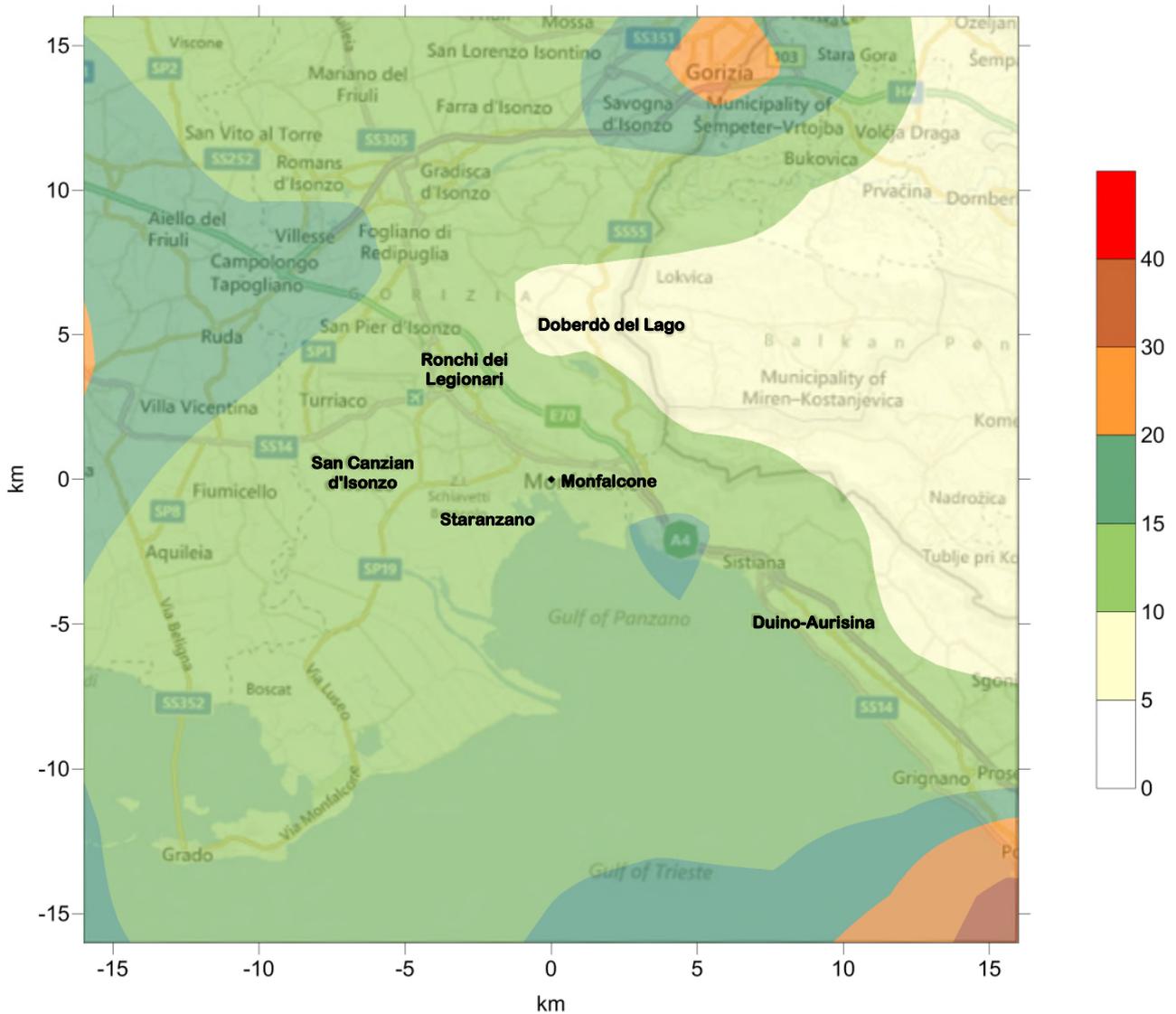


Fig. 46

Qualità dell'aria complessiva al suolo nel dominio: concentrazioni medie annue di NO<sub>2</sub>. Configurazione *ante operam*. Valori in µg/m<sup>3</sup> secondo la scala a destra.

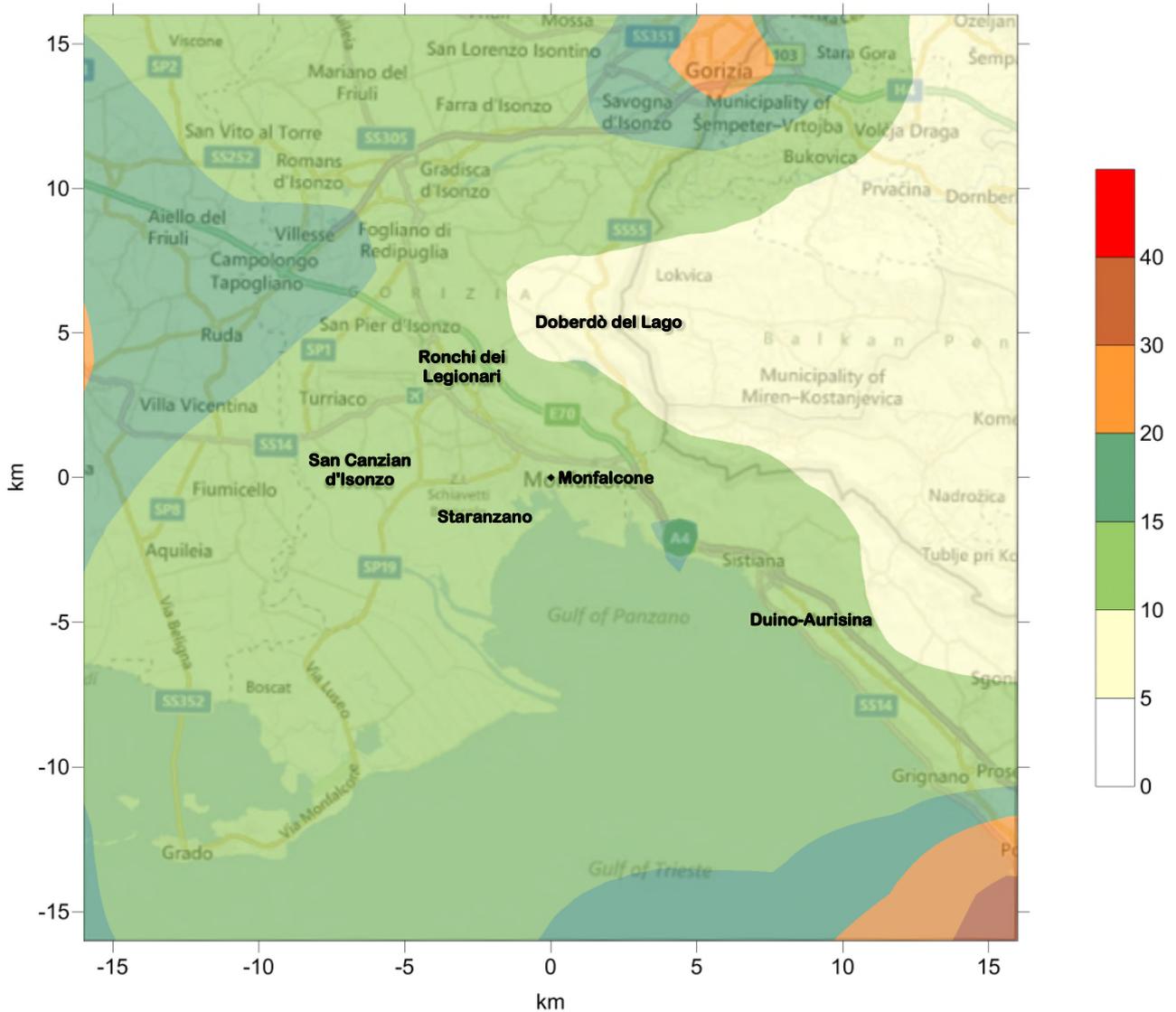


Fig. 47

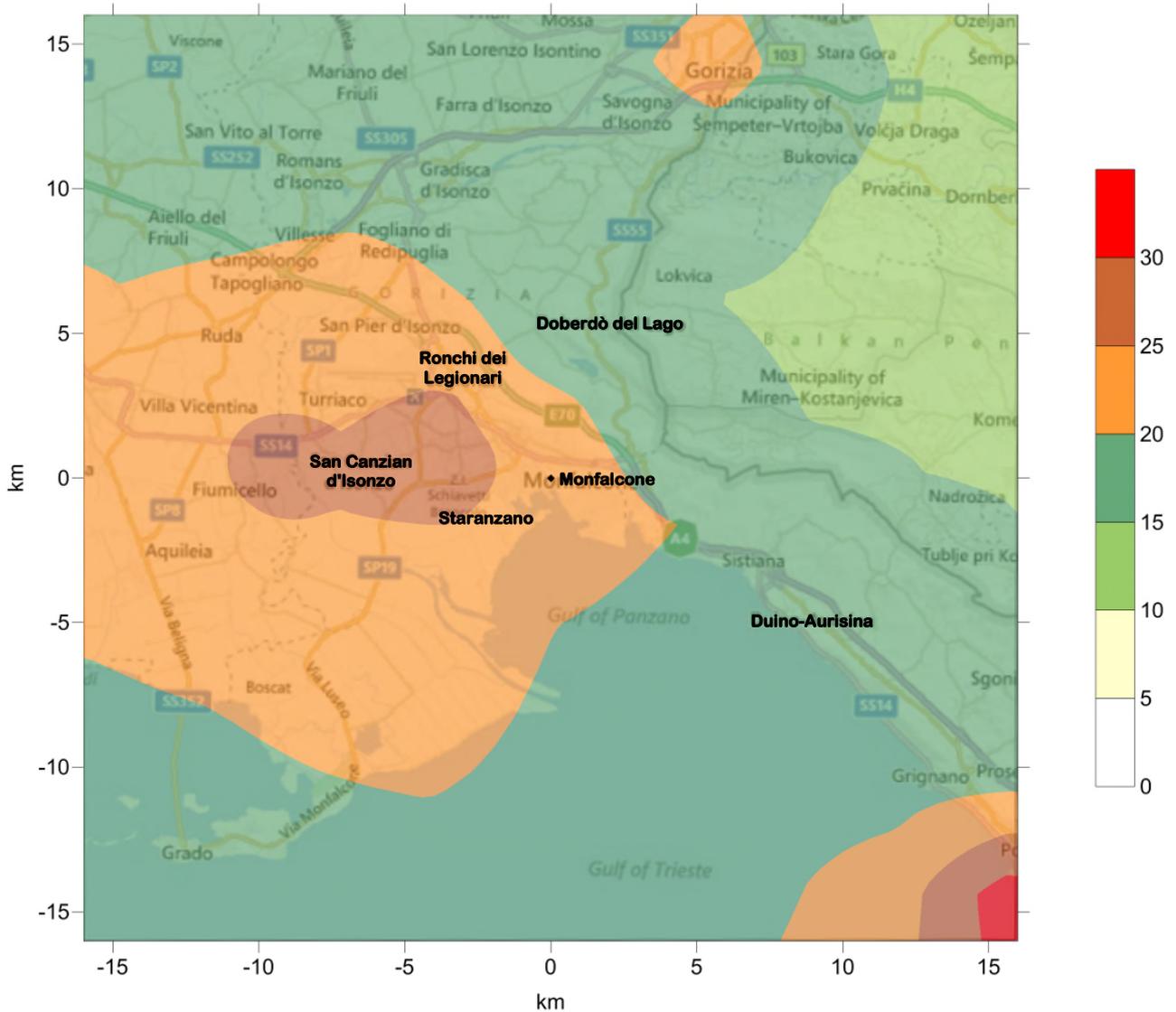
Qualità dell'aria complessiva al suolo nel dominio: concentrazioni medie annue di NO<sub>2</sub>. Configurazione *post operam*. Valori in µg/m<sup>3</sup> secondo la scala a destra.

	CENTRALE TERMOELETTRICA DI MONFALCONE	Elaborato n. P01MF00189 Rev.00
	Installazione del sistema di abbattimento degli Ossidi di Azoto (DeNOx) sui gruppi a carbone 1 e 2 per l'adeguamento ai valori limite nel rispetto delle MTD	Pag. 117 di 133

statistici relativi al biossido di zolfo risultano più elevati nel Comune di Duino-Aurisina, ma sempre ben al di sotto dei limiti previsti dalla normativa vigente.

Infine, per quanto riguarda il PM<sub>10</sub> la tabella mostra ovunque variazioni pressoché nulle, dovute all'impatto molto limitato dell'impianto, anche ipotizzando che l'emissione di PTS sia assimilabile completamente alla frazione PM<sub>10</sub>. Nelle figure 48 e 49 sono illustrati i campi della concentrazione media annuale delle polveri rispettivamente per il caso *ante operam* e *post operam*. I valori più elevati si osservano in direzione di Trieste, nel comune di Gorizia e nell'area ad Ovest del punto di emissione, nel Comune di S. Canzian d'Isonzo. Come già osservato in precedenza, l'impatto estremamente limitato dell'impianto a2a in termini di Polveri Totali Sospese, non consente di apprezzare differenze significative tra le mappe dei due scenari.

In conclusione la qualità dell'aria complessiva dell'area, classificabile come abbastanza buona e che attualmente rispetta i valori stabiliti dalla vigente normativa con buoni margini, subirà un miglioramento, anche se di entità marginale, a seguito dell'attuazione del progetto.



**Fig. 48** Qualità dell'aria complessiva al suolo nel dominio: concentrazioni medie annue di PM<sub>10</sub>. Configurazione *ante operam*. Valori in µg/m<sup>3</sup> secondo la scala a destra.

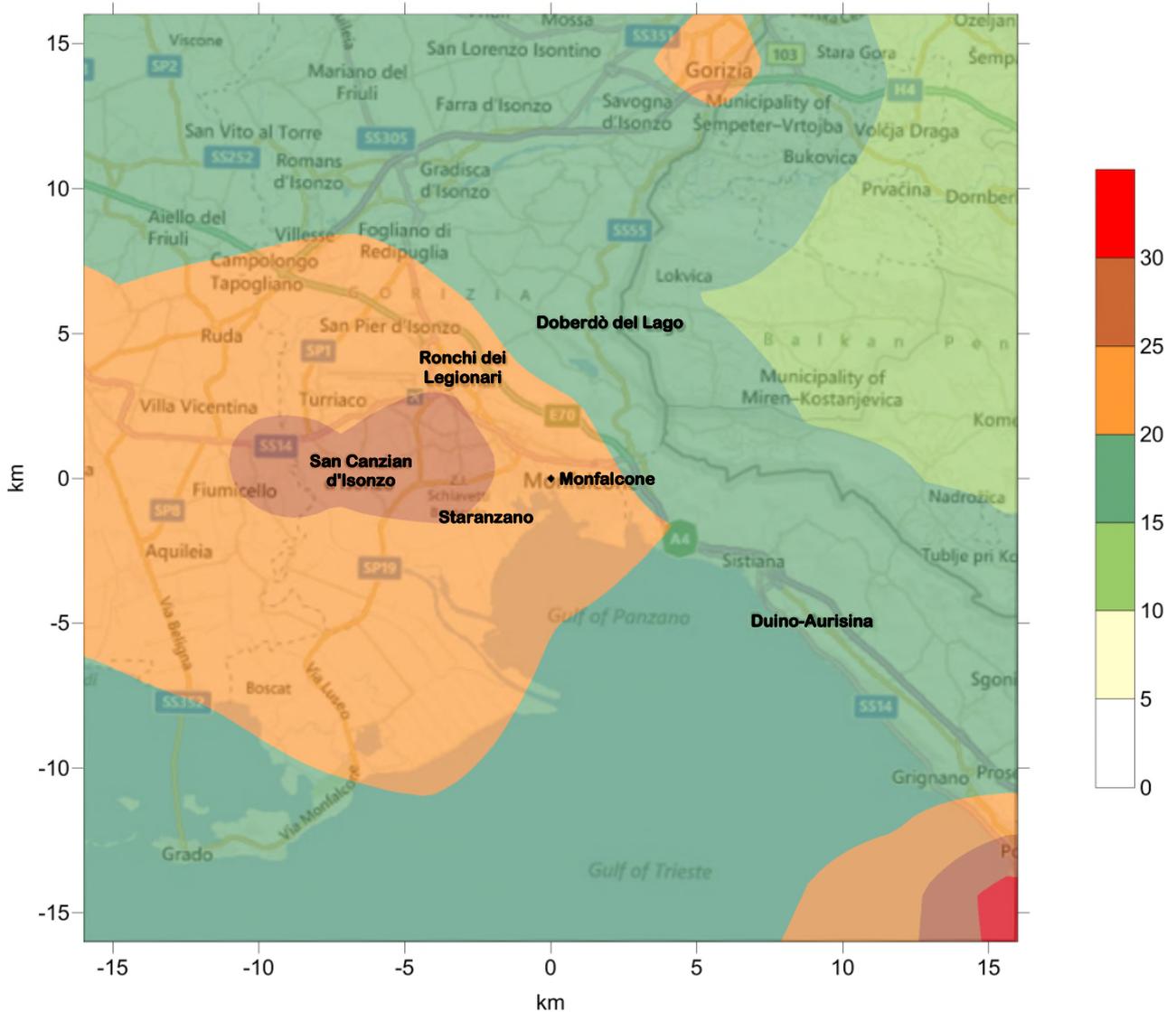


Fig. 49

Qualità dell'aria complessiva al suolo nel dominio: concentrazioni medie annue di PM<sub>10</sub>. Configurazione post operam. Valori in µg/m<sup>3</sup> secondo la scala a destra.

## 6 MICROINQUINANTI

Le caratteristiche geometriche, dinamiche e termodinamiche delle sorgenti (portate, diametri, temperature e velocità di efflusso) sono le medesime già descritte in precedenza per ognuno dei due scenari considerati. I flussi di massa per le diverse specie (o gruppi di specie) simulate sono dedotti sulla base delle concentrazioni alle emissioni descritte in tabella 13 per la configurazione *ante operam* e in tabella 14 per la configurazione *post operam* ipotizzando un funzionamento per 8760 ore annue. La suddivisione considerata si riferisce alle tipologie di specie microinquinanti per le quali è previsto sia un limite di legge, sia un provvedimento autorizzativo alle emissioni in atmosfera (AIA).

In ognuno dei due scenari considerati, dove non è prevista un'autorizzazione l'emissione non è considerata. In molti casi le autorizzazioni non riguardano singole specie ma raggruppamenti che comprendono diverse specie di microinquinanti considerate insieme. In queste situazioni l'emissione e la relativa dispersione in atmosfera è stata simulata per il complesso delle specie per le quali è prescritta l'autorizzazione.

Parametro	unità di misura	Sez. 1 e 2	Sez. 3 e 4
HCl	mg/Nm <sup>3</sup>	50	10
HF	mg/Nm <sup>3</sup>	5	5
NH <sub>3</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	5	5
IPA (6 di borneff)	mg/Nm <sup>3</sup>	0,01	0,01
IPA (*)	mg/Nm <sup>3</sup>	1,0	1,0
Sost. org. vol. espresse come carbonio totale	mg/Nm <sup>3</sup>	10	10
Be	mg/Nm <sup>3</sup>	0,05	0,05
Hg	mg/Nm <sup>3</sup>	0,05	-
Cd+Tl	mg/Nm <sup>3</sup>	0,05	-
Cd+ Hg +Tl	mg/Nm <sup>3</sup>	-	0,05
As+Cr <sub>VI</sub> +Co+Ni (resp)	mg/Nm <sup>3</sup>	0,5	0,5
Se+Te+Ni (polv.)	mg/Nm <sup>3</sup>	0,5	0,5
Sb+Cr <sub>III</sub> +Mn+Pb+Cu+V	mg/Nm <sup>3</sup>	0,5	0,5
Sb+Cr <sub>III</sub> +Mn+Pd+Pb+Pt+Cu+R h+Sn+V	mg/Nm <sup>3</sup>	5,00**	5,00**

(\*) Per gli Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA) si è assunto il valore limite previsto al punto 1.1 parte II – allegato I alla Parte V del DLgs 152/06. Poiché è generalmente riconosciuto che le sostanze di cui alla classe III della citata tabella non sono presenti nelle emissioni dalla tipologia di sorgenti in esame, si è considerato il valore limite per la somma di composti di Classe I + Classe II.

(\*\*) Limite non previsto nell'AIA dei Gruppi esistenti ma previsto dalla vigente normativa.

**Tabella – 13 Limiti Emissioni Microinquinanti “configurazione di riferimento ante operam” (AIA 2009)**

Parametro	unità di misura	Sez. 1 e 2
HCl	mg/Nm <sup>3</sup>	30
HF	mg/Nm <sup>3</sup>	5
NH <sub>3</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	5
IPA (6 di borneff)	mg/Nm <sup>3</sup>	0,01
IPA (*)	mg/Nm <sup>3</sup>	1,0
Sost. org. vol. espresse come carbonio totale	mg/Nm <sup>3</sup>	10
Be	mg/Nm <sup>3</sup>	0,05
Hg	mg/Nm <sup>3</sup>	0,05
Cd+Tl	mg/Nm <sup>3</sup>	0,05
As+Cr <sub>VI</sub> +Co+Ni (resp)	mg/Nm <sup>3</sup>	0,5
Se+Te+Ni (polv.)	mg/Nm <sup>3</sup>	0,5
Sb+Cr <sub>III</sub> +Mn+Pb+Cu+V	mg/Nm <sup>3</sup>	0,5
Sb+Cr <sub>III</sub> +Mn+Pd+Pb+Pt+Cu+R h+Sn+V	mg/Nm <sup>3</sup>	5,0

**Tabella - 14 Limiti Emissioni Microinquinanti “configurazione di riferimento post operam”**

## 6.1 RISULTATI DELLE SIMULAZIONI

Vengono illustrati nel seguito i risultati ottenuti mediante le simulazioni di dispersione, suddivisi secondo le diverse specie (o raggruppamenti di specie) relativi ai microinquinanti descritti al paragrafo precedente. Vengono considerati i contributi totali dovuti al complesso delle sorgenti considerate in ognuno dei due scenari. Sono stati calcolati i valori medi annuali delle concentrazioni in aria in prossimità del suolo per ciascun microinquinante ed estratti i valori in corrispondenza dei sei principali centri abitati siti all'interno del dominio di calcolo. In Tabella 7 sono mostrate le coordinate dei punti di estrazione nel sistema di riferimento UTM fuso 33 (WGS84).

### 6.1.1 CONCENTRAZIONI IN ARIA

In tabella 15 sono riportate le concentrazioni medie annuali in prossimità del suolo per le diverse tipologie di microinquinanti considerati, estratte dalle simulazioni modellistiche nei punti descritti in precedenza per i due scenari. L'ultima colonna a destra riporta inoltre il valore massimo delle medie annuali di concentrazione ottenuto all'interno del dominio di calcolo.

Parametro	Configurazione	Monfalcone	Doberdò	Duino	Ronchi dei Legionari	Staranzano	S. Canzian d'Isonzo	Massimo nel dominio
HCl	Ante operam	68.51	66.17	37.90	46.57	49.29	38.67	125.07
	Post operam	56,1	51,7	22,1	38,6	40,4	30,0	101
HF	Ante operam	13.49	12.95	7.37	9.08	9.66	7.53	24.58
	Post operam	9.35	8.62	3.69	6.44	6.74	5.00	16.84
NH3	Ante operam	13.49	12.95	7.37	9.08	9.66	7.53	24.58
	Post operam	9.35	8.62	3.69	6.44	6.74	5.00	16.84
IPA (6 di Borneff)	Ante operam	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.05
	Post operam	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03
IPA	Ante operam	2.70	2.59	1.48	1.82	1.93	1.51	4.92
	Post operam	1.87	1.72	0.74	1.29	1.35	1.00	3.37
Sost. org. vol. espr. come carbonio totale	Ante operam	26.98	25.90	14.75	18.17	19.33	15.06	49.16
	Post operam	18.69	17.23	7.38	12.88	13.48	10.00	33.68
Be	Ante operam	0.13	0.13	0.07	0.09	0.10	0.08	0.25
	Post operam	0.09	0.09	0.04	0.06	0.07	0.05	0.17
Cd+ Hg +Tl (*)	Ante operam	0.19	0.18	0.10	0.13	0.13	0.11	0.34
	Post operam							
	Hg	0,095	0,085	0,035	0,065	0,065	0,05	0,17
As+Cr <sub>VI</sub> +Co+Ni (resp)	Cd+Tl	0,095	0,085	0,035	0,065	0,065	0,05	0,17
	Totale	0.19	0.17	0.07	0.13	0.13	0.10	0.34
	Ante operam	1.35	1.30	0.74	0.91	0.97	0.75	2.46
Se+Te+Ni (polv.)	Post operam	0.93	0.86	0.37	0.64	0.67	0.50	1.68
	Ante operam	1.35	1.30	0.74	0.91	0.97	0.75	2.46
Sb+Cr <sub>III</sub> +Mn+Pb+Cu+V	Post operam	0.93	0.86	0.37	0.64	0.67	0.50	1.68
	Ante operam	1.35	1.30	0.74	0.91	0.97	0.75	2.46
Sb+Cr <sub>III</sub> +Mn+Pd+Pb+Pt+Cu+Rh+Sn+V	Post operam	0.93	0.86	0.37	0.64	0.67	0.50	1.68
	Ante operam	13.49	12.95	7.37	9.08	9.66	7.53	24.58
Sb+Cr <sub>III</sub> +Mn+Pd+Pb+Pt+Cu+Rh+Sn+V	Post operam	9.35	8.62	3.69	6.44	6.74	5.00	16.84

**Tabella - 15 Valori medi annui delle concentrazioni in aria dei microinquinanti, in corrispondenza dei centri abitati siti nel dominio, e massimo nel dominio (valori in ng/m<sup>3</sup>).**

(\*) Nella configurazione Post operam sono riportati anche i valori separati per Hg e Cd+Tl

Si nota come lo scenario *post operam* comporti un miglioramento generale dello stato della qualità dell'aria. Per quanto riguarda i confronti con valori di normativa, è possibile per i metalli fare riferimento ai valori indicati in tabella 16.

Specie (indicatore)	Valore limite o di riferimento
Pb (concentrazione media annuale)	500 ng/m <sup>3</sup>
As (concentrazione media annuale)	6 ng/m <sup>3</sup>
Cd (concentrazione media annuale)	5 ng/m <sup>3</sup>
Ni (concentrazione media annuale)	20 ng/m <sup>3</sup>

**Tabella - 16** Valori limite per le concentrazioni medie annuali in aria per i metalli secondo la normativa di riferimento relativa al D.L. 155/2010

Tali valori si riferiscono a specie singole non direttamente considerate nelle simulazioni, che sono invece relative a raggruppamenti che le contengono.

Per quanto riguarda il Piombo, esso risulta contenuto negli ultimi due raggruppamenti. In entrambi i casi i valori massimi nel dominio risultano essere molto al di sotto del limite previsto per il solo Piombo.

Il raggruppamento che considera insieme As, CrVI Co e Ni mostra valori massimi nel dominio pari a circa 2.5 ng/m<sup>3</sup> nello scenario ante operam (1,7 ng/m<sup>3</sup> nel post operam) contro un limite di 6 ng/m<sup>3</sup> per il solo As. Per questo raggruppamento, come, in genere anche per le altre specie, i valori più elevati tra i centri abitati si mantengono comunque pari a circa la metà rispetto ai massimi nel dominio di calcolo. Per quanto riguarda il raggruppamento che comprende il Cadmio, che è considerato insieme a Tallio e Mercurio, il valore peggiore registrato tra i centri abitati nel dominio, è, in entrambi gli scenari, inferiore a 0.2 ng/m<sup>3</sup> ovvero meno di 1/25 rispetto al limite per il solo Cadmio. Per quanto riguarda il Nichel, le concentrazioni massime, che si riferiscono ai raggruppamenti che lo contengono, sono circa 1/15 rispetto ai valori limite per la singola specie.

Per quanto riguarda gli IPA, la normativa riguarda solo il componente Benzo(a)Pirene, per il quale il limite è 1 ng/m<sup>3</sup>. Il Benzo(a)Pirene è contenuto

nel sottogruppo dei sei IPA di Borneff, il cui valore più elevato riscontrato nei centri abitati, in entrambi gli scenari, è pari a 0.03 ng/m<sup>3</sup>, meno di 1/30 del limite per il solo Benzo(a)Pirene.

Per quanto riguarda l'emissione di ammoniaca (NH<sub>3</sub>) ai camini, nella configurazione ante operam, essa è dovuta alla presenza di azoto nei combustibili (sia carbone per i gruppi 1 e 2 sia Olio Combustibile Denso per i gruppi 3 e 4) e alle possibili reazioni chimiche secondo i seguenti meccanismi di formazione. La conversione dell'azoto organico presente nel combustibile inizia con una rapida e quasi completa trasformazione dei composti azotati in prodotti intermedi, principalmente costituiti da acido cianidrico (HCN), il quale rappresenta il principale prodotto quando l'azoto è presente nel combustibile legato ad anelli aromatici, ed ammoniaca (NH<sub>3</sub>), la quale è il principale prodotto quando l'azoto è invece presente in forma di ammine organiche. Tali prodotti sono successivamente ossidati in monossido d'azoto dall'ossigeno alle alte temperature e solo in minima parte non partecipano a tali fenomeni. Infatti non tutto l'azoto organico contenuto nel combustibile è ossidato a NO e questo avviene perché la specie radicale NH<sub>x</sub>, derivante dalla distruzione intermedia di HCN e NH<sub>3</sub>, prende parte ad un equilibrio chimico dinamico, che regola la concentrazione finale di NO<sub>x</sub> secondo diverse reazioni tra loro in competizione. In definitiva, il grado di conversione dell'azoto organico presente nel combustibile risulta dipendente sia dal quantitativo effettivamente contenuto nei combustibili di partenza (aumentando all'aumentare di questo), sia dall'eccesso d'aria fornito, aumentando all'aumentare di questo, data la maggiore disponibilità di radicali ossigeno.

L'emissione di ammoniaca (NH<sub>3</sub>) ai camini, nella configurazione post operam, è invece conseguente a due effetti cumulati: il primo effetto è quello già spiegato e correlato alle reazioni chimiche di formazione dell'azoto organico presente nel solo carbone, il secondo effetto dovuto allo "slip" sui nuovi DeNO<sub>x</sub> dei gruppi 1 e 2, corrispondente alla quantità di ammoniaca non reagita dopo l'attraversamento dei catalizzatori; l'ammoniaca è quindi proveniente sia

dall'azoto originariamente contenuto nel combustibile sia da quella appositamente dosata con gli impianti specifici ausiliari del denitrificatore.

Pur essendo diversi i meccanismi di formazione, il valore assoluto di emissione di ammoniaca, in sé comunque estremamente limitato, è confrontabile nelle due configurazioni e, in entrambi i casi, abbondantemente inferiore al limite di legge.

Lo slip di ammoniaca sarà soggetto ad un monitoraggio in continuo in uscita dal DeNOx attraverso appositi strumenti all'uopo dedicati (slippometri).

Il valore di emissione di ammoniaca (NH<sub>3</sub>) ai camini, nelle configurazioni *ante operam* e *post operam*, utilizzati nelle simulazioni, pari a 5 mg/Nm<sup>3</sup>, è stato desunto da provvedimenti autorizzativi alle emissioni in atmosfera, adottati per impianti simili.

Per l'ammoniaca, in entrambe le configurazioni, come in generale anche per le altre specie, i valori più elevati tra i centri abitati si mantengono comunque pari a circa la metà rispetto ai massimi nel dominio di calcolo. I valori massimi nel dominio di calcolo si riscontrano in direzione Nord – Est dalla centrale, in aree spopolate.

Le figure 50 e 51 illustrano rispettivamente le concentrazioni medie annuali al suolo per il gruppo Cadmio, Mercurio e Tallio per il caso *ante operam* e *post operam*. I valori più elevati, come detto in precedenza, sono simili nei due scenari con massimi di 0.34 ng/m<sup>3</sup> a 5 km in direzione Nord-Est rispetto alla sorgente. Si nota comunque, nel confronto tra queste figure, una complessiva tendenza a generare minore impatto nel caso *post operam*. Le figure 52 e 53 riportano rispettivamente le concentrazioni medie annuali al suolo per Se+Te+Ni per il caso *ante operam* e *post operam*. Per questo raggruppamento si nota una maggiore diminuzione nello scenario *post operam*, con una apprezzabile riduzione dell'impatto e valori massimi che passano da circa 2.5 ng/m<sup>3</sup> a circa 1.7 ng/m<sup>3</sup> a Nord-Est dell'emissione.

Le figure 54 e 55 illustrano l'andamento delle concentrazioni medie annuali al suolo per l'ammoniaca per i casi *ante* e *post operam*. I valori più elevati, come accennato, si riscontrano a Nord – Est dell'impianto in aree spopolate. Nella situazione *ante operam* il valore massimo è pari a 24,6 ng/m<sup>3</sup>, mentre nel *post operam*, esso si riduce a 16,8 ng/m<sup>3</sup>. Nei sei centri abitati presi in considerazione i valori più elevati si riscontrano a Monfalcone con valori rispettivamente di 13,49 e 9,45 ng/m<sup>3</sup>. Mentre valori leggermente inferiori si riscontrano a Doberdò del Lago.

Si tratta, in tutti i casi, di valori estremamente contenuti e non in grado, nelle due configurazioni, di comportare effetti di qualsiasi entità sia sulla salute umana, sia sulla vegetazione e gli ecosistemi.

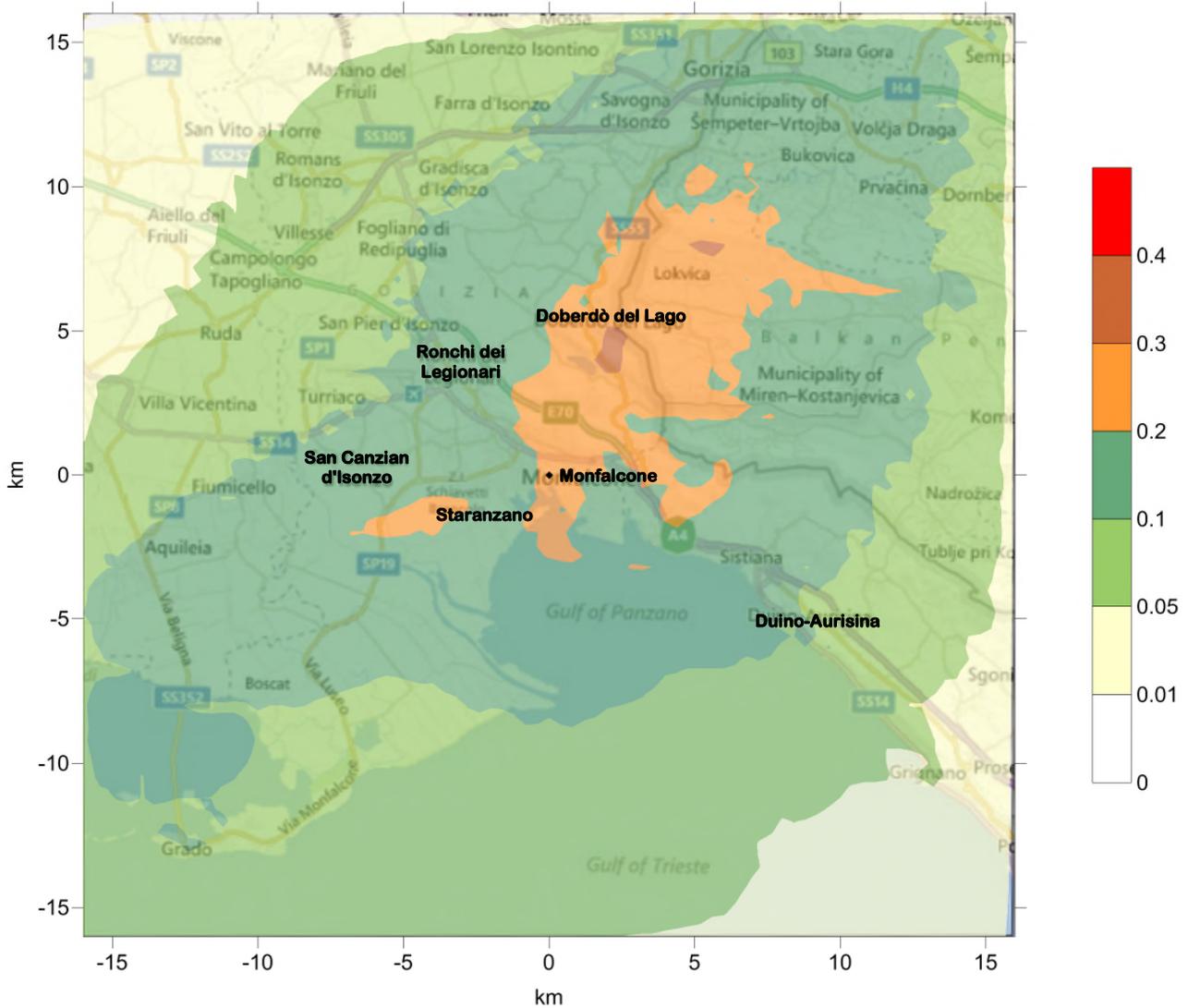


Fig. - 50

Contributo della centrale alle concentrazioni al suolo: concentrazioni medie annue di Cd-Hg-Tl. Configurazione *ante operam*. Valori in  $\text{ng}/\text{m}^3$  secondo la scala a destra.

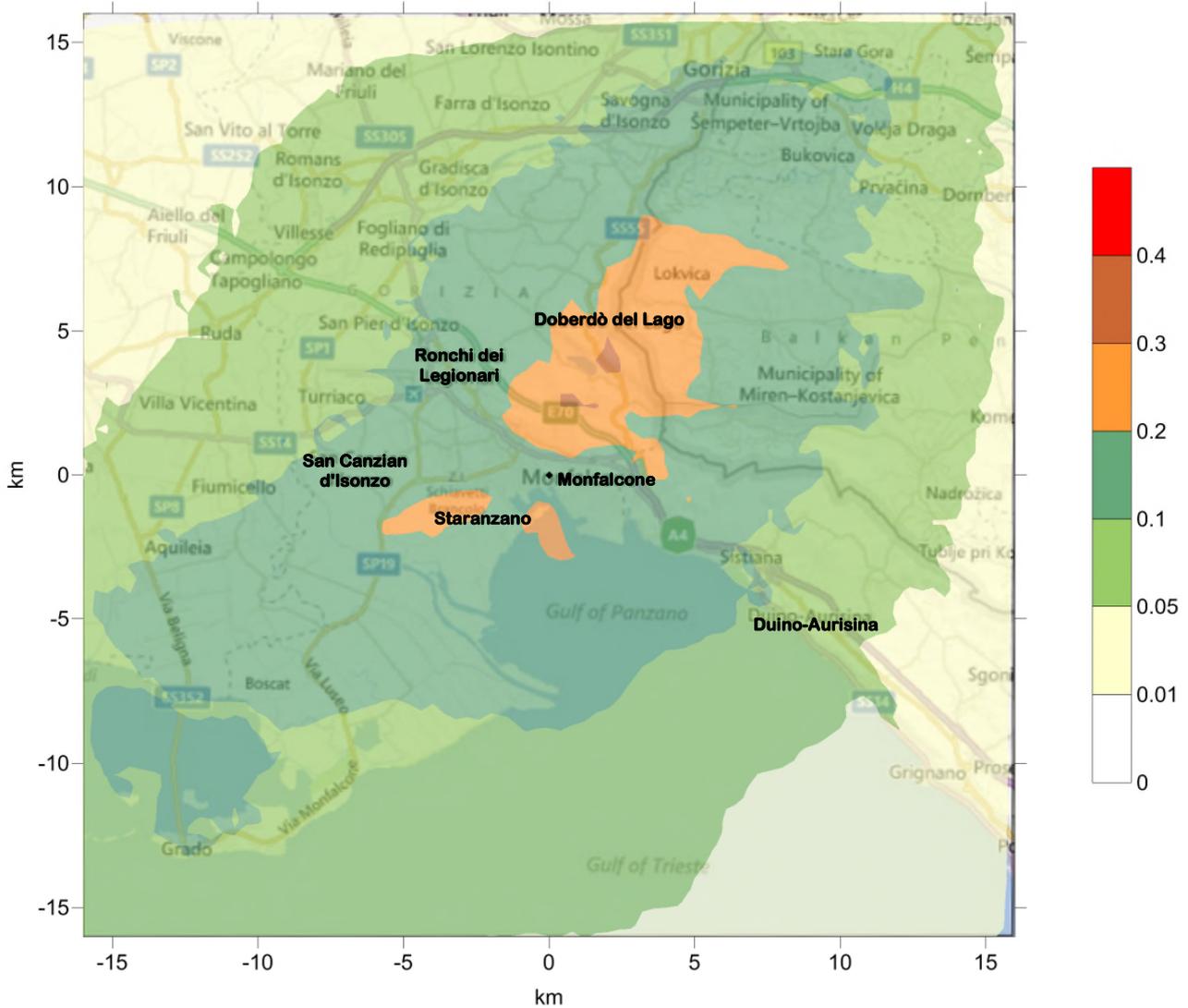


Fig. - 51

Contributo della centrale alle concentrazioni al suolo: concentrazioni medie annue di Cd-Hg-Tl. Configurazione *post operam*. Valori in  $\text{ng/m}^3$  secondo la scala a destra.

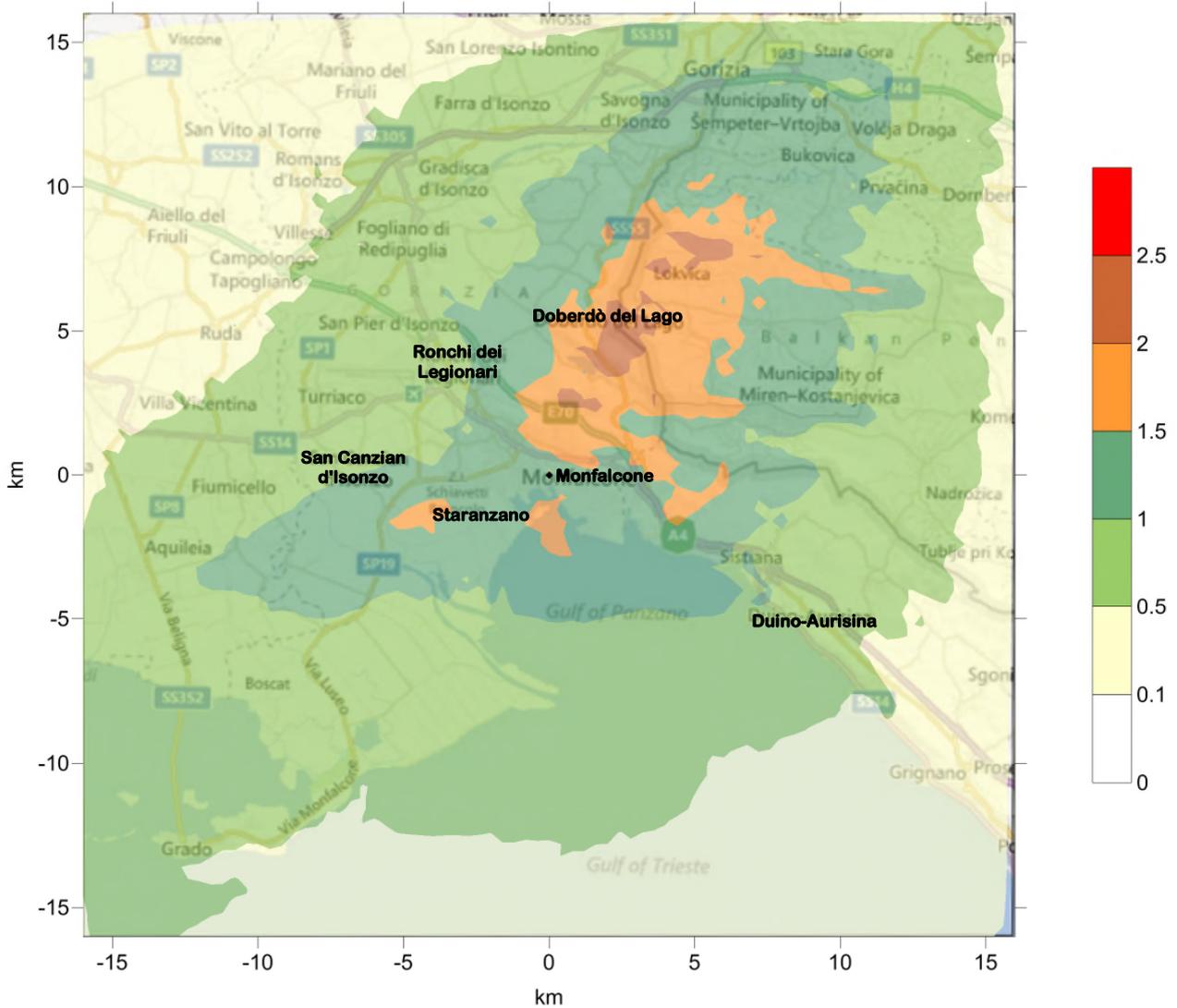


Fig. - 52

Contributo della centrale alle concentrazioni al suolo: concentrazioni medie annue di Se + Te + Ni (pol.) Configurazione *ante operam*. Valori in  $\text{ng/m}^3$  secondo la scala a destra.

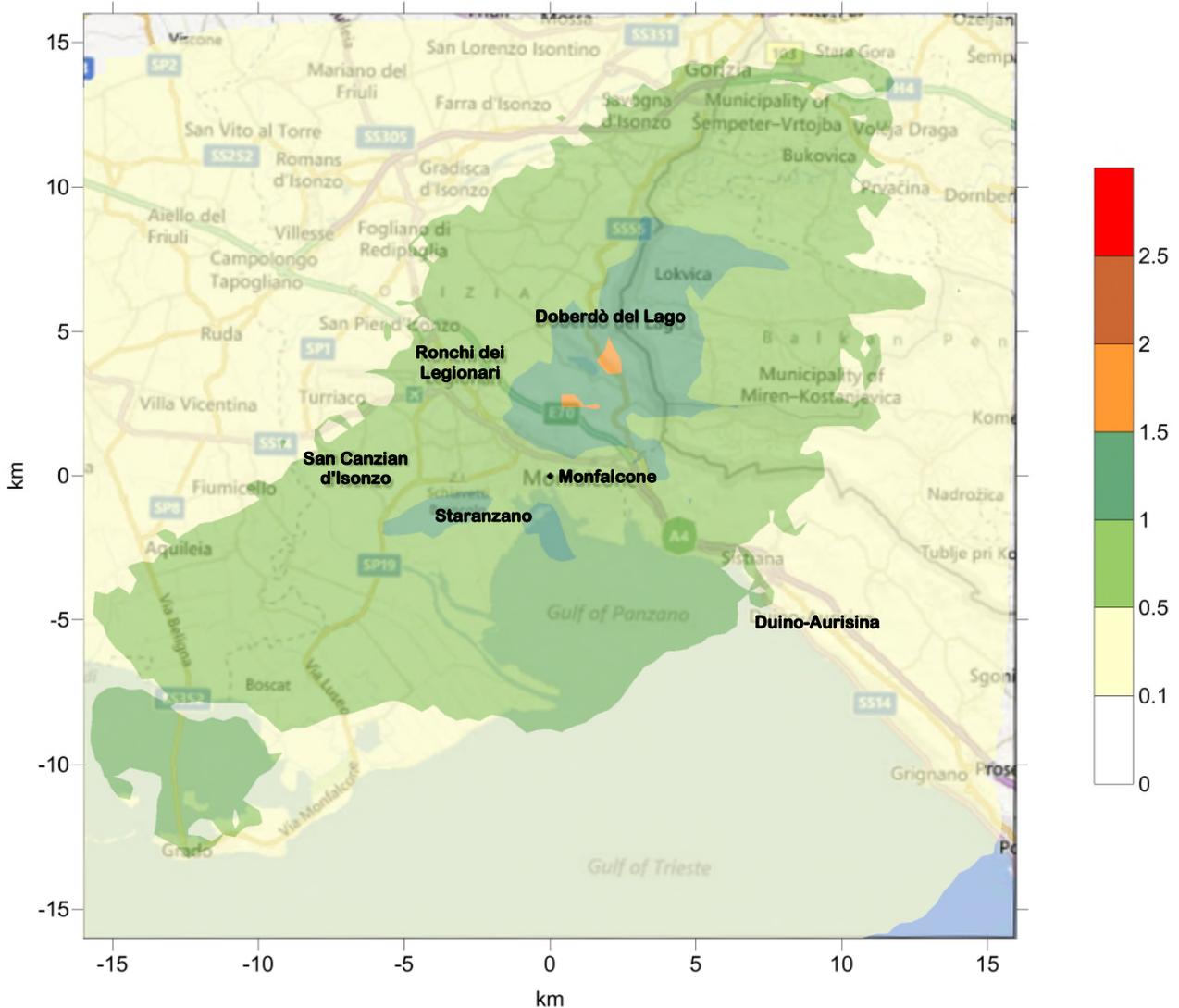


Fig. - 53

Contributo della centrale alle concentrazioni al suolo: concentrazioni medie annue di Se + Te + Ni (pol.) Configurazione *post operam*. Valori in  $\text{ng/m}^3$  secondo la scala a destra.

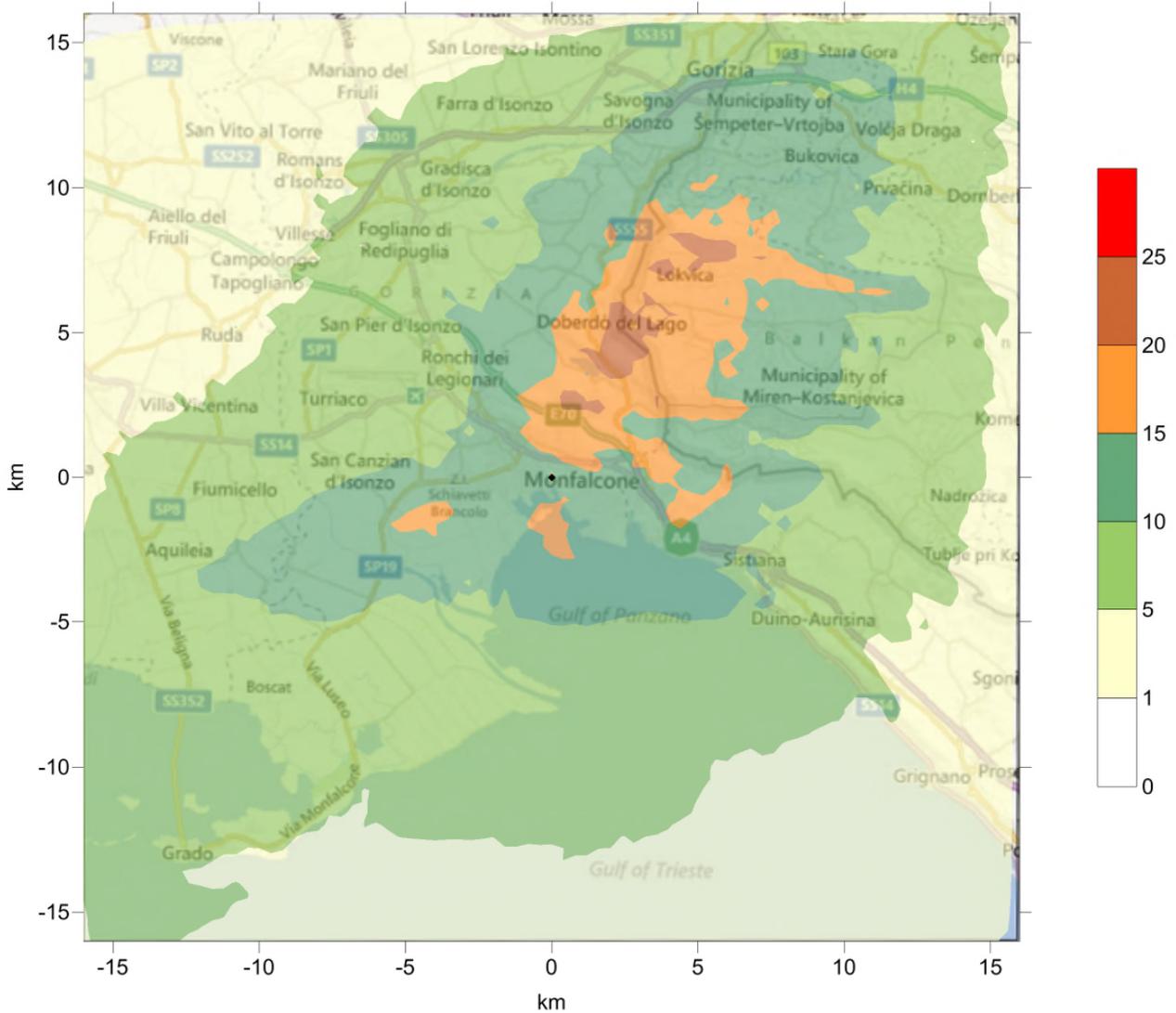


Fig. - 54

Contributo della centrale alle concentrazioni al suolo: concentrazioni medie annue di NH<sub>3</sub>. Configurazione *ante operam*. Valori in ng/m<sup>3</sup> secondo la scala a destra.

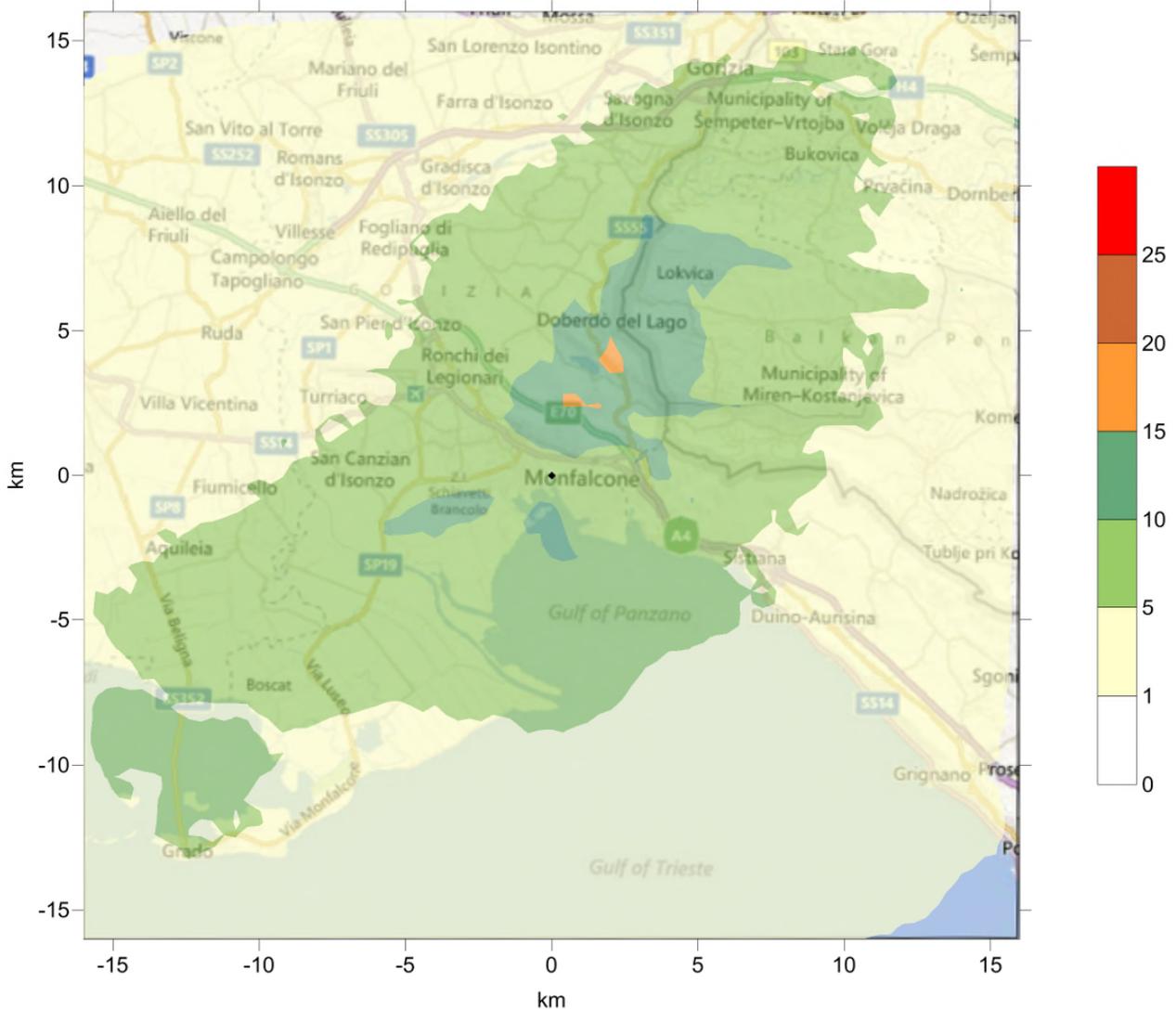


Fig. - 55

Contributo della centrale alle concentrazioni al suolo: concentrazioni medie annue di NH<sub>3</sub>. Configurazione *post operam*. Valori in ng/m<sup>3</sup> secondo la scala a destra.

## **CENTRALE TERMoeLETTRICA DI MONFALCONE**

Installazione del sistema di abbattimento degli Ossidi di Azoto (DeNOx)  
sui gruppi a carbone 1 e 2 per l'adeguamento ai valori limite  
nel rispetto delle MTD

## **CARATTERIZZAZIONE METEOROLOGICA DELL'AREA DI STUDIO**

Allegato A al Doc. P01MF00189

“Valutazione della diffusione atmosferica degli effluenti aeriformi”

Doc. n. P01MF00190-00

Novembre 2013



CENTRALE TERMOELETTRICA DI MONFALCONE  
CARATTERIZZAZIONE METEOROLOGICA  
DELL'AREA DI STUDIO

Elaborato n.  
P01MF00190 Rev.00

Pag. 2 di 46

**A2A** S.p.A.

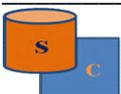
Corso di Porta Vittoria, 4 - 20122 Milano  
T [+39] 02 7720 1 - F [+39] 02 7720 3920  
[www.a2a.eu](http://www.a2a.eu)

---

ing. Massimo Tiberga  
*Project Director*

---

ing. Roberto Scottoni  
*Project Manager*



## INDICE

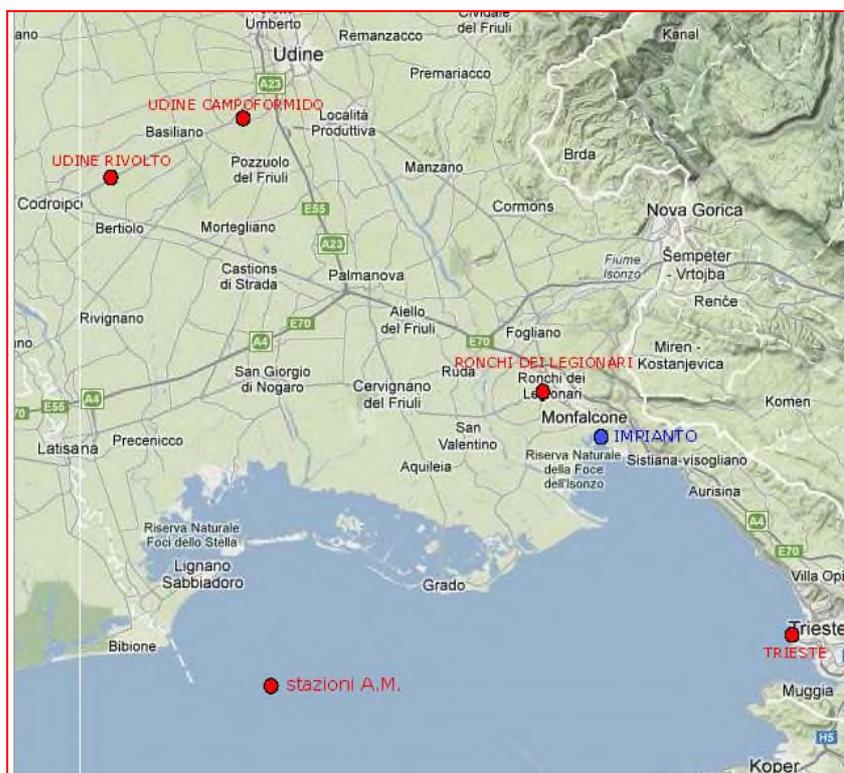
<b>1. INTRODUZIONE .....</b>	<b>4</b>
<b>2. STAZIONE DI TRIESTE .....</b>	<b>6</b>
2.1 Regime Termico.....	6
2.2 Regime Pluviometrico .....	9
2.3 Regime Anemologico .....	12
2.4 Stabilità Atmosferica .....	14
<b>3. STAZIONE DI RONCHI DEI LEGIONARI .....</b>	<b>18</b>
3.1 Regime Termico.....	18
3.2 Regime Pluviometrico .....	20
3.3 Regime Anemologico .....	23
3.4 Stabilità Atmosferica .....	25
<b>4. STAZIONI DI UDINE CAMPOFORMIDO E UDINE RIVOLTO .....</b>	<b>28</b>
4.1 Regime Termico.....	28
4.2 Regime Pluviometrico .....	32
4.3 Regime Anemologico .....	37
4.4 Stabilità Atmosferica .....	40
4.5 Inversioni Termiche.....	44

## 1. INTRODUZIONE

Nel presente Allegato sono riportati i dati utilizzati ai fini della caratterizzazione meteorologica dell'area di studio. Tali dati sono stati rilevati presso le stazioni meteorologiche dell'Aeronautica Militare presenti nelle vicinanze della centrale di Monfalcone. La base statistica e temporale è molto ampia, in quanto le rilevazioni riguardano alcuni decenni.

Le stazioni meteorologiche prese in considerazione sono le seguenti:

- Trieste, distante circa 25 km da Monfalcone, si colloca ad un'altezza di 20 m s.l.m. con dati che vanno dal 1951 al 1991;
- Ronchi dei Legionari, distante circa 4 km da Monfalcone, si colloca ad un'altezza di 12 m s.l.m. con dati che vanno dal 1967 al 1991;
- Udine Campoformido, distante poco meno di 40 km da Monfalcone, si colloca ad un'altezza di 94 m s.l.m. con dati che vanno dal 1951 al 1977;
- Udine Rivolto, distante circa 40 km da Monfalcone, si colloca ad un'altezza di 53 m s.l.m. con dati che vanno dal 1970 al 1991.



Le informazioni climatologiche sono tratte da pubblicazioni ENEL e del Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare.

## 2. STAZIONE DI TRIESTE

Attualmente la stazione meteorologica di riferimento per il Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare relativa all'area litoranea a Nord della città di Trieste è la stazione meteorologica di Trieste Barcola attiva dal 2001 in sostituzione della stazione preesistente A.M. 110 posta nelle vicinanze da cui sono ricavati i dati presentati.

### 2.1 REGIME TERMICO

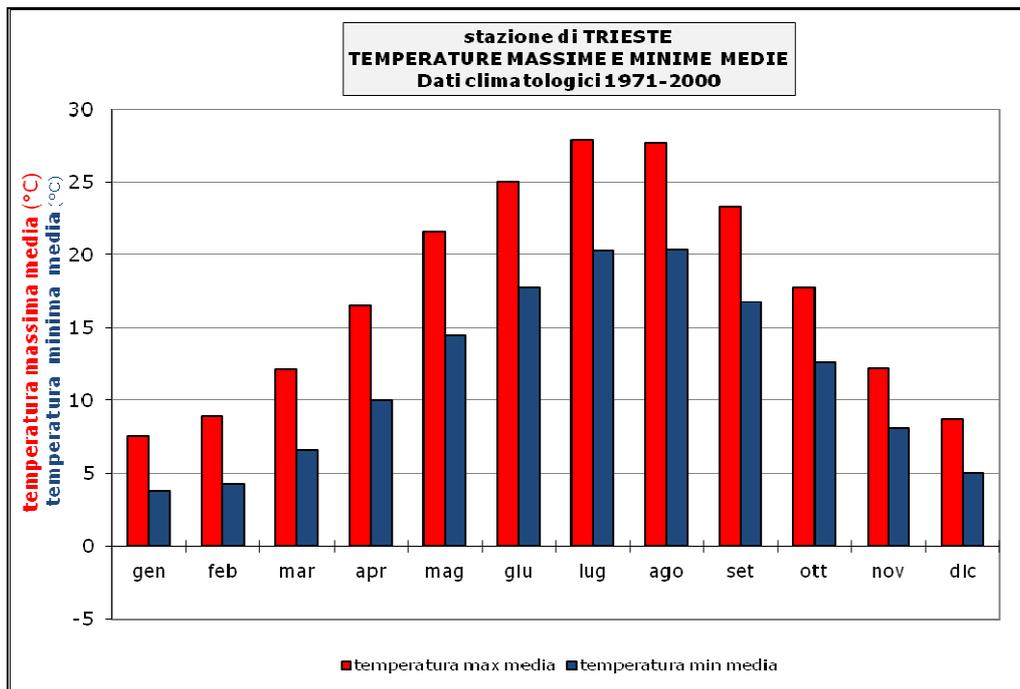
Nella Tabella seguente sono riportati i dati relativi alle temperature, medie, massime e minime annuali rilevate nel trentennio 1961-1990 dal Servizio Idrografico Nazionale - Trieste, 45°39'N, 13°47'E11 m s.l.m)

ANNO	Tmed	Tmax	Tmin
1961	<b>15,3</b>	<b>18,5</b>	12,0
1962	14,0	17,2	10,8
1963	14,1	17,2	11,1
1964	14,5	17,5	11,4
1965	13,9	16,9	10,8
1966	14,9	17,8	12,0
1967	15,0	17,9	12,1
1968	14,5	17,6	11,4
1969	14,4	17,3	11,6
1970	14,2	17,2	11,2
1971	14,4	17,5	11,4
1972	14,3	17,1	11,5
1973	14,5	17,4	11,6
1974	14,6	17,3	11,9
1975	14,9	17,5	<b>12,4</b>
1976	14,2	17,2	11,3
1977	14,5	17,3	11,7
1978	13,7	16,5	10,9
1979	14,4	17,1	11,7
1980	<b>13,5</b>	<b>16,3</b>	<b>10,7</b>
1981	14,3	17,3	11,4
1982	14,8	17,6	11,9
1983	14,5	17,4	11,7
1984	14,0	16,9	11,1
1985	14,2	17,2	11,3
1986	14,5	17,5	11,6
1987	14,4	17,1	11,6
1988	14,9	17,7	12,1
1989	14,6	17,5	11,6
1990	14,8	17,8	11,7
<b>MEDIA 1961-1990</b>	<b>14,4</b>	<b>17,3</b>	<b>11,5</b>

*Tabella - Temperature medie annue rilevate nella stazione di Trieste*

Di seguito, anche per confronto, è riportata la tabella ed il corrispondente grafico con le medie climatiche a livello mensile stagionale e annuo e i valori massimi e minimi assoluti registrati nel trentennio 1971-2000 e pubblicati nell'Atlante Climatico d'Italia del Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare relativo al medesimo trentennio.

(°C)	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	INV	PRI	EST	AUT	anno
T massima media	7,6	9	12,2	16,5	21,6	25	27,9	27,7	23,3	17,8	12,3	8,8	8,5	16,8	26,9	17,8	17,5
T minima media	3,8	4,3	6,6	10	14,5	17,8	20,3	20,4	16,8	12,7	8,1	5	4,4	10,4	19,5	12,5	11,7
T massima assoluta	16,6 -1994	21,2 -1990	21,6 -1976	29 -2000	31,1 -1976	34,3 -1994	35,2 -1994	36 -1988	34,4 -1973	25,9 -1988	20,7 -1996	17,3 -1989	21,2	31,1	36	34,4	36
T minima assoluta	-7,5 -1985	-7,1 -1991	-6,3 -1971	3,2 -1981	6 -1985	10,1 -1975	12,3 -1979	11 -1995	7 -1977	3,7 -1997	-1,5 -1988	-7,9 -1996	-7,9	-6,3	10,1	-1,5	-7,9



**Tabella - Temperature massime e minime medie e assolute a livello mensile, stagionale e annuo per il periodo 1971-2000 rilevate presso la stazione di Trieste**

Le osservazioni relative ai due trentenni risultano al confronto sostanzialmente analoghe.

Dai dati complessivi si osserva che la temperatura media massima annuale è compresa tra 16,3 e 18,5°C con un valore medio di 17,3 per il primo trentennio e 17,5 per il secondo. La temperatura media minima è compresa tra 10,7 e 12,4°C con un valore medio di 11,5 per il primo trentennio e 11,7°C per il secondo. La temperatura media per la stazione risulta essere 14,4°C nel primo trentennio e 14,6°C nel secondo.

## 2.2 REGIME PLUVIOMETRICO

Nella Tabella seguente sono riportati i dati relativi alle precipitazioni mensili e annuali nel quarantennio 1951-1991 rilevate presso la stazione A.M. di Trieste

Anno	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Totale
1951	125	107	115	46	82	68	71	13	170	22	121	83	1023
1952	101	121	34	44	43	44	100	82	89	197	55	152	1062
1953	25	25	0	46	131	94	52	119	109	82	22	122	827
1954	31	42	75	90	77	42	62	58	123	68	68	58	794
1955	73	118	59	5	110	84	71	49	61	99	25	97	851
1956	66	15	16	135	55	130	72	81	162	155	62	29	978
1957	9	60	17	125	65	73	138	74	41	45	35	37	719
1958	112	80	54	87	8	82	85	47	71	105	76	154	961
1959	75	2	61	109	132	114	60	120	64	51	137	165	1090
1960	47	124	126	11	13	152	136	157	206	196	135	105	1408
1961	111	28	69	122	63	108	139	36	37	153	144	72	1082
1962	94	38	122	137	90	54	86	6	85	52	203	43	1010
1963	98	77	76	56	67	129	94	213	104	56	104	61	1135
1964	1	24	110	89	51	27	68	112	96	199	54	109	940
1965	129	4	77	80	121	121	177	82	274	0	184	126	1375
1966	33	76	54	122	67	92	76	160	48	198	162	62	1150
1967	63	40	45	90	78	97	53	30	112	53	193	58	912
1968	62	201	9	76	78	104	73	154	162	10	132	107	1168
1969	58	131	67	69	88	101	43	164	173	20	193	36	1143
1970	94	58	181	162	77	74	51	177	42	33	127	83	1159
1971	102	40	110	75	110	118	54	83	42	34	133	63	964
1972	76	110	66	91	101	115	40	107	120	40	145	64	1075
1973	72	67	1	104	40	120	39	24	188	53	93	56	857
1974	48	62	31	60	63	177	91	88	142	193	93	53	1101
1975	32	0	163	137	130	175	116	89	114	54	109	118	1237
1976	22	81	41	97	44	63	75	91	125	124	82	184	1029
1977	137	101	30	91	50	37	151	312	49	21	76	70	1125
1978	118	56	62	109	132	45	70	49	93	43	55	152	984
1979	165	85	139	107	14	86	16	82	119	94	149	87	1143
1980	46	20	90	73	51	172	90	101	108	209	224	93	1277
1981	42	25	95	58	118	97	57	22	174	122	29	243	1082
1982	51	12	70	17	158	93	15	78	50	187	88	101	920
1983	23	56	69	48	134	52	24	39	73	68	16	108	710
1984	138	78	46	46	107	109	64	137	135	82	52	90	1084
1985	94	66	95	104	67	75	34	76	12	41	101	67	832
1986	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1987	65	271	22	67	102	172	50	52	73	148	161	36	1219
1988	79	105	90	39	86	-	21	111	34	26	8	0	599
1989	0	47	131	114	41	152	46	154	66	33	89	36	909
1990	11	33	64	69	21	83	101	91	117	164	99	51	904
1991	45	109	25	44	236	144	36	25	25	165	174	18	1046

Tabella - Precipitazioni Mensili e Annue nella Stazione A.M. di Trieste

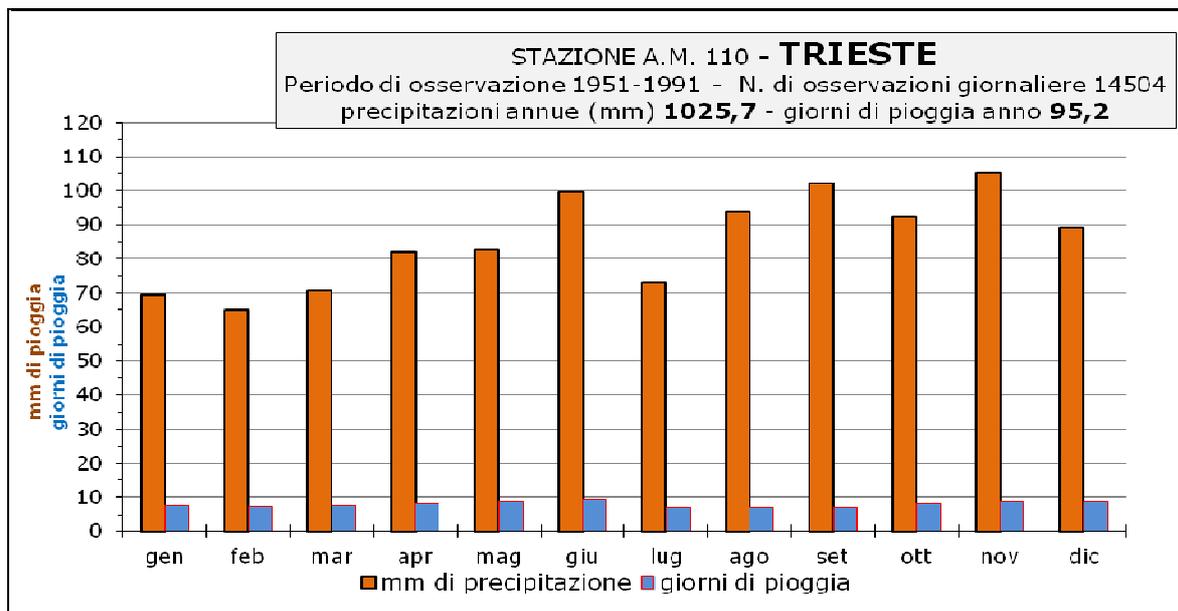
Di seguito è riportata la tabella statistica riepilogativa ed il corrispondente grafico di precipitazioni rilevate nella stazione A.M. di Trieste in cui sono riportati i valori massimi giornalieri, le medie mensili ed annua e il numero di giorni di pioggia. Essi sono estratti dalla raccolta "Caratteristiche diffusive dell'atmosfera" (ENEL - Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare) relative allo stesso quarantennio.

ELABORAZIONE DI DATI METEOROLOGICI - COLLABORAZIONE SERVIZIO METEOROLOGICO A.M. - ENEL  
STAZIONE METEOROLOGICA A.M.110 - **TRIESTE** - LAT.45°39' - LONG.13°45' - ALT.20 M  
PERIODO DI OSSERVAZIONE DAL 1/1951 AL 12/1991  
NUMERO DI OSSERVAZIONI GIORNALIERE 14504

**PRECIPITAZIONI**  
VALORI MASSIMI GIORNALIERI - PRIMI 5 EVENTI  
MEDIE MENSILI  
NUMERO MEDIO DI GIORNI DI PIOGGIA

	MESE												INTERO PERIODO
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
VALORI	54	80	55	52	83	88	59	174	152	88	55	69	174
MASSIMI	38	50	46	49	54	73	58	59	104	70	55	56	152
(mm)	37	47	46	48	48	62	54	59	94	56	54	54	104
	35	45	39	45	43	60	53	57	84	56	52	54	94
	35	39	32	45	41	55	52	56	70	56	52	48	88
VALORE MEDIO (mm)	69.4	65.0	70.7	82.0	82.7	99.6	73.2	93.7	102.3	92.4	105.2	89.4	1025.7
GIORNI DI PIOGGIA	7.5	7.2	7.7	8.1	8.8	9.3	6.9	7.0	6.9	8.2	8.9	8.7	95.2
N. OSS.	1239	1127	1230	1188	1237	1186	1226	1238	1198	1238	1199	1198	14504

NOTA: sono riportati i 5 valori estremali in quanto non è possibile adottare criteri di filtraggio per eliminare eventuali anomalie.



**Tabella - Precipitazioni Medie Mensili e Annue, valori massimi giornalieri e numero di giorni piovosi nella Stazione A.M. di Trieste**

Dai dati disponibili, costituiti da 14504 osservazioni giornaliere, emerge che i valori medi più elevati sono registrati nei mesi di giugno e novembre con un massimo registrato nell'agosto del 1977 (312 mm).

I valori medi meno elevati si presentano mediamente nel mese di febbraio; non si sono registrate precipitazioni nel marzo del 1953, ottobre 1965, marzo 1973, febbraio 1975, dicembre 1988 e nel gennaio 1989; non si hanno osservazioni per l'anno 1986.

Considerando le precipitazioni totali annuali, si riscontra come l'anno con le precipitazioni più elevate sia stato il 1960 (1.480 mm), mentre il meno piovoso sia stato il 1988 (599 mm); il valore medio del periodo si attesta attorno a 1.025,7 mm di pioggia. I giorni con pioggia risultano mediamente tra i 7 e i 9 al mese con una media annua nel periodo di 95,2 giorni di pioggia.

## 2.3 REGIME ANEMOLOGICO

Nella Tabella seguente sono riportate, per la stazione A.M. di Trieste, le frequenze di provenienza del vento raggruppate in sei classi di velocità (in nodi) e in sedici classi di direzione (22,5° a partire dal Nord geografico), una classe è assegnata ai venti di direzione variabile e una alle calme ( $v \leq 1$  nodo). Nei grafici successivi sono mostrate le rose dei venti a livello annuale e stagionale. Le osservazioni sono relative al periodo 1951-1991 ed assommano a 104401.

ELABORAZIONE DI DATI METEOROLOGICI - COLLABORAZIONE SERVIZIO METEOROLOGICO A.M. - ENEL  
 STAZIONE METEOROLOGICA A.M. 108 - **TRIESTE** - LAT.45°39' LONG.13°45' ALT.20 M  
 PERIODO DI OSSERVAZIONE DAL 1/1951 AL 12/1991  
 DIREZIONE E VELOCITA' DEL VENTO  
 NUMERO DELLE OSSERVAZIONI 104401  
 DISTRIBUZIONE DELLE FREQUENZE ANNUALI (%)

S E T T O R I		CLASSI DI VELOCITA' (NODI)						
N.	GRADI	0 - 1	2 - 4	5 - 7	8 - 12	13 - 23	≥ 24	TOTALE
1	0.0 - 22.5		3.36	1.72	1.09	0.72	0.21	7.10
2	22.5 - 45.0		9.56	9.54	11.18	9.28	2.27	41.84
3	45.0 - 67.5		17.26	22.18	34.00	29.24	5.52	108.20
4	67.5 - 90.0		27.39	24.02	36.85	36.30	8.86	133.42
5	90.0 - 112.5		35.18	14.60	10.03	2.44	0.07	62.31
6	112.5 - 135.0		34.12	11.27	5.08	0.83	0.01	51.31
7	135.0 - 157.5		15.00	4.97	2.11	0.32	0.00	22.41
8	157.5 - 180.0		8.05	2.77	1.96	0.53	0.03	13.33
9	180.0 - 202.5		7.10	3.44	2.57	1.23	0.05	14.39
10	202.5 - 225.0		9.15	4.43	3.12	0.80	0.04	17.54
11	225.0 - 247.5		10.14	5.34	2.93	0.68	0.03	19.10
12	247.5 - 270.0		16.05	5.94	2.63	0.30	0.03	24.96
13	270.0 - 292.5		19.04	5.12	1.92	0.26	0.01	26.36
14	292.5 - 315.0		13.81	4.26	1.27	0.30	0.04	19.69
15	315.0 - 337.5		10.47	3.90	1.16	0.28	0.04	15.85
16	337.5 - 360.0		5.51	1.93	0.60	0.26	0.04	8.34
DIREZIONE VARIABILE			0.10	0.04	0.05	0.01	0.00	0.19
CALME ( ≤ 1 NODO )		413.66						413.66
TOTALE		413.66	241.29	125.46	118.55	83.79	17.24	1000.00

**Tabella - Direzioni del vento in funzione delle classi di velocità: distribuzione delle frequenze annuali nella stazione A.M. di Trieste.**

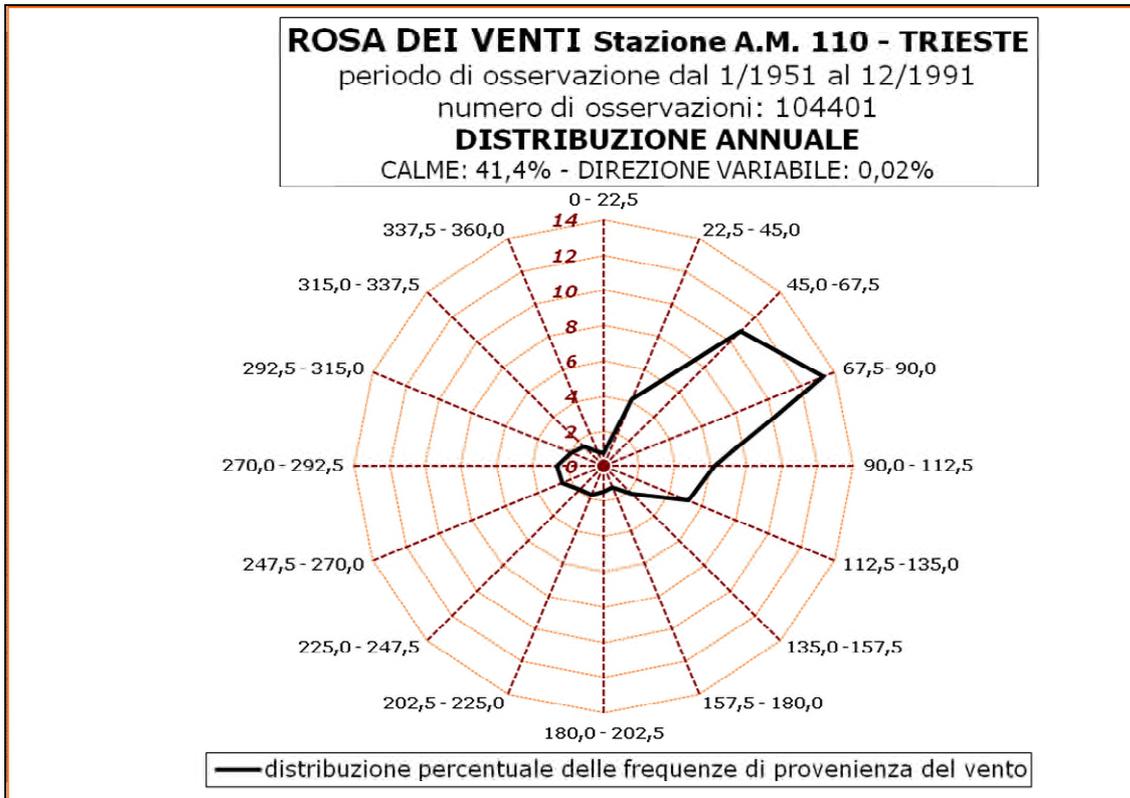
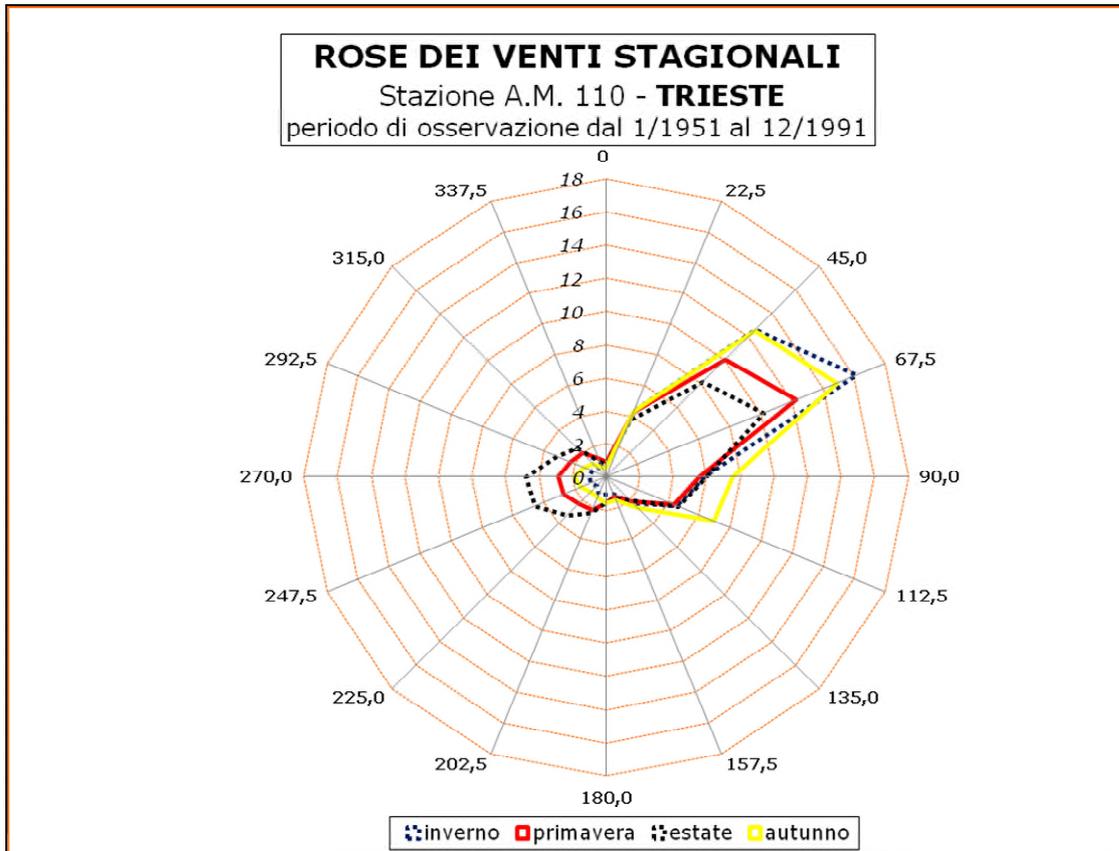


Grafico – Rosa dei venti annuale per la stazione A.M. di Trieste



*Grafico – Rose dei venti stagionali per la stazione A.M. di Trieste*

Dai dati presentati si evince come siano predominanti i venti con velocità tra 0-1 nodo (le cosiddette “calme di vento”) e tra i 2-4 nodi, con direzioni di provenienza prevalenti da E-N-E e N-E (67,5-90° e 45-67,5°).

## 2.4 STABILITÀ ATMOSFERICA

La stabilità atmosferica, di norma definita attraverso il gradiente termico verticale esistente, costituisce un parametro molto importante per gli studi concernenti la dispersione degli inquinanti in aria. Infatti da essa dipendono le modalità della dispersione nello strato limite atmosferico.

Per lo studio dei problemi di diffusione si utilizza la classificazione della stabilità atmosferica originariamente introdotta da Pasquill-Gifford in sei categorie o

classi di stabilità contrassegnate dalle lettere dalla A, B, C, D, E, F+G dalla più instabile alla più stabile.

La nebbia, definita in meteorologia come una meteora che riduce la visibilità a meno di un chilometro, non viene classificata in nessuna classe ma occupa una categoria a parte, data la particolare struttura dell'atmosfera caratterizzata dalla presenza di un'inversione di temperatura.

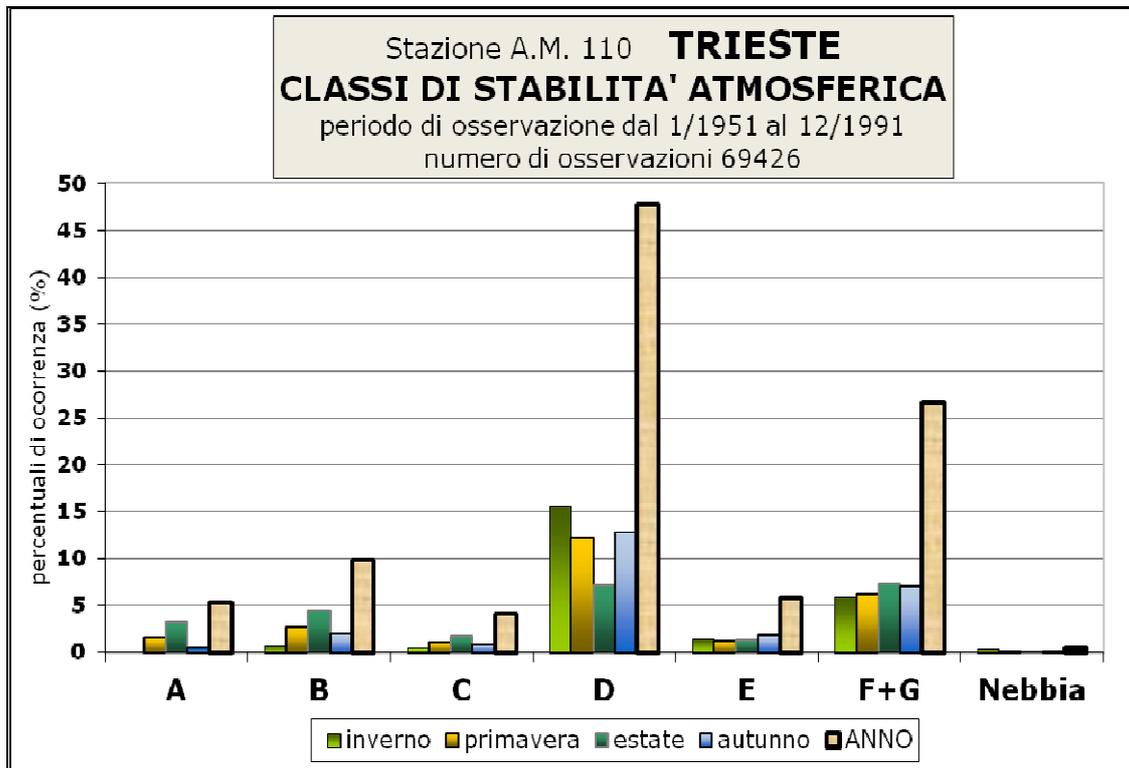
Nella tabella e corrispondente grafico seguente è riportata, per la stazione A.M. di Trieste, la distribuzione stagionale e annuale di occorrenza delle classi di stabilità atmosferica. Le elaborazioni sono relative al periodo 1951-1991 ed assommano a 69426.

ELABORAZIONE DI DATI METEOROLOGICI - COLLABORAZIONE SERVIZIO METEOROLOGICO A.M. - ENEL  
STAZIONE METEOROLOGICA A.M. 110 - **TRIESTE** - LAT.45°39' -LONG.13°45' -ALT.20 M  
PERIODO DI OSSERVAZIONE DAL 1/1951 AL 12/1991  
NUMERO DELLE OSSERVAZIONI 69426

### CLASSI DI STABILITA'

DISTRIBUZIONE DELLE FREQUENZE STAGIONALI E ANNUALI (%)

STAGIONI	CLASSI DI STABILITA'							NEBBIA	TOTALE
	A	B	C	D	E	F + G			
DIC-GEN-FEB	0.00	7.68	4.32	156.12	14.46	59.88	3.50	245.96	
MAR-APR-MAG	15.82	27.11	11.36	121.93	12.06	62.37	0.82	251.46	
GIU-LUG-AGO	32.06	44.06	16.54	71.49	13.29	73.75	0.03	251.22	
SET-OTT-NOV	5.19	19.69	8.89	128.77	18.05	70.56	0.22	251.36	
TOTALE	53.06	98.54	41.11	478.31	57.86	266.56	4.57	1000.00	



**Tabella e Grafico: Distribuzione delle Frequenze Stagionali e Annuali delle classi di stabilità atmosferica secondo Pasquill nella Stazione A.M. di Trieste**

Dai dati si può rilevare la predominanza assoluta delle classi D (neutra) con il 47,8% e della F+G (stabile) con il 26,6%. Il fenomeno nebbia risulta poco frequente con una occorrenza minore dello 0,5% .

Di seguito sono presentate graficamente le Joint Frequency Function cioè le frequenze annuali di direzione del vento per ciascuna classe di stabilità atmosferica (limitate, per chiarezza, alla sola distinzione tra classi instabile, neutra e stabile).

### ROSE DEI VENTI PER CLASSI DI STABILITA' TRIESTE

CALME A: 62,6% - CALME D: 34,4% - CALME F+G: 65,6%

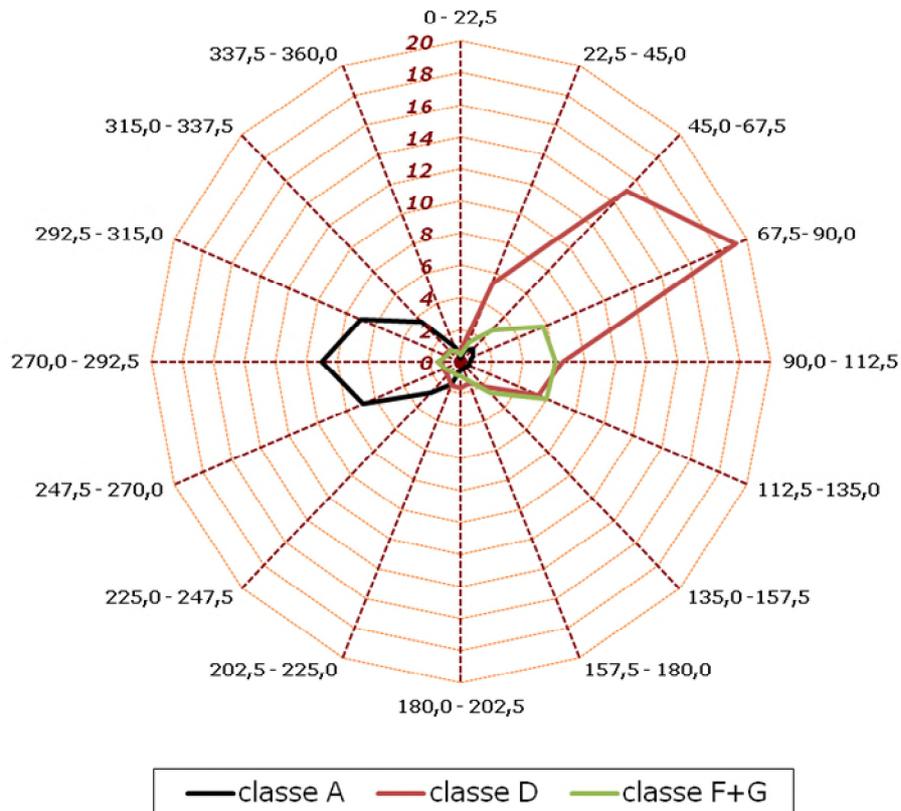


Tabella: Rose dei venti per Classi di Stabilità (A-D-F+G) nella Stazione A.M. di Trieste

### 3. STAZIONE DI RONCHI DEI LEGIONARI

La stazione meteorologica di Ronchi dei Legionari è la stazione meteorologica di riferimento per il Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare e l'OMM relativamente alla parte pianeggiante della provincia di Gorizia e alla pianura friulana sudorientale. La stazione, ora gestita dall'Enav, si trova nell'area climatica della pianura friulana, nel comune di Ronchi dei Legionari, presso l'aeroporto omonimo, a 12 metri s.l.m. e alle coordinate geografiche 45°49'N 13°29'E.

#### 3.1 REGIME TERMICO

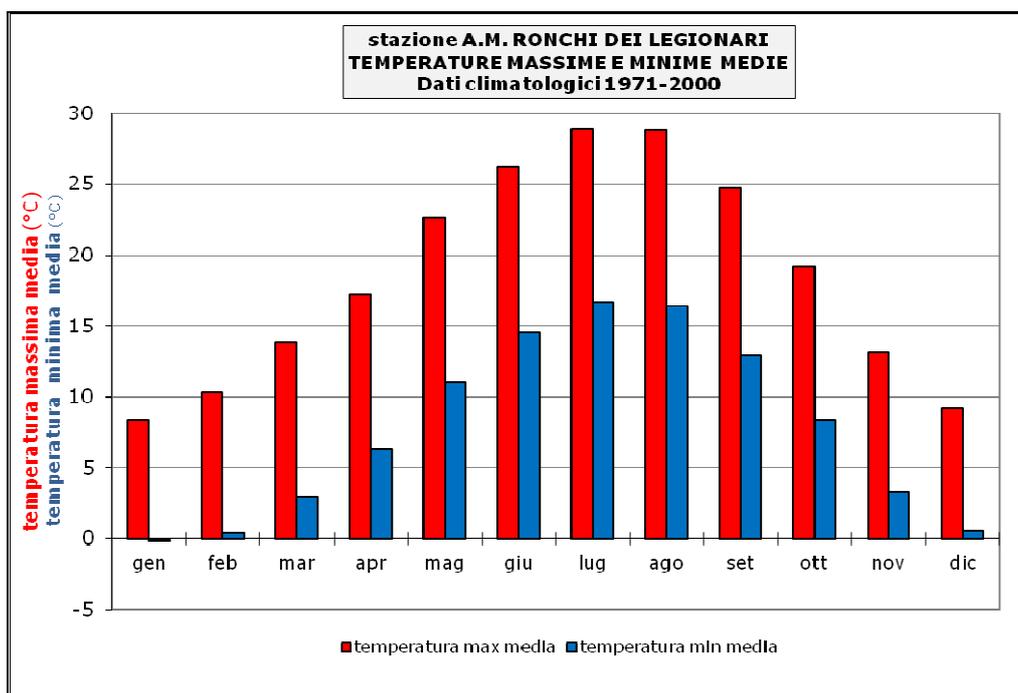
Nella Tabella seguente sono riportati i dati relativi alle temperature, medie, massime e minime annuali rilevate nel periodo 1967-1991 nella stazione A.M. di Ronchi dei Legionari.

ANNO	Media	Massima	Minima
1967	13,2	18,2	8,4
1968	13,0	17,9	8,2
1969	12,8	17,9	7,9
1970	12,6	17,9	7,7
1971	12,9	18,3	7,7
1972	12,9	17,8	8,1
1973	12,8	18,4	7,2
1974	13,1	18,5	7,9
1975	13,4	19,0	8,4
1976	12,7	18,3	7,6
1977	13,0	18,5	8,1
1978	12,0	17,7	7,0
1979	12,8	18,2	7,7
1980	11,9	17,5	6,7
1981	12,4	18,2	7,1
1982	13,2	19,0	7,9
1983	13,0	19,0	7,4
1984	12,6	18,1	7,6
1985	12,9	18,7	7,6
1986	13,1	18,9	7,8
1987	12,9	18,0	8,0
1988	13,4	18,0	8,4
1989	13,2	19,1	8,6
1990	13,9	17,4	7,8
1991	12,8	17,2	8,0
<b>MEDIA 1967-1991</b>	<b>12,9</b>	<b>18,2</b>	<b>7,8</b>

**Tabella - Temperature Medie Annue rilevate nella stazione A.M. di Ronchi dei Legionari**

Di seguito, anche per confronto, è riportata la tabella ed il corrispondente grafico con le medie climatiche a livello mensile stagionale e annuo e i valori massimi e minimi assoluti registrati nel trentennio 1971-2000 nella stessa stazione di Ronchi dei Legionari e pubblicati nell'Atlante Climatico d'Italia del Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare relativo al medesimo trentennio.

(°C)	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	INV	PRI	EST	AUT	anno	
T massima media	8,1	10	13,4	17,3	22,4	25,9	28,9	28,3	24,8	19,5	13,3	8,9	9,3	17,9	28	19	18,5	
T minima media	-0,5	0,8	3,1	6,4	10,8	14,3	16,5	16,1	13	8,2	3,6	0,3	0,2	6,8	15,9	8,2	7,8	
T massima assoluta	20,8 -1989	24 -1990	26 -1977	28,5 -2000	32 -1979	35,7 -1996	36 -1982	37,7 -1998	36 -1985	28,7 -1975	22,5 -1983	17,4 -1979		24	32	37,7	36	37,7
T minima assoluta	13,6 -1985	-11 -1987	-8,2 -1987	-2,7 -1981	1,6 -1979	5,4 -1980	9,3 -2000	6,7 -1995	2 -1977	-4,4 -1973	-7,4 -1988	-11,9 -1996	-13,6	-8,2	5,4	-7,4	-13,6	



**Tabella - Temperature massime e minime medie e assolute a livello mensile, stagionale e annuo per il periodo 1971-2000 rilevate presso la stazione A.M. di Ronchi dei Legionari.**

Le osservazioni relative ai due periodi temporalmente diversi risultano al confronto sostanzialmente analoghe.

Dai dati complessivi si osserva che la temperatura media massima annuale è compresa tra 19,1 e 17,2°C con un valore medio di 18,2°C per il periodo 1967-1991 e 18,5°C per il trentennio 1971-2000. La temperatura media minima è compresa tra 6,7 e 8,6°C con un valore medio di 7,8°C riscontrato in entrambi i periodi. La temperatura media per la stazione risulta essere 12,9°C nel primo periodo e 13,1°C nel secondo.

### 3.2 REGIME PLUVIOMETRICO

Nella Tabella seguente sono riportati i dati relativi alle precipitazioni mensili e annuali nel periodo 1967-1991 rilevate presso la stazione A.M. di Ronchi dei Legionari.

Anno	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Totale
1967	39	67	45	89	88	135	41	36	199	147	189	31	1106
1968	33	229	3	51	54	69	68	145	163	25	127	94	1061
1969	78	125	77	44	74	94	34	160	100	29	169	30	1014
1970	144	43	199	160	82	78	79	114	28	34	104	146	1211
1971	127	41	117	100	187	150	42	76	31	20	116	68	1075
1972	86	115	94	176	169	124	82	137	120	80	151	72	1406
1973	72	88	2	141	23	62	100	29	173	128	56	59	933
1974	36	115	40	100	95	143	18	59	142	136	76	10	970
1975	27	1	116	138	147	113	114	175	78	73	111	106	1199
1976	22	96	17	130	56	26	45	134	266	208	119	166	1285
1977	162	116	15	77	56	69	153	159	49	46	73	73	1048
1978	139	88	42	165	175	121	62	89	164	88	41	134	1308
1979	190	65	153	107	10	44	49	159	114	79	125	84	1179
1980	54	13	69	58	53	162	156	100	58	198	189	81	1191
1981	23	18	95	32	122	83	131	51	182	145	16	216	1114
1982	25	17	356	7	105	151	40	67	129	279	207	62	1445
1983	13	79	72	180	103	162	60	102	103	86	46	169	1175
1984	123	65	249	46	97	0	262	70	147	150	75	75	1359
1985	141	0	134	90	0	115	27	27	11	58	130	121	854
1986	62	54	71	105	92	96	49	120	78	43	81	573	1424
1987	70	133	37	82	105	115	57	79	96	349	221	29	1373
1988	143	76	132	60	155	109	69	126	29	53	22	0	974
1989	101	51	79	125	45	99	72	164	54	13	-	-	803
1990	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1991	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

**Tabella - Precipitazioni Mensili e Annue nella Stazione A.M. di Ronchi dei Legionari**

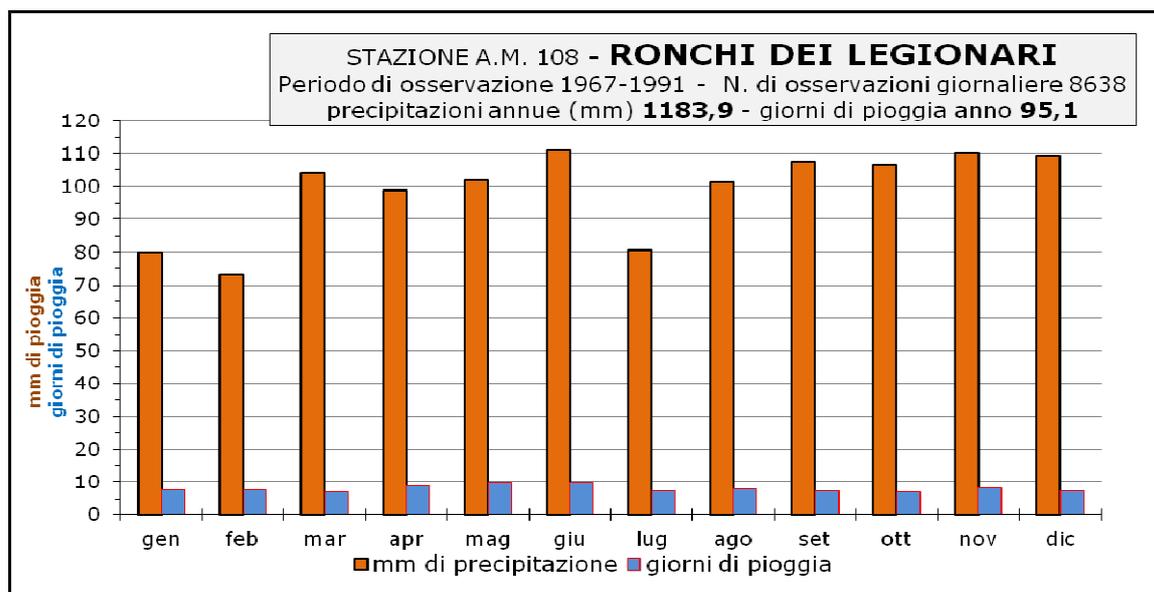
Di seguito è riportata la tabella statistica riepilogativa ed il corrispondente grafico di precipitazioni rilevate nella stazione A.M. di Ronchi dei Legionari in cui sono riportati i valori massimi giornalieri, le medie mensili ed annua e il numero di giorni di pioggia. Essi sono estratti dalla raccolta "Caratteristiche diffusive dell'atmosfera" (ENEL-Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare) relative allo stesso periodo.

ELABORAZIONE DI DATI METEOROLOGICI - COLLABORAZIONE SERVIZIO METEOROLOGICO A.M. - ENEL  
STAZIONE METEOROLOGICA A.M.108- **RONCHI DEI LEGIONARI** - LAT.45°49' -LONG.13°29' -ALT.12 M  
PERIODO DI OSSERVAZIONE DAL 1/1967 AL 12/1991  
NUMERO DI OSSERVAZIONI GIORNALIERE 8638

**PRECIPITAZIONI**  
VALORI MASSIMI GIORNALIERI - PRIMI 5 EVENTI  
MEDIE MENSILI  
NUMERO MEDIO DI GIORNI DI PIOGGIA

	MESE												INTERO PERIODO
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
VALORI MASSIMI	100	51	330	111	99	111	116	79	95	131	100	490	490
(mm)	50	40	200	58	50	72	111	69	78	99	89	72	330
PRIMI 5 VALORI MASSIMI	44	39	100	53	50	69	74	64	59	96	62	58	200
(mm)	42	39	100	52	47	68	72	63	58	74	56	55	131
	40	36	72	47	46	47	67	59	57	68	54	51	116
VALORE MEDIO (mm)	80.1	73.2	104.2	99.1	102.1	111.1	80.5	101.4	107.8	106.9	110.1	109.1	1183.9
GIORNI DI PIOGGIA	7.7	7.6	7.1	8.7	9.8	9.7	7.4	7.8	7.3	6.9	8.1	7.2	95.1
N. OSS.	756	673	746	727	739	688	739	731	702	724	717	696	8638

NOTA: sono riportati i 5 valori estremali in quanto non è possibile adottare criteri di filtraggio per eliminare eventuali anomalie.



**Tabella - Precipitazioni Medie Mensili e Annue, valori massimi giornalieri e numero di giorni piovosi nella Stazione A.M. di Ronchi dei Legionari.**

Dai dati disponibili, costituiti da 8638 osservazioni giornaliere, emerge che i valori medi più elevati sono registrati nei mesi di giugno e novembre con un massimo registrato nel dicembre del 1986 (573 mm).

I valori medi meno elevati si presentano mediamente nel mese di febbraio ;non si sono registrate precipitazioni nel giugno del 1984, febbraio e maggio del 1985 e dicembre 1988; non si hanno osservazioni per gli anni 1990 e 1991.

Considerando le precipitazioni totali annuali, si riscontra come l'anno con le precipitazioni più elevate sia stato il 1986 (1.424 mm), mentre il meno piovoso sia stato il 1985 (854 mm); il valore medio del periodo si attesta attorno a 1.183,9 mm di pioggia. I giorni con pioggia risultano mediamente tra i 7 e i 10 al mese con una media annua nel periodo di 95,1 giorni di pioggia.

### 3.3 REGIME ANEMOLOGICO

Nella Tabella seguente sono riportate, per la stazione A.M. di Ronchi dei Legionari, le frequenze di provenienza del vento raggruppate in sei classi di velocità (in nodi) e in sedici classi di direzione (22,5° a partire dal Nord geografico), una classe è assegnata ai venti di direzione variabile e una alle calme ( $v \leq 1$  nodo). Nei grafici successivi sono mostrate le rose dei venti a livello annuale e stagionale. Le osservazioni sono relative al periodo 1967-1991 ed assommano a 69942.

ELABORAZIONE DI DATI METEOROLOGICI - COLLABORAZIONE SERVIZIO METEOROLOGICO A.M. - ENEL  
**STAZIONE METEOROLOGICA A.M.108- RONCHI DEI LEGIONARI - LAT.45°49' LONG.13°29' ALT.12 M**  
 PERIODO DI OSSERVAZIONE DAL 1/1967 AL 12/1991  
**DIREZIONE E VELOCITA' DEL VENTO**  
 NUMERO DELLE OSSERVAZIONI **69942**  
**DISTRIBUZIONE DELLE FREQUENZE ANNUALI (%)**

SETTORI		CLASSI DI VELOCITA' (NODI)						
N.	GRADI	0 - 1	2 - 4	5 - 7	8 - 12	13 - 23	≥24	TOTALE
1	0.0 - 22.5		10.08	4.22	1.37	0.40	0.20	16.28
2	22.5 - 45.0		11.61	5.73	2.34	1.64	0.39	21.70
3	45.0 - 67.5		16.22	10.43	8.17	8.51	2.31	45.63
4	67.5 - 90.0		22.32	19.61	20.48	20.83	3.70	86.93
5	90.0 - 112.5		19.23	19.59	17.10	9.65	0.54	66.11
6	112.5 - 135.0		11.88	10.67	6.19	1.62	0.08	30.43
7	135.0 - 157.5		10.02	8.66	4.11	1.02	0.08	23.90
8	157.5 - 180.0		10.87	8.15	4.73	2.27	0.10	26.12
9	180.0 - 202.5		10.31	9.09	6.10	1.98	0.08	27.56
10	202.5 - 225.0		13.74	13.67	6.03	0.79	0.09	34.32
11	225.0 - 247.5		8.85	7.89	2.59	0.26	0.06	19.64
12	247.5 - 270.0		6.06	4.04	1.45	0.12	0.07	11.74
13	270.0 - 292.5		6.38	3.21	0.61	0.12	0.05	10.37
14	292.5 - 315.0		6.81	3.14	0.65	0.19	0.08	10.86
15	315.0 - 337.5		8.69	3.38	0.97	0.34	0.09	13.47
16	337.5 - 360.0		10.72	4.17	1.01	0.38	0.08	16.36
DIREZIONE VARIABILE CALME ( ≤ 1 NODO )		536.62	0.66	0.93	0.21	0.13	0.01	1.94
TOTALE		536.62	184.45	136.56	84.13	50.24	8.01	1000.00

Tabella - Direzioni del vento in funzione delle classi di velocità: distribuzione delle frequenze annuali nella stazione A.M. di Ronchi dei Legionari.

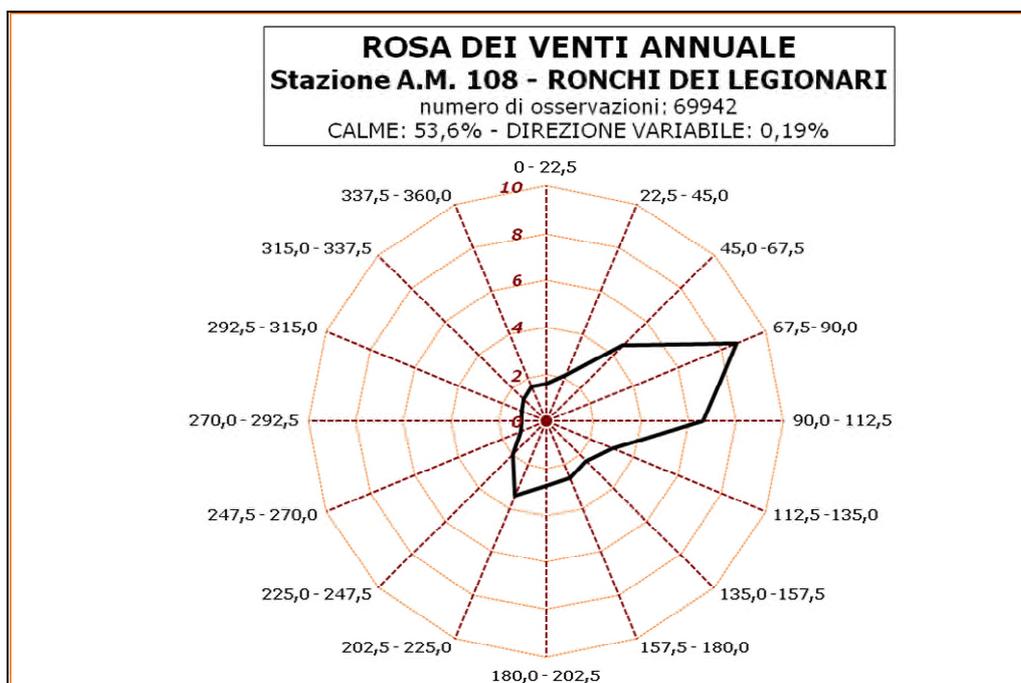


Grafico – Rosa dei venti annuale per la stazione A.M. di Trieste

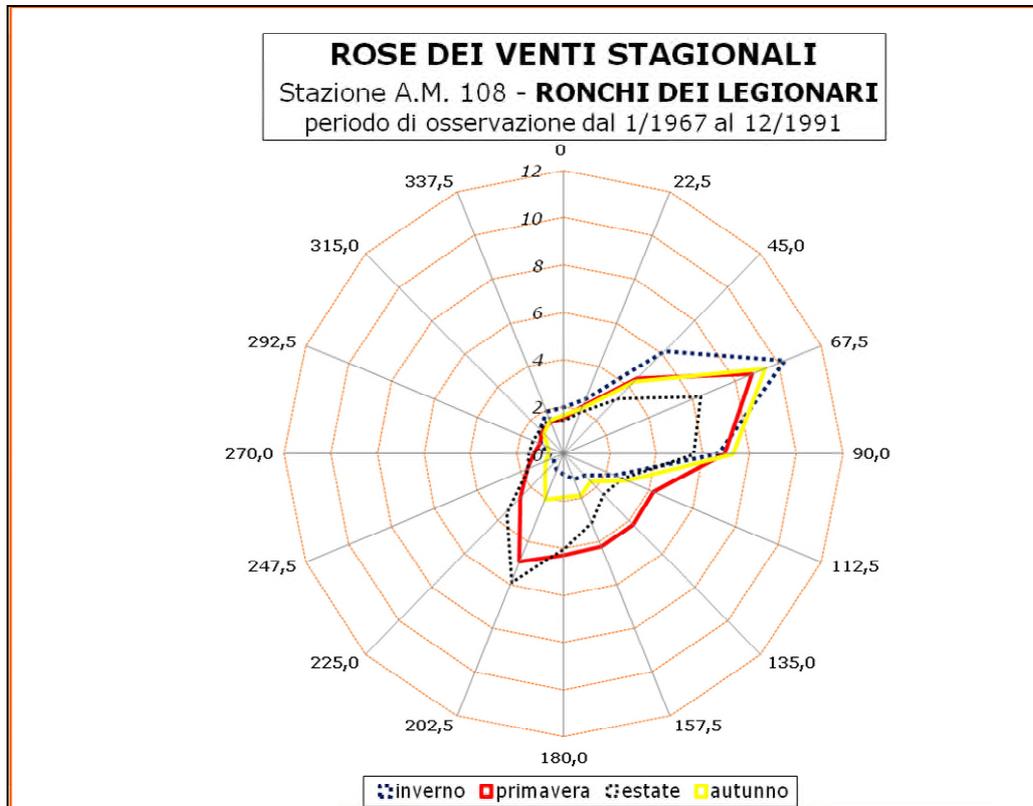


Grafico – Rose dei venti stagionali per la stazione A.M. di Ronchi dei Legionari

Dai dati presentati si evince come siano predominanti i venti con velocità tra 0-1 nodo (le cosiddette “calme di vento”) e tra i 2-4 nodi, con direzione di provenienza prevalente da E-N-E (67,5-90°).

### 3.4 STABILITÀ ATMOSFERICA

Nella tabella e corrispondente grafico seguente è riportata, per la stazione A.M. di Ronchi dei Legionari, la distribuzione stagionale e annuale di occorrenza delle classi di stabilità atmosferica. Le elaborazioni sono relative al periodo 1967-1991 ed assommano a 41473.

ELABORAZIONE DI DATI METEOROLOGICI - COLLABORAZIONE SERVIZIO METEOROLOGICO A.M. - ENEL  
STAZIONE METEOROLOGICA A.M. 108 - **RONCHI DEI LEGIONARI** - LAT.45°49' -LONG.13°29' -ALT.12 M  
PERIODO DI OSSERVAZIONE DAL 1/1967 AL 12/1991  
NUMERO DELLE OSSERVAZIONI 41473

**CLASSI DI STABILITA'**

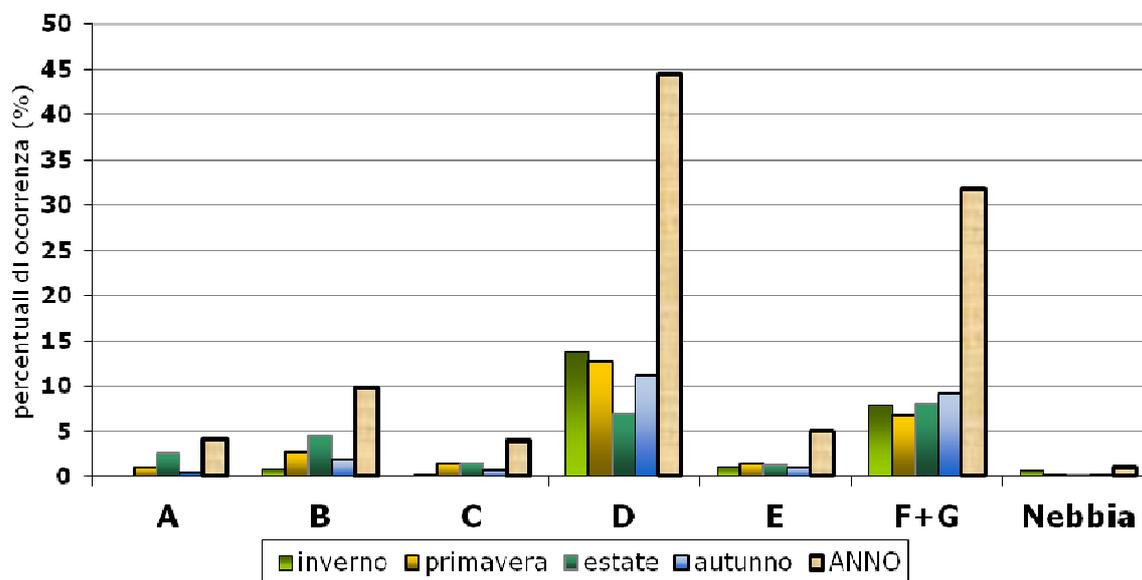
DISTRIBUZIONE DELLE FREQUENZE STAGIONALI E ANNUALI (%)

STAGIONI	CLASSI DI STABILITA'							TOTALE
	A	B	C	D	E	F + G	NEBBIA	
DIC-GEN-FEB	0.00	8.17	3.76	137.51	11.00	78.58	7.09	246.11
MAR-APR-MAG	10.30	26.98	13.96	127.14	14.23	67.44	0.70	260.75
GIU-LUG-AGO	25.37	44.17	13.84	69.25	13.50	80.63	0.07	246.84
SET-OTT-NOV	5.09	18.59	7.23	111.45	10.80	91.22	1.93	246.30
TOTALE	40.75	97.92	38.80	445.35	49.53	317.87	9.79	1000.00

 Stazione A.M. 108 **RONCHI DEI LEGIONARI**
**CLASSI DI STABILITA' ATMOSFERICA**

periodo di osservazione dal 1/1967 al 12/1991

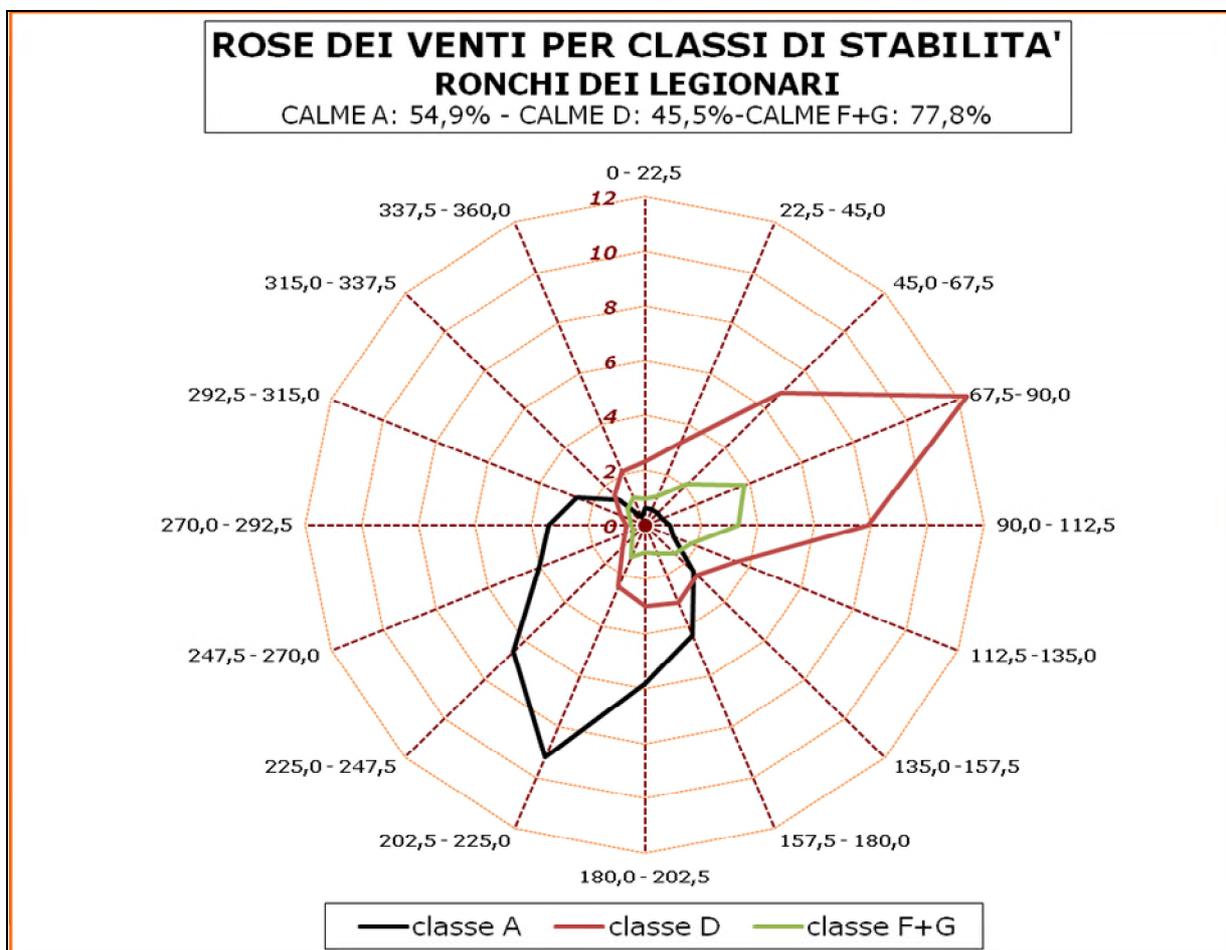
numero di osservazioni 41473



**Tabella e Grafico: Distribuzione delle Frequenze Stagionali e Annuali delle classi di stabilità atmosferica secondo Pasquill nella Stazione A.M. di Ronchi dei Legionari.**

Dai dati si può rilevare la predominanza assoluta delle classi D (neutra) con il 44,5% e della F+G (stabile) con il 31,8%. Il fenomeno nebbia risulta poco frequente con una occorrenza minore dello 1% .

Di seguito sono presentate graficamente le Joint Frequency Function cioè le frequenze annuali di direzione del vento per ciascuna classe di stabilità atmosferica (limitate per chiarezza alla sola distinzione tra classi instabile, neutra e stabile).



**Tabella: Rose dei venti per Classi di Stabilità (A-D-F+G) nella Stazione A.M. di Ronchi dei Legionari**

## 4. STAZIONI DI UDINE CAMPOFORMIDO E UDINE RIVOLTO

La stazione meteorologica di Udine Campoformido è una stazione meteorologica di riferimento per il servizio meteorologico dell'Aeronautica Militare e per l'OMM.

La stazione si trova nel comune di Campoformido, a 94 metri s.l.m. e alle coordinate geografiche 46°02'N 13°11'E. Oltre a rilevare i dati al suolo è una delle sei stazioni del Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare in cui vengono effettuate osservazioni in quota grazie ai radiosondaggi, con almeno due lanci di palloni sonda al giorno (alle ore 0 e alle ore 12 UTC).

La stazione meteorologica di Udine Rivolto si trova nel comune di Codroipo, presso l'area aeroportuale di Rivolto, a 53 metri s.l.m. e alle coordinate geografiche 45°49'N 13°02'E.

### 4.1 REGIME TERMICO

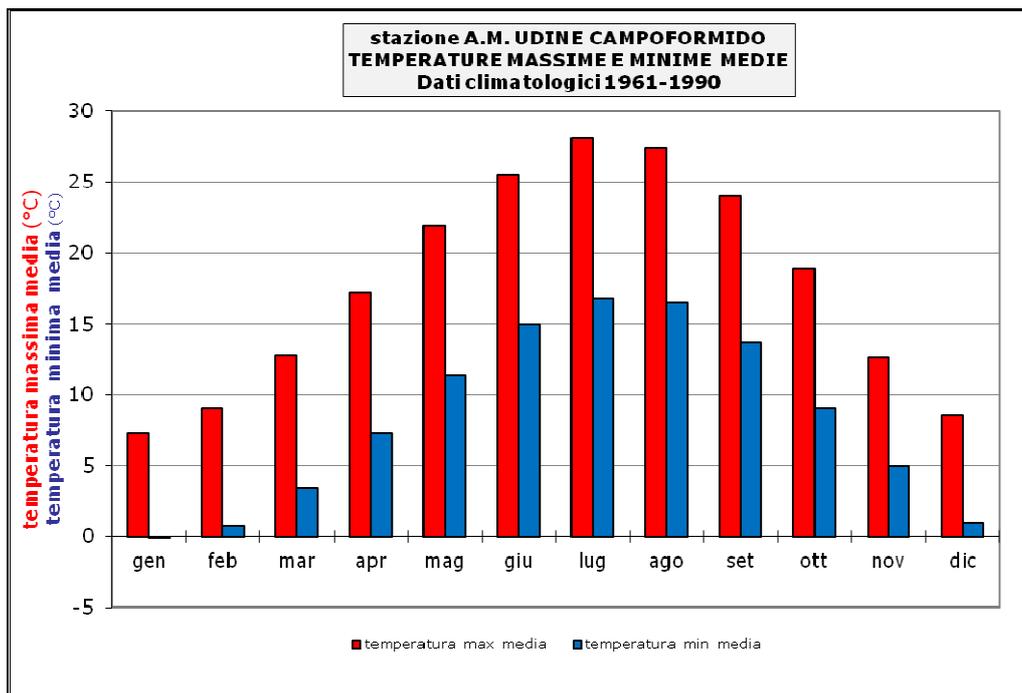
Nella Tabella seguente sono riportati i dati relativi alle temperature, medie, massime e minime annuali rilevate nel periodo 1951-1977 nella stazione A.M. di Udine Campoformido.

ANNO	Tmed	Tmax	Tmin
1951	14,04	18,81	9,08
1952	13,25	17,90	8,06
1953	13,44	18,08	8,27
1954	12,58	16,87	7,86
1955	12,84	17,22	8,03
1956	12,08	16,53	7,43
1957	11,84	18,11	8,50
1958	11,83	17,74	8,52
1959	11,92	18,27	8,74
1960	13,04	17,24	8,78
1961	13,90	18,83	8,85
1962	12,73	17,48	7,78
1963	13,00	17,41	8,19
1964	13,42	17,96	8,47
1965	12,43	16,83	7,69
1966	13,11	17,92	8,77
1967	13,12	18,25	8,52
1968	12,71	17,84	8,35
1969	12,73	17,94	8,20
1970	12,25	17,12	7,72
1971	12,55	17,65	7,93
1972	12,63	17,32	8,45
1973	12,66	17,75	7,83
1974	12,77	17,88	8,10
1975	13,25	18,27	8,42
1976	12,82	17,68	8,03
1977	12,83	17,78	8,55
1951-1977	12,80	17,73	8,26

Tabella - Temperature Medie Annuie rilevate nella stazione A.M. di Udine Campoformido

Di seguito, anche per confronto, è riportata la tabella ed il corrispondente grafico con le medie climatiche a livello mensile stagionale e annuo registrate nel trentennio 1961-1990 nella stessa stazione di Udine Campoformido e pubblicati nell'Atlante Climatico d'Italia del Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare relativo al medesimo trentennio.

(°C)	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	INV	PRI	EST	AUT	anno
T. max. media (°C)	7,3	9,0	12,8	17,2	21,9	25,5	28,1	27,4	24,0	18,9	12,6	8,6	<b>8,3</b>	<b>17,3</b>	<b>27</b>	<b>18,5</b>	<b>17,8</b>
T. min. media (°C)	-0,1	0,7	3,4	7,3	11,4	15,0	16,8	16,5	13,7	9,0	5,0	1,0	0,5	7,4	16,1	9,2	8,3



**Tabella - Temperature massime e minime medie a livello mensile, stagionale e annuo per il periodo 1961-1990 rilevate presso la stazione A.M. di Udine Campoformido.**

Le osservazioni relative ai due periodi temporalmente diversi risultano al confronto sostanzialmente analoghe.

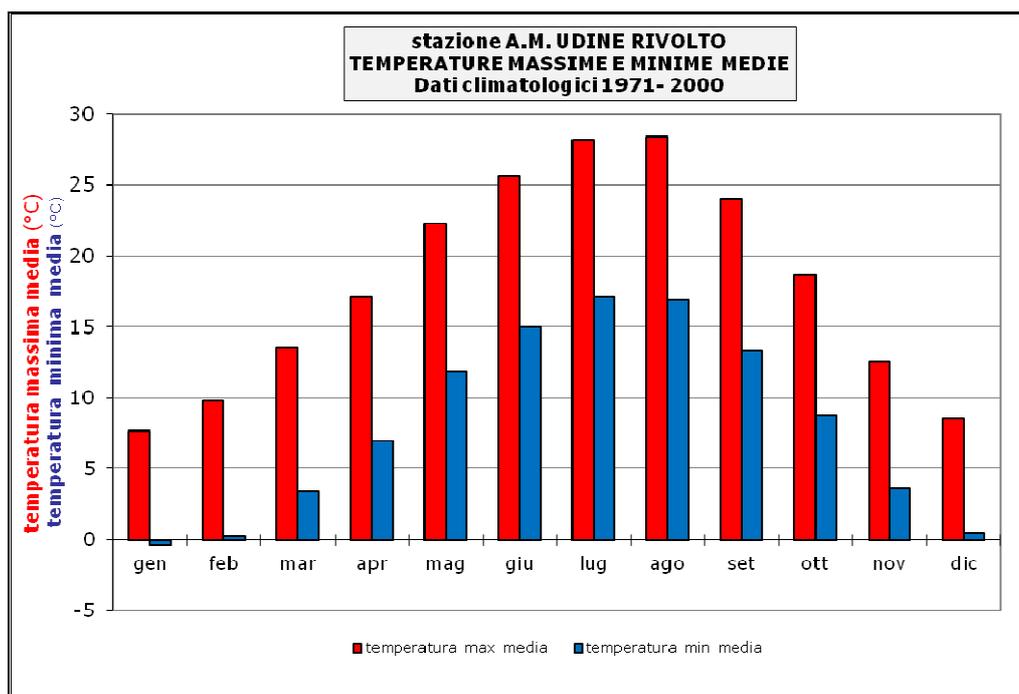
Dai dati annuali si osserva che la temperatura media massima annuale è compresa tra 18,8 e 16,5°C con un valore medio di 17,7°C per il periodo 1951-1977 e 17,8°C per il trentennio 1961-1990. La temperatura media minima è compresa tra 7,4 e 9,1°C con un valore medio di 8,3°C riscontrato in entrambi i periodi.

La temperatura media per la stazione risulta essere 12,8°C nel primo periodo e 13,0°C nel secondo. In base alla media trentennale di riferimento 1961-1990, la

temperatura media del mese più freddo, gennaio, si attesta a 3,6 °C; quella del mese più caldo, luglio, è di +22,2 °C

Di seguito, anche per confronto, è riportata la tabella ed il corrispondente grafico con le medie climatiche a livello mensile stagionale e annuo registrate nel trentennio 1971-2000 nella stessa stazione di Udine Rivolto e pubblicati nell'Atlante Climatico d'Italia del Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare relativo al medesimo periodo.

(°C)	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	INV	PRI	EST	AUT	anno
T massima media	7,7	9,8	13,5	17,1	22,3	25,6	28,2	28,4	24,1	18,6	12,6	8,5	8,7	17,6	27,4	18,4	18
T minima media	-0,4	0,3	3,4	7,0	11,8	15,0	17,1	16,9	13,3	8,8	3,7	0,5	0,1	7,4	16,3	8,6	8,1



**Tabella - Temperature massime e minime medie a livello mensile, stagionale e annuo per il periodo 1971-2000 rilevate presso la stazione A.M. di Udine Rivolto**

In base alla media trentennale di riferimento 1971-2000, la temperatura media del mese più freddo, gennaio, si attesta a 4,0 °C; quella del mese più caldo, luglio, è di +22,6 °C

La temperatura massima media per la stazione risulta essere 18,0°C ,mentre la temperatura media minima risulta 8,1°C.

## 4.2 REGIME PLUVIOMETRICO

Nella Tabella seguente sono riportati i dati relativi alle precipitazioni mensili e annuali nel periodo 1951-1977 rilevate presso la stazione A.M. di Udine Campofornido.

ANNO	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Anno
1951	303	337	237	80	115	77	0	0	110	56	212	45	1.572
1952	101	148	57	88	44	201	84	197	117	249	60	92	1.438
1953	37	59	0	109	49	175	193	141	121	210	45	91	1.230
1954	16	63	107	103	180	171	111	93	43	77	74	111	1.149
1955	63	147	83	13	138	126	136	65	137	115	76	95	1.194
1956	76	10	55	214	49	120	201	95	67	237	165	28	1.317
1957	30	139	7	157	103	132	241	94	30	35	87	73	1.128
1958	95	95	60	153	40	236	47	63	56	106	171	226	1.348
1959	33	0	77	187	171	103	96	53	113	92	285	242	1.452
1960	72	155	132	26	44	228	182	122	203	304	162	318	1.948
1961	125	18	17	104	157	138	101	47	28	176	130	156	1.197
1962	118	43	139	182	154	94	67	8	81	124	174	61	1.245
1963	84	83	97	64	62	115	94	155	126	49	161	34	1.124
1964	0	37	138	122	30	101	42	149	60	282	57	202	1.220
1965	177	16	182	168	186	110	94	219	509	0	174	91	1.926
1966	44	108	73	154	106	108	184	295	58	232	178	77	1.617
1967	20	85	91	122	106	239	69	98	221	38	240	37	1.366
1968	19	294	30	84	77	151	119	224	155	13	194	76	1.436
1969	108	114	67	80	103	158	37	255	172	22	289	44	1.449
1970	187	51	194	106	118	118	81	144	38	28	194	161	1.420
1971	120	64	137	105	135	207	59	98	30	29	171	70	1.225
1972	88	195	138	204	205	143	96	44	77	74	84	208	1.556
1973	103	85	8	179	31	213	106	35	270	134	41	87	1.292
1974	55	144	74	167	125	110	58	102	135	121	85	13	1.189
1975	39	4	310	185	155	258	70	88	123	90	148	78	1.548
1976	27	69	7	171	128	35	75	66	253	312	120	189	1.452
1977	341	158	144	60	135	99	83	169	30	18	95	92	1.424

**Tabella - Precipitazioni Mensili e Annue nella Stazione A.M. di Udine Campofornido**

Di seguito è riportata la tabella statistica riepilogativa ed il corrispondente grafico di precipitazioni rilevate nella stazione A.M. di Udine Campofornido in



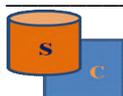
CENTRALE TERMOELETTRICA DI MONFALCONE

CARATTERIZZAZIONE METEOROLOGICA  
DELL'AREA DI STUDIO

Elaborato n.  
P01MF00190 Rev.00

Pag. 33 di 46

cui sono riportati i valori massimi giornalieri, le medie mensili ed annua e il numero di giorni di pioggia. Essi sono estratti dalla raccolta "Caratteristiche diffusive dell'atmosfera" (ENEL-Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare) relative allo stesso periodo.



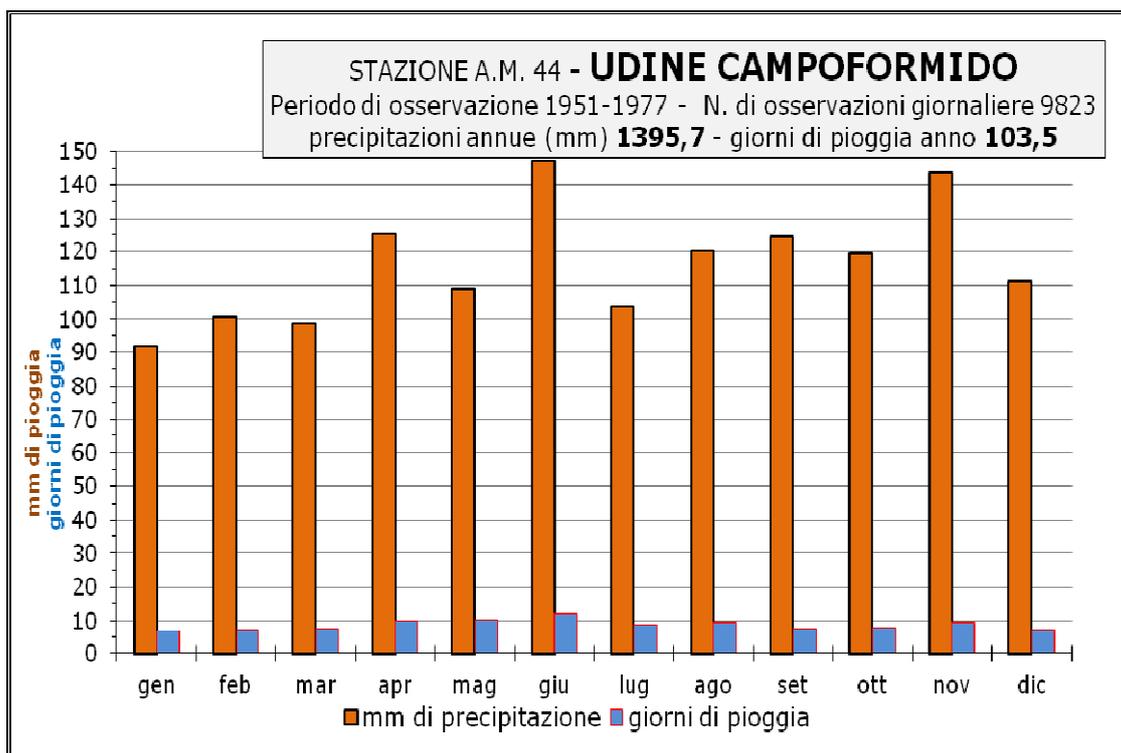
ELABORAZIONE DI DATI METEOROLOGICI - COLLABORAZIONE SERVIZIO METEOROLOGICO A.M. - ENEL  
STAZIONE METEOROLOGICA A.M. 44- **UDINE CAMPOFORMIDO** -LAT.46°2' -LONG.13°11' -ALT.94 M  
PERIODO DI OSSERVAZIONE DAL 1/1951 AL 12/1977  
NUMERO DI OSSERVAZIONI GIORNALIERE 9823

**PRECIPITAZIONI**

VALORI MASSIMI GIORNALIERI - PRIMI 5 EVENTI  
MEDIE MENSILI  
NUMERO MEDIO DI GIORNI DI PIOGGIA

	MESE												INTERO PERIODO
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
VALORI	76	90	82	66	63	121	78	105	116	122	109	113	122
MASSIMI	76	81	71	62	54	81	56	64	98	89	91	108	121
(mm)	69	80	69	60	50	77	50	62	82	74	89	69	116
	66	65	68	59	48	63	46	60	77	65	79	69	113
	59	58	65	52	48	59	42	56	61	62	76	60	109
VALORE MEDIO (mm)	91.9	100.7	99.0	125.4	109.1	146.9	103.8	120.2	124.5	119.4	143.5	111.2	1395.6
GIORNI DI PIOGGIA	6.8	7.1	7.4	9.8	10.3	12.0	8.7	9.3	7.7	8.0	9.4	7.1	103.5
N. OSS.	837	763	833	810	837	810	835	805	810	837	810	836	9823

NOTA: sono riportati i 5 valori estremali in quanto non è possibile adottare criteri di filtraggio per eliminare eventuali anomalie.



**Tabella - Precipitazioni Medie Mensili e Annue, valori massimi giornalieri e numero di giorni piovosi nella Stazione A.M. di Udine Campoformido.**

Dai dati disponibili, costituiti da 9823 osservazioni giornaliere, emerge che i valori medi più elevati si sono registrati nei mesi di giugno e novembre con un massimo registrato nel settembre del 1965 (509 mm).

I valori medi meno elevati si presentano mediamente nel mese di gennaio; non si sono registrate precipitazioni nel marzo del 1953, febbraio del 1959, gennaio del 1964 e ottobre del 1965.

Considerando le precipitazioni totali annuali, si riscontra come l'anno con le precipitazioni più elevate sia stato il 1960 (1.948 mm), mentre il meno piovoso sia stato il 1963 (1.124 mm); il valore medio del periodo si attesta attorno a 1.395,7 mm di pioggia. I giorni con pioggia risultano mediamente tra i 7 e i 12 al mese con una media annua nel periodo di 103,5 giorni di pioggia.

Di seguito è riportata la tabella statistica riepilogativa ed il corrispondente grafico di precipitazioni rilevate nella stazione A.M. di Udine Rivolto in cui sono riportati i valori massimi giornalieri, le medie mensili ed annua e il numero di giorni di pioggia. Essi sono estratti dalla raccolta "Caratteristiche diffuse dell'atmosfera" (ENEL-Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare) relative al periodo 1970-1991.

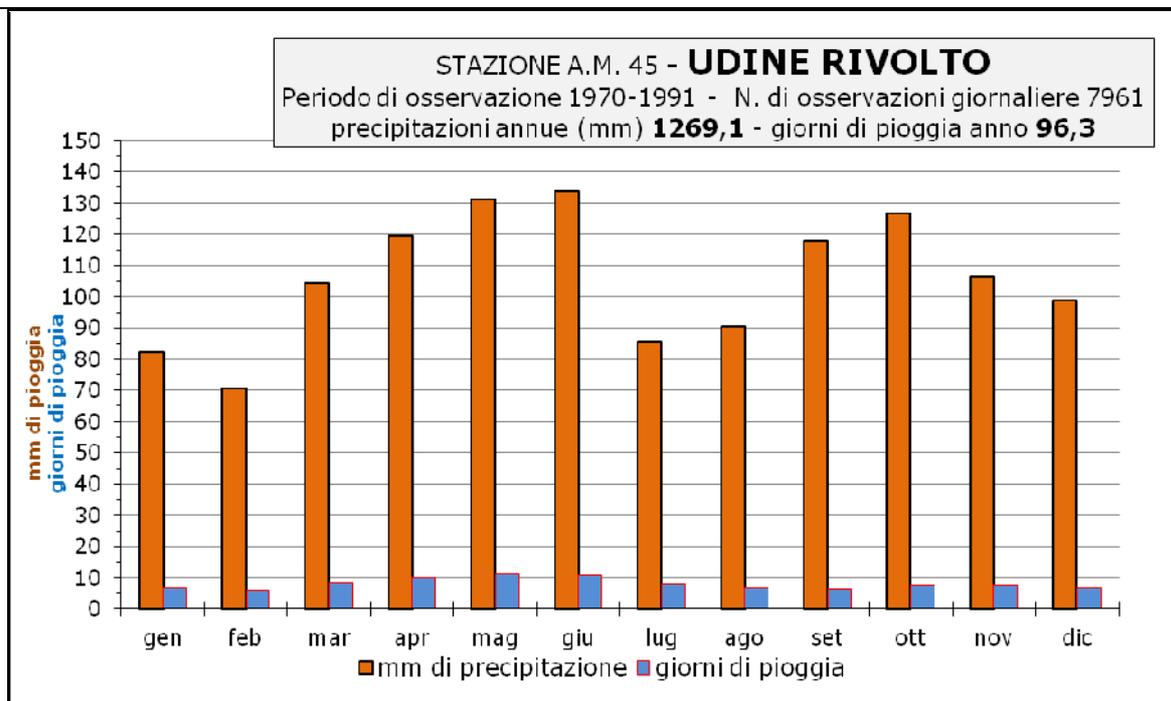
ELABORAZIONE DI DATI METEOROLOGICI - COLLABORAZIONE SERVIZIO METEOROLOGICO A.M. - ENEL  
STAZIONE METEOROLOGICA A.M. 45- **UDINE RIVOLTO** -LAT.45°49'-LONG.13°2'-ALT.53 M  
PERIODO DI OSSERVAZIONE DAL 1/1970 AL 12/1991  
NUMERO DI OSSERVAZIONI GIORNALIERE 7961

**PRECIPITAZIONI**

VALORI MASSIMI GIORNALIERI - PRIMI 5 EVENTI  
MEDIE MENSILI  
NUMERO MEDIO DI GIORNI DI PIOGGIA

	MESE												INTERO PERIODO
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
VALORI MASSIMI	65	51	67	122	136	80	99	211	200	99	109	99	211
(mm)	58	49	61	100	76	61	51	74	158	91	95	85	200
VALORI MASSIMI	56	47	59	89	65	58	36	71	99	90	73	61	158
(mm)	48	44	51	78	62	54	35	70	85	75	72	58	136
	48	43	50	73	58	52	34	61	81	70	61	50	122
VALORE MEDIO (mm)	82.4	70.6	104.5	119.7	131.3	134.0	85.7	90.7	118.1	126.9	106.5	98.7	1269.1
GIORNI DI PIOGGIA	6.8	6.1	8.4	9.7	11.3	11.0	7.9	7.0	6.4	7.4	7.4	7.0	96.3
N. OSS.	680	620	680	659	678	649	677	677	652	682	655	652	7961

NOTA: sono riportati i 5 valori estremali in quanto non è possibile adottare criteri di filtraggio per eliminare eventuali anomalie.



**Tabella - Precipitazioni Medie Mensili e Annue, valori massimi giornalieri e numero di giorni piovosi nella Stazione A.M. di Udine Rivolto**

	CENTRALE TERMOELETTRICA DI MONFALCONE CARATTERIZZAZIONE METEOROLOGICA DELL'AREA DI STUDIO	Elaborato n. P01MF00190 Rev.00
		Pag. 37 di 46

Dai dati disponibili, costituiti da 7961 osservazioni giornaliere, emerge che i valori medi più elevati sono registrati nei mesi di maggio e giugno. I valori medi meno elevati si presentano mediamente nel mese di febbraio.

Il valore medio del periodo si attesta attorno a 1.269,1 mm di pioggia. I giorni con pioggia risultano mediamente tra i 6 e gli 11 al mese con una media annua nel periodo di 96,3 giorni di pioggia.

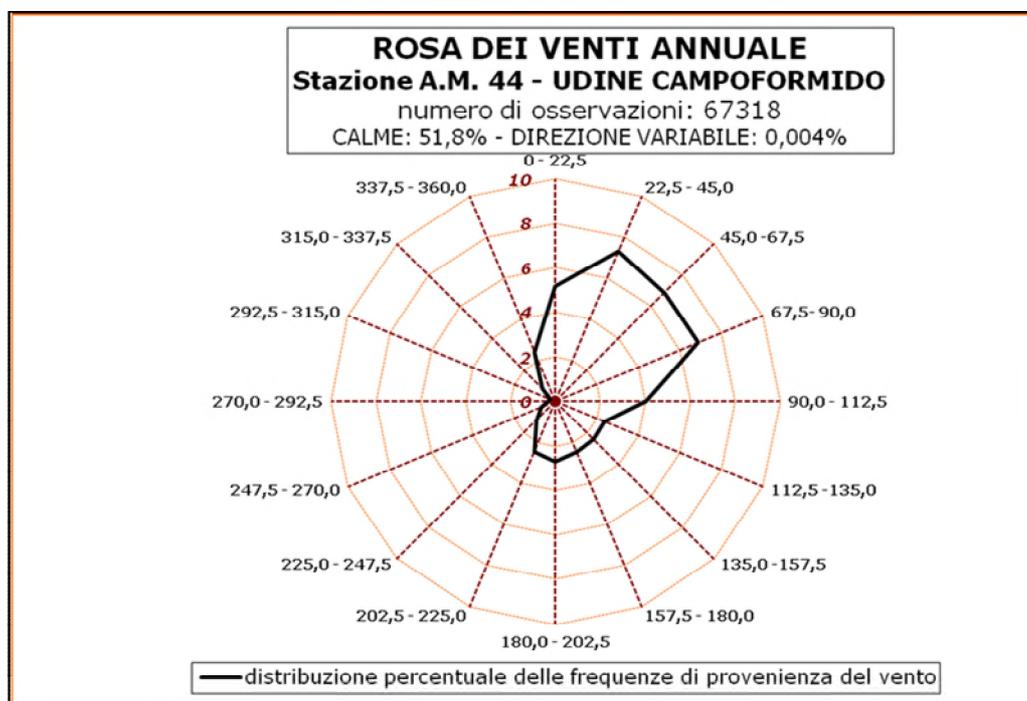
### 4.3 REGIME ANEMOLOGICO

Nella Tabella seguente sono riportate, per la stazione A.M. di Udine Campoformido, le frequenze di provenienza del vento raggruppate in sei classi di velocità (in nodi) e in sedici classi di direzione (22,5° a partire dal Nord geografico), una classe è assegnata ai venti di direzione variabile e una alle calme ( $v \leq 1$  nodo). Nei grafici successivi sono mostrate le rose dei venti a livello annuale e stagionale. Le osservazioni sono relative al periodo 1951-1977 ed assommano a 67318.

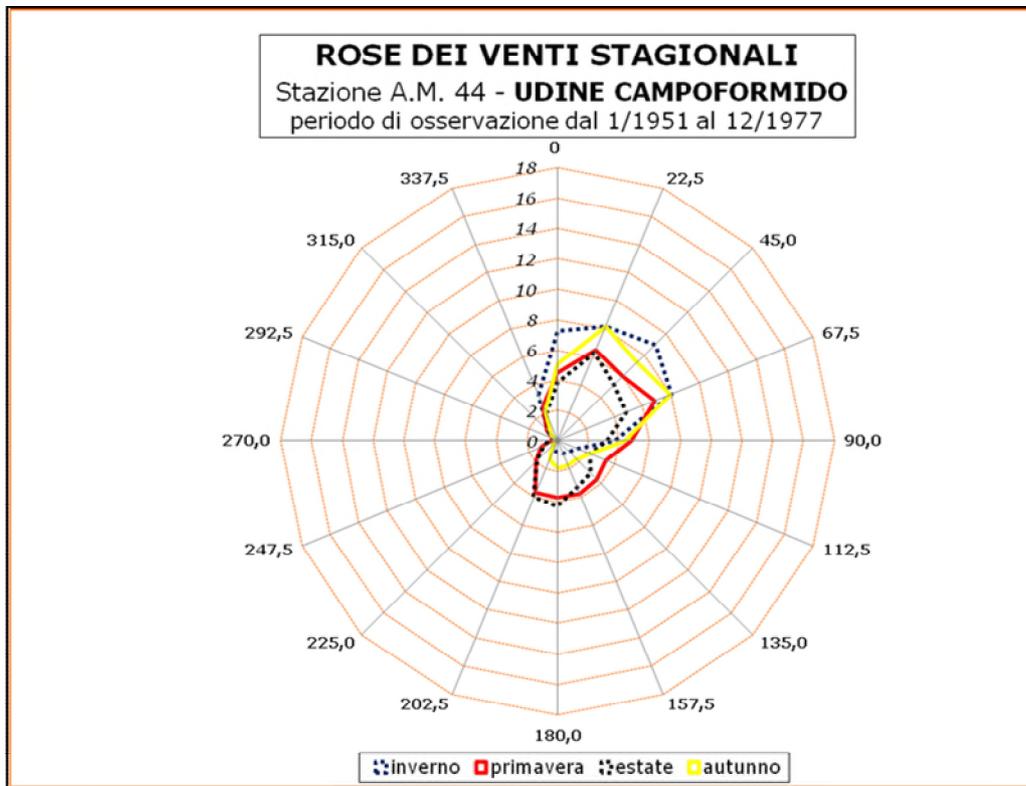
ELABORAZIONE DI DATI METEOROLOGICI - COLLABORAZIONE SERVIZIO METEOROLOGICO A.M. - ENEL  
**STAZIONE METEOROLOGICA A.M. 44-UDINE CAMPOFORMIDO** -LAT.46°2' LONG.13°11' ALT.94 M  
 PERIODO DI OSSERVAZIONE DAL 1/1951 AL 12/1977  
**DIREZIONE E VELOCITA' DEL VENTO**  
 NUMERO DELLE OSSERVAZIONI 67318  
**DISTRIBUZIONE DELLE FREQUENZE ANNUALI (%)**

S E T T O R I		C L A S S I D I V E L O C I T A ' ( N O D I )						
N.	GRADI	0 - 1	2 - 4	5 - 7	8 - 12	13 - 23	≥ 24	TOTALE
1	0.0 - 22.5		28.50	16.18	5.46	1.23	0.13	51.49
2	22.5 - 45.0		39.42	22.60	7.42	2.92	0.51	72.88
3	45.0 - 67.5		20.34	17.02	15.05	14.55	1.82	68.78
4	67.5 - 90.0		15.62	16.77	18.78	16.34	1.38	68.89
5	90.0 - 112.5		10.86	12.28	11.23	5.75	0.20	40.32
6	112.5 - 135.0		9.41	8.17	4.52	1.28	0.03	23.41
7	135.0 - 157.5		10.67	7.91	4.05	0.96	0.07	23.66
8	157.5 - 180.0		10.88	8.23	4.01	1.47	0.07	24.66
9	180.0 - 202.5		12.56	8.88	4.32	1.04	0.02	26.82
10	202.5 - 225.0		12.32	8.93	2.96	0.38	0.00	24.59
11	225.0 - 247.5		6.17	4.52	1.06	0.17	0.00	11.92
12	247.5 - 270.0		3.88	2.38	0.46	0.04	0.01	6.77
13	270.0 - 292.5		2.08	0.92	0.27	0.08	0.01	3.36
14	292.5 - 315.0		1.31	0.49	0.38	0.14	0.06	2.37
15	315.0 - 337.5		4.16	2.24	1.26	0.45	0.03	8.14
16	337.5 - 360.0		12.95	6.79	3.32	1.05	0.07	24.18
DIREZIONE VARIABILE CALME ( ≤ 1 NODO )		517.71	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.04
TOTALE		517.71	201.13	144.33	84.57	47.85	4.41	1000.00

**Tabella - Direzioni del vento in funzione delle classi di velocità: distribuzione delle frequenze annuali nella stazione A.M. di Udine Campofornido.**



**Grafico – Rosa dei venti annuale per la stazione A.M. di Udine Campoformido**



*Grafico – Rose dei venti stagionali per la stazione A.M. di Udine Campofornido.*

Dai dati presentati si evince come siano predominanti i venti con velocità tra 0-1 nodo (le cosiddette “calme di vento”) e tra i 2-4 nodi, con un leggera predominanza delle direzioni di NE (22,5-45°) e di N-E e E-N-E (45-67,5° e 67,5-90°).

#### 4.4 STABILITÀ ATMOSFERICA

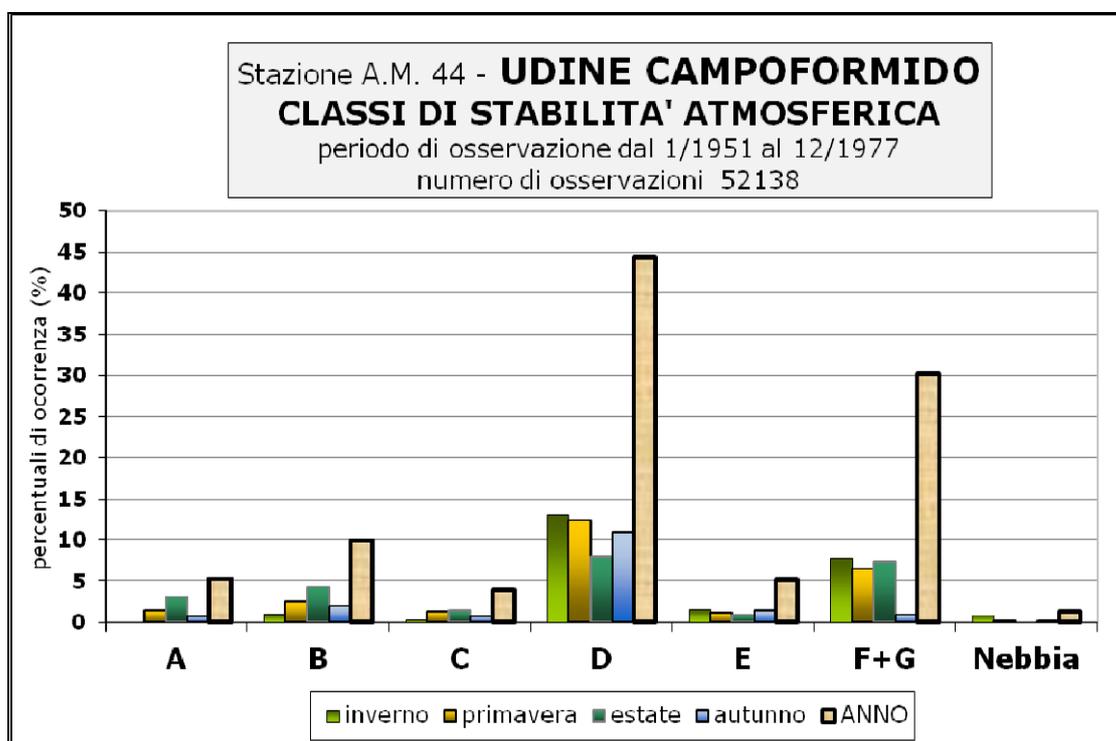
Nella tabella e corrispondente grafico seguente è riportata, per la stazione A.M. di Udine Campofornido, la distribuzione stagionale e annuale di occorrenza delle classi di stabilità atmosferica. Le elaborazioni sono relative al periodo 1951-1977 ed assommano a 52138.

ELABORAZIONE DI DATI METEOROLOGICI - COLLABORAZIONE SERVIZIO METEOROLOGICO A.M. - ENEL  
STAZIONE METEOROLOGICA A.M. 44- **UDINE CAMPOFORMIDO** -LAT.46°2' -LONG.13°11' -ALT.94 M  
PERIODO DI OSSERVAZIONE DAL 1/1951 AL 12/1977  
NUMERO DELLE OSSERVAZIONI 52138

**CLASSI DI STABILITA'**

DISTRIBUZIONE DELLE FREQUENZE STAGIONALI E ANNUALI (%)

STAGIONI	CLASSI DI STABILITA'							TOTALE
	A	B	C	D	E	F + G	NEBBIA	
DIC-GEN-FEB	0.00	10.18	3.87	131.13	15.38	77.10	9.32	247.00
MAR-APR-MAG	13.83	25.68	12.81	123.79	11.45	64.48	1.07	253.12
GIU-LUG-AGO	31.22	42.96	14.90	79.65	9.40	73.75	0.02	251.91
SET-OTT-NOV	7.38	20.45	8.02	108.65	14.88	86.33	2.26	247.98
TOTALE	52.44	99.27	39.61	443.23	51.11	301.66	12.68	1000.00



**Tabella e Grafico: Distribuzione delle Frequenze Stagionali e Annuali delle classi di stabilità atmosferica secondo Pasquill nella Stazione A.M. di Udine Campoformido.**

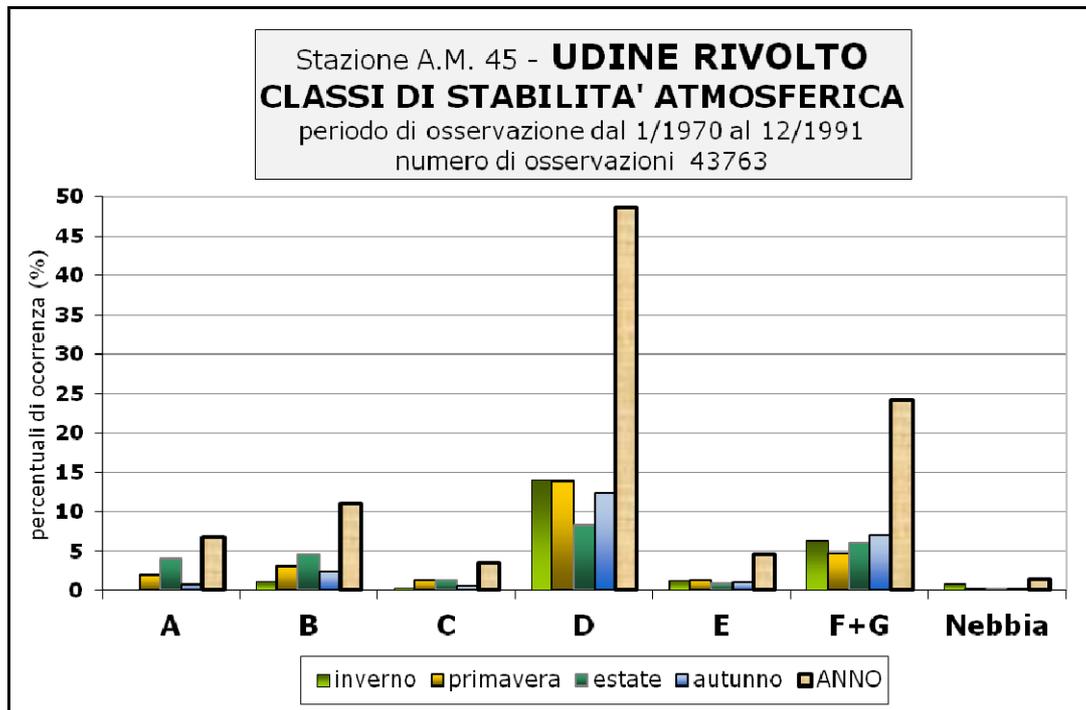
Dai dati si può rilevare la predominanza assoluta delle classi D (neutra) con il 44,3% e della F+G (stabile) con il 30,2%. Il fenomeno nebbia risulta poco frequente con una occorrenza di poco superiore allo 1% .

Nella tabella e corrispondente grafico seguente è riportata, per la stazione A.M. di Udine Rivolto la distribuzione stagionale e annuale di occorrenza delle classi di stabilità atmosferica. Le elaborazioni sono relative al periodo 1970-1991 ed assommano a 43763.

ELABORAZIONE DI DATI METEOROLOGICI - COLLABORAZIONE SERVIZIO METEOROLOGICO A.M. - ENEL  
STAZIONE METEOROLOGICA A.M. 45 - **UDINE RIVOLTO** - LAT.45°59' -LONG.13°2' -ALT.53 M  
PERIODO DI OSSERVAZIONE DAL 1/1970 AL 12/1991  
NUMERO DELLE OSSERVAZIONI 43763

**CLASSI DI STABILITA'**  
DISTRIBUZIONE DELLE FREQUENZE STAGIONALI E ANNUALI (%)

STAGIONI	CLASSI DI STABILITA'							
	A	B	C	D	E	F + G	NEBBIA	TOTALE
DIC-GEN-FEB	0.00	10.88	3.29	139.80	12.25	63.73	9.32	239.27
MAR-APR-MAG	19.26	30.07	13.18	139.14	13.34	46.68	1.49	263.17
GIU-LUG-AGO	40.19	45.20	12.38	82.92	9.30	61.65	0.02	251.67
SET-OTT-NOV	8.07	24.27	6.38	123.62	10.69	69.97	2.90	245.89
TOTALE	67.52	110.41	35.24	485.48	45.59	242.03	13.73	1000.00



**Tabella e Grafico: Distribuzione delle Frequenze Stagionali e Annuali delle classi di stabilità atmosferica secondo Pasquill nella Stazione A.M. di Udine Rivolto**

Dai dati si può rilevare la predominanza assoluta delle classi D (neutra) con il 48,5% e della F+G (stabile) con il 24,2%. Il fenomeno nebbia risulta poco frequente con una occorrenza di poco superiore allo 1% .

Di seguito sono presentate graficamente le Joint Frequency Function cioè le frequenze annuali di direzione del vento per ciascuna classe di stabilità atmosferica (limitate per chiarezza alla sola distinzione tra classi instabile, neutra e stabile)

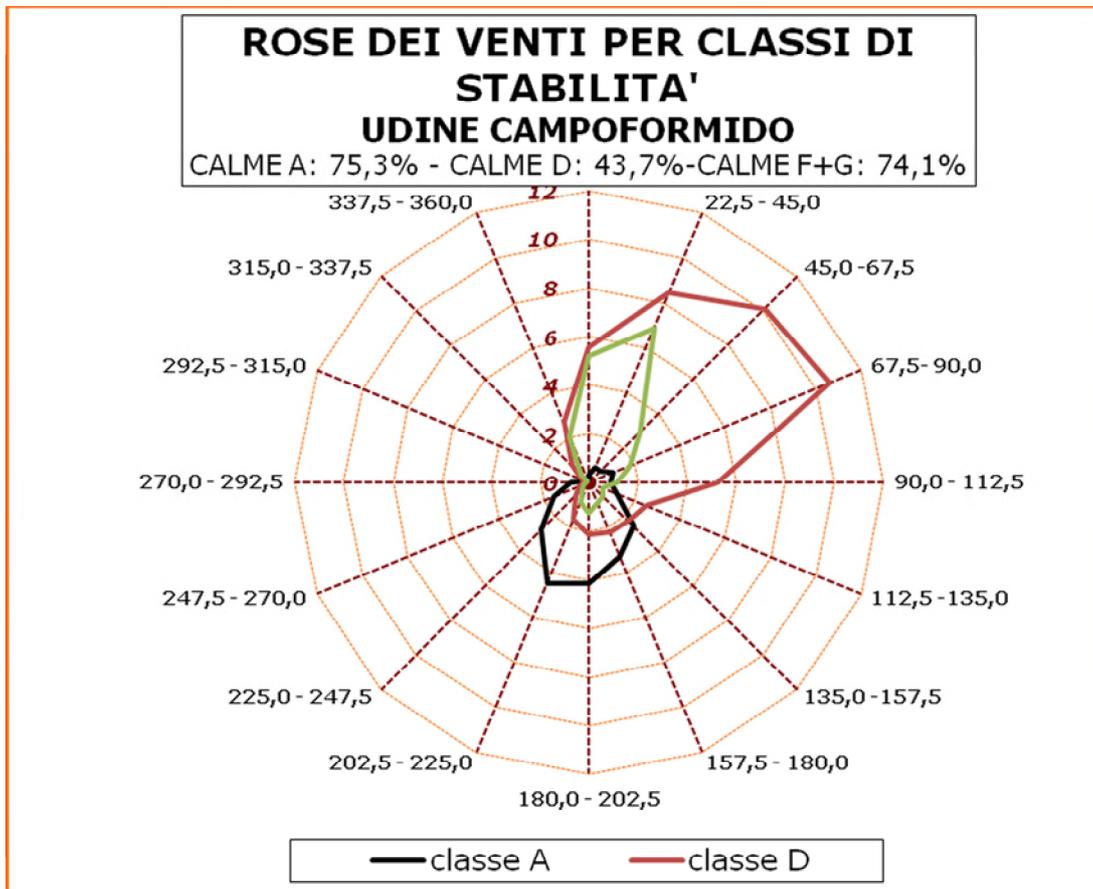


Tabella: Rose dei venti per Classi di Stabilità (A-D-F+G) nella Stazione A.M. di Udine Campoformido

#### 4.5 INVERSIONI TERMICHE

Con il termine inversione termica si indica quel fenomeno che si riscontra nell'atmosfera caratterizzata da un aumento anziché da una diminuzione della temperatura con il crescere dell'altezza.

Nello studio del comportamento atmosferico degli effluenti, e quindi della dinamica degli inquinamenti, il fenomeno delle inversioni termiche nei bassi strati atmosferici acquista una particolare importanza; ciò perché i bassi strati di inversione, in alcuni casi rappresentano un ostacolo nella diluizione degli agenti inquinanti, mentre in altri possono costituire una protezione.

Gli elementi che caratterizzano un'inversione sono:

- la dimensione geometrica (spessore);
- la posizione nello spazio;
- l'intensità.

La dimensione geometrica è definita dalla distanza verticale che intercorre tra la base e la sommità dell'inversione, dove con questi due termini si intende il luogo dei punti in cui la temperatura comincia, rispettivamente, ad aumentare e a diminuire con l'altezza.

Per quanto riguarda la posizione nello spazio, l'inversione termica può essere al suolo, se la base coincide con la superficie terrestre, o in quota, se la base è posizionata ad una certa altezza dal suolo. Questi due casi possono verificarsi su terreni liberi da costruzioni.

Sugli agglomerati urbani, invece, le inversioni solo raramente hanno inizio dal suolo a causa della "isola di calore urbana" che determina nei primi strati un continuo mescolamento. Per questo motivo la base dell'inversione termica viene a trovarsi al di sopra dei tetti. Tale situazione può dar luogo a elevate concentrazioni di inquinanti, in quanto gli effluenti emessi al disotto dell'inversione (scarichi domestici e degli autoveicoli) rimangono intrappolati dalla base dell'inversione stessa.

Se l'inversione è al suolo e si è in presenza di complessi industriali isolati dotati di camini molto alti, vi è una maggiore probabilità che l'altezza effettiva dei camini superi lo strato di inversione e quindi gli effluenti vengano a trovarsi in un ambiente nel quale si abbia una maggiore e più rapida diluizione.

L'intensità dell'inversione è data dal rapporto del quadrato della differenza di temperatura potenziale tra la base e la sommità e il prodotto dell'altezza della base per lo spessore dello strato di inversione.

Nella Tabella seguente sono riportate le frequenze con le quali la prima e la seconda inversione si manifestano alle varie altezze nel periodo notturno e diurno.

ELABORAZIONE DI DATI METEOROLOGICI - COLLABORAZIONE SERVIZIO METEOROLOGICO A.M. - ENEL  
STAZIONE METEOROLOGICA A.M. 44 - UDINE CAMPOFORMIDO - LAT. 46° 2' LONG. 13° 11' ALT. 94 M.  
PERIODO DI OSSERVAZIONE DAL 1/1963 AL 12/1986  
ANALISI RADIOSONDAGGI  
**INVERSIONI DI TEMPERATURA**

QUOTA (M)	PRIMA INVERSIONE		SECONDA INVERSIONE	
	NOTTURNA	DIURNA	NOTTURNA	DIURNA
<i>Radiosondaggi validi</i>	<b>8251</b>	<b>8379</b>	<b>8251</b>	<b>8379</b>
<i>numero di inversioni</i>	<b>7635</b>	<b>5207</b>	<b>3752</b>	<b>1903</b>
Suolo	847,81	198,00	-	-
< 100	36,02	31,11	6,4	1,05
100-150	7,99	18,63	11,99	2,63
150-200	6,29	17,67	11,19	2,63
200-250	4,58	14,6	11,46	4,2
250-300	4,45	16,9	12,53	6,31
300-350	5,76	20,74	14,66	4,73
350-400	7,47	24,01	20,79	12,61
400-450	5,37	26,31	34,65	17,34
450-500	3,14	24,39	37,85	18,92
500-600	5,37	43,98	48,77	22,07
600-700	3,01	30,73	36,25	24,17
700-800	4,32	36,11	38,38	37,31
800-900	6,68	54,35	66,36	55,18
900-1000	5,89	69,33	94,35	66,21
1000-1500	21,74	183,98	263,33	292,17
1500-2000	14,8	116,38	175,11	245,93
2000-2500	7,33	55,89	86,89	141,36
2500-3000	1,96	16,9	29,05	45,19
>3000	0	0	0	0
Totale	1.000	1.000	1.000	1.000

**Tabella: Frequenze di Accadimento della Inversione Termica al Suolo ed in Quota rilevate nella stazione A.M. di Udine Campoformido**

Si nota che nelle ore notturne la prima inversione si manifesta quasi sempre a quote inferiori a 200 metri, mentre nelle ore diurne è più ampiamente distribuita su tutto il campo di misura. La seconda inversione si manifesta prevalentemente tra i 1.000 ed i 2.000 metri sia nelle ore diurne sia notturne.