

REGIONE UMBRIA - REGIONE MARCHE - REGIONE TOSCANA

**METANODOTTO FOLIGNO - SESTINO
DN 1200 (48") P = 75 bar**

STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE

Percorrenza nel territorio della Regione Toscana

**Analisi delle emissioni indotte
dalla realizzazione dell'opera sull'atmosfera**

 Snamprogetti	CLIENTE Snam Rete Gas SpA	COMMESSA 663000	UNITÀ 00
	LOCALITÀ Regioni Umbria – Marche - Toscana	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO / IMPIANTO Metanodotto Foligno - Sestino	Fg. 1 di 52	Rev. 0

METANODOTTO FOLIGNO - SESTINO
DN 1200 (48") p = 75 bar

STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE

Percorrenza nel territorio della Regione Toscana

Analisi delle emissioni indotte
dalla realizzazione dell'opera sull'atmosfera

0	Emissione	Gianfelici	Casati	Buongarzo	Mar. 2006
Rev.	Descrizione	Elaborato	Verificato	Approvato	Data

 Snamprogetti	CLIENTE Snam Rete Gas SpA	COMMESSA 663000	UNITÀ 00
	LOCALITÀ Regioni Umbria – Marche - Toscana	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO / IMPIANTO Metanodotto Foligno - Sestino	Fg. 2 di 52	Rev. 0

INDICE

1	PREMESSA	3
2.	QUADRO NORMATIVO	4
3	STIMA DELLE EMISSIONI	5
	3.1 Stima delle emissioni di polveri	5
	3.2 Stima delle emissione di gas esausti	6
4	CARATTERIZZAZIONE METEOROLOGICA	8
	4.1 Regime anemologico.	9
	4.2 Classi di stabilità dell'atmosfera.	21
	4.4 Temperatura atmosferica e umidità relativa.	22
	4.5 Nuvolosità e precipitazioni	25
5	IL MODELLO DI SIMULAZIONE NUMERICA	27
	5.1 Modello meteorologico CALMET	27
	5.2 Modello dispersivo CALPUFF	29
	5.3 Definizione dei dati meteorologici di ingresso	32
	5.4 Definizione del dominio di calcolo	34
	5.5 Risultati dell'analisi di dispersione degli inquinanti	35
	5.5.1 Concentrazione al suolo degli ossidi di azoto (NO _x)	36
	5.5.2 Concentrazione al suolo delle polveri	47
6	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	52

 Snamprogetti	CLIENTE Snam Rete Gas SpA	COMMESSA 663000	UNITÀ 00
	LOCALITÀ Regioni Umbria – Marche - Toscana	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO / IMPIANTO Metanodotto Foligno - Sestino	Fg. 3 di 52	Rev. 0

1 PREMESSA

La presente relazione illustra le attività effettuate per la stima delle emissioni in atmosfera di polveri (PTS) ed inquinanti gassosi indotte dalla realizzazione del metanodotto "Foligno - Sestino DN 1200 (48") p 75 bar" nel territorio della Regione Toscana al fine di valutare gli impatti indotti sulla qualità dell'aria.

Lo studio prevede:

- la stima delle emissioni di polveri associate alle attività di cantiere
- l'analisi meteorologica dell'area attraversata e la definizione delle caratteristiche climatiche del sito
- la stima dell'impatto sulla qualità dell'aria attraverso l'utilizzo del sistema modellistico dispersivo CALPUFF
- la valutazione degli eventuali interventi di mitigazione

 Snamprogetti	CLIENTE Snam Rete Gas SpA	COMMESSA 663000	UNITÀ 00
	LOCALITÀ Regioni Umbria – Marche - Toscana	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO / IMPIANTO Metanodotto Foligno - Sestino	Fg. 4 di 52	Rev. 0

2. QUADRO NORMATIVO

Le leggi che attualmente definiscono e regolano la pianificazione dello stato di qualità dell'aria ambiente nei riguardi dell'inquinamento da Polveri sono le seguenti:

- **Decreto Ministeriale n. 60 del 02/04/2002** “Recepimento della direttiva 1999/30/CE del Consiglio del 22 aprile 1999 concernente i valori limite di qualità dell'aria ambiente per il biossido di zolfo, il biossido di azoto, gli ossidi di azoto, le particelle e il piombo e della direttiva 2000/69/CE relativa ai valori limite di qualità aria ambiente per il benzene ed il monossido di carbonio”.
- **Decreto Ministeriale del 25/11/1994** “Aggiornamento delle norme tecniche in materia di limiti di concentrazione e di livelli di attenzione e di allarme per gli inquinamenti atmosferici nelle aree urbane e disposizioni per la misura di alcuni inquinanti di cui al decreto ministeriale 15 aprile 1994”.

I valori limiti di concentrazione in aria ambiente per le polveri (PTS e PM10) e per gli inquinanti gassosi emessi dai mezzi di cantiere sono riassunti nella tab. 2/A.

Tab. 2/A: Valori limite delle concentrazioni di inquinanti e polveri in aria ambiente

Inquinante	Destinazione del limite	Periodo di mediazione	Parametro di riferimento	Valore Limite (*) [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Normativa di riferimento
NO ₂	salute umana	1 ora	99,8 percentile	200	DM n° 60 del 02/04/2002
	salute umana	anno civile	media	40	
	salute umana	3 ore	media	400 ⁽¹⁾ (soglia di allarme)	
NO _x	vegetazione	anno civile	media	30 ⁽²⁾	DM n° 60 del 02/04/2002
SO ₂	salute umana	1 ora	99,7 percentile	350	DM n° 60 del 02/04/2002
	salute umana	24 ore	99,2 percentile	125	
	salute umana	3 ore	media	500 ⁽¹⁾ (soglia di allarme)	
	vegetazione	anno civile e inverno (1 ottobre–31 marzo)	media	20 ⁽²⁾	
CO	salute umana	8 ore	media (**)	10000	DM n° 60 del 02/04/2002
PTS	salute umana	24 ore	media	150 (livello di attenzione)	DM del 25/11/1994
	salute umana	24 ore	media	300 (livello di allarme)	
PM ₁₀	salute umana	24 ore	90,4 percentile	50	DM n° 60 del 02/04/2002
	salute umana	anno civile	media	40	

	CLIENTE Snam Rete Gas SpA	COMMESSA 663000	UNITÀ 00
	LOCALITÀ Regioni Umbria – Marche - Toscana	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO / IMPIANTO Metanodotto Foligno - Sestino	Fg. 5 di 52	Rev. 0

3 STIMA DELLE EMISSIONI

La metodologia adottata per stima delle emissioni in atmosfera prevede le seguenti fasi:

- caratterizzazione delle emissioni di inquinanti e polveri associate alle attività di cantiere;
- analisi meteorologica dell'area attraversata e la definizione delle caratteristiche climatiche del sito;
- simulazione della qualità dell'aria attraverso l'utilizzo del sistema modellistica dispersivo CALPUFF.

La valutazione delle emissioni risulta problematica in quanto si tratta di un cantiere mobile in cui i mezzi operativi lavorano in sequenza, con apertura pista, posa delle tubazioni, rinterro dello scavo e ripristino dei luoghi, in fasi successive lungo il tracciato.

L'entità degli impatti varia, pertanto, con la fase del progetto, alla quale è legata una composizione dei mezzi di cantiere che sono contemporaneamente in movimento, ed all'orografia del territorio in cui si opera che determina una diversa diffusione delle emissioni in atmosfera.

Per tale motivo, la caratterizzazione delle emissioni è stata impostata prendendo come riferimento una composizione di mezzi ritenuta conservativa e considerando che questi siano in movimento contemporaneamente e nello stesso punto in corrispondenza di quattro punti, ritenuti rappresentativi per la valutazione degli effetti indotti dalla realizzazione dell'opera durante la sua costruzione.

Per detta caratterizzazione si è, quindi, ipotizzato che un cantiere giornalmente completi l'attività di scavo della trincea e posa della condotta per un tratto di 300 m di linea, con l'impiego dei seguenti mezzi:

- n. 6 trattori posatubi (side-boom),
- n. 1 escavatore,
- n. 1 pala meccanica,
- n. 1 autocarro,
- n. 1 pulmino,
- n. 2 fuoristrada.

3.1 Stima delle emissioni di polveri

Le emissioni di polveri in atmosfera durante le attività di realizzazione dell'opera sono costituite dalla somma di tre contributi:

- emissioni di PTS presenti nei fumi di scarico dei motori dei mezzi impegnati di cantiere
- emissioni di PTS dovute alla movimentazione del terreno
- emissioni di PTS causato dal movimento dei mezzi.

Emissioni di PTS dai fumi di scarico

Per la stima delle emissioni di polveri presenti nei fumi di scarico dei motori dei mezzi impegnati nell'attività di cantiere si sono utilizzati i fattori di emissione standard suggeriti

	CLIENTE Snam Rete Gas SpA	COMMESSA 663000	UNITÀ 00
	LOCALITÀ Regioni Umbria – Marche - Toscana	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO / IMPIANTO Metanodotto Foligno - Sestino	Fg. 6 di 52	Rev. 0

dall'EPA nel documento "Air pollutants emission factors", AP-42, vol. 2, 1985, che prevedono un'emissione massima per ognuno dei 12 mezzi impegnati nel cantiere pari a 200 grammi per ogni ora di lavoro. Quindi con l'ipotesi cautelativa che si utilizzino per 10 ore/giorno, vengono emessi in totale **24 kg/giorno** di PTS.

Emissioni di PTS dovute alla movimentazione del terreno

Le attività di posa della condotta prevedono uno scavo di sezione trapezoidale con le seguenti dimensioni: b=1,60 m, B=4,0 m, h=2,9 m (b= base minore, B= base maggiore, h= altezza del trapezio); ipotizzando che ogni giorno si completi un tratto di circa 300 m di linea, il volume giornaliero di terreno movimentato è pari a circa 2500 m³/giorno. Considerando una densità media del terreno movimentato pari a 1600 kg/m³, risultano circa 4x10³ t/giorno di terreno movimentato.

Applicando il fattore di emissione di 165 kg per ogni 1000 t di inerte movimentato (PEDCo 1977, Midwest Research Institute 1974) risulta che in atmosfera vengono emesse circa **643 kg/giorno** di PTS.

Emissioni di PTS causate dal movimento dei mezzi

Per la stima delle emissioni di polveri dovute al movimento dei mezzi viene applicato il fattore di emissione EPA pari a 3,8 g/km . Ipotizzando cautelativamente una percorrenza media giornaliera di circa 10 km per ogni mezzo impegnato nelle attività di cantiere, l'emissione di polveri dovute alla movimentazione dei mezzi è di circa **0,4 kg/giorno**.

L'emissione totale di PTS in Atmosfera risulta pertanto pari a circa **670 kg/giorno**.

3.2 Stima delle emissioni di gas esausti

Per quanto riguarda i gas esausti provenienti dal funzionamento dei mezzi operativi alimentati a gasolio è riportata la seguente tabella contenente i principali fattori di emissione (vedi tab. 3.2/A).

Tab. 3.2/A: Fattori di emissione nei gas esausti dei mezzi di cantiere

Mezzo operativo	Fattori di emissione (gr/h)					
	CO	idrocaburi	NO ₂	aldeidi	SO ₂	particolato
gru/autogru	306,37	69,35	767,30	13,9	64,7	63,2
escavatore	91,15	44,55	375,22	4	34,4	26,4
livellatrice	68,46	18,07	324,43	5,54	39	27,7
autocarro	816,8	86,84	1889,16	51	206	116
trattore posatubi	157,01	55,06	570,7	12,4	62,3	50,7
compressore	306,37	69,35	767,3	13,9	64,7	63,2

Tenendo conto della configurazione dei mezzi di cantiere sopra indicata e nell'ipotesi cautelativa che si utilizzino i mezzi per 10 ore/giorno, vengono emessi in totale **68 kg/giorno** di NO₂ e **7 kg/giorno** di SO₂ (vedi tab. 3.2/B).

	CLIENTE Snam Rete Gas SpA	COMMESSA 663000	UNITÀ 00
	LOCALITÀ Regioni Umbria – Marche - Toscana	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO / IMPIANTO Metanodotto Foligno - Sestino	Fg. 7 di 52	Rev. 0

Tab 3.2/B: Stima delle emissioni giornaliere nei gas esausti dei mezzi di cantiere (gr/giorno)

Mezzo	n.	h	NO₂	SO₂
gru/autogru	1	10	7.673	647
escavatore	1	10	3.752	344
livellatrice	1	10	3.244	390
autocarro	1	10	18.891	2.060
trattore posatubi	6	10	34.242	37.38
Totali			67.802	7.179

	CLIENTE Snam Rete Gas SpA	COMMESSA 663000	UNITÀ 00
	LOCALITÀ Regioni Umbria – Marche - Toscana	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO / IMPIANTO Metanodotto Foligno - Sestino	Fg. 8 di 52	Rev. 0

4 CARATTERIZZAZIONE METEOROLOGICA

Nella zona attraversata dalla sezione di metanodotto oggetto della presente analisi non sono disponibili stazioni con misure meteorologiche. Quindi per la caratterizzazione meteorologica propedeutica all'analisi di dispersione degli inquinanti si è dovuto fare riferimento ai dati storici delle stazioni meteorologiche dell'Aeronautica Militare di Frontone, Arezzo e Sassofeltro (vedi tab. 4/A).

Tab. 4/A: Ubicazione della stazione di misura dell'Aeronautica Militare utilizzata per la caratterizzazione della zona di studio

Stazione	Latitudine	Longitudine	Quota s.l.m.	Periodo di misura
Sassofeltro	43° 53'	12° 31'	468 m	1951 – 1974
Frontone	43° 31'	12° 44'	574 m	1955 - 1991
Arezzo	43° 28'	11° 51'	249 m	1957 - 1991

I dati, disponibili nelle elaborazioni effettuate e pubblicate dall'Enel e dal Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare (Caratteristiche diffusive dei bassi strati dell'atmosfera), riguardano i seguenti parametri:

- direzione e velocità del vento
- classi di stabilità atmosferica secondo Pasquill (A, B, C per le condizioni instabili; D per la classe di stabilità neutra e le classi E e F+G per le condizioni stabili) e condizioni di nebbia
- temperatura e umidità relativa

Le elaborazioni esistenti riguardano:

- le distribuzioni statistiche annuale e stagionali della direzione (in 16 settori più una classe di direzioni variabili) e della velocità del vento (in 5 classi più la calma di vento, con soglia 0.5 m/s);
- le persistenze stagionali della direzione del vento (per 8 settori) e la velocità media del vento nel settore per ogni periodo di persistenza
- la distribuzione statistica mensile delle classi di stabilità e della nebbia;
- la determinazione delle frequenze congiunte di direzione e di velocità del vento per classe di stabilità
- la distribuzione statistica della temperatura (per 20 classi di 5°C di ampiezza, da – 50°C a + 50°C) e dell'umidità relativa (per 7 classi di cui 6 tra 40% e 100% con ampiezza 10%, e una classe tra 0% e 40%)

L'area di indagine (vedi fig. 4/A) è una zona montuosa, quindi con significative forzanti orografiche sulla circolazione atmosferica e sotto tale aspetto, le stazioni disponibili non sono particolarmente soddisfacenti, in quanto a loro volta collocate in area montuosa e a distanza abbastanza significativa dall'area. Per cercare di ovviare a tali difficoltà, si è cercato di verificare in che misura i dati delle stazioni fossero condizionate dai dettagli della topografia locale e in che misura invece potessero essere considerati rappresentativi di una condizione indisturbata, e quindi adatti ad

	CLIENTE Snam Rete Gas SpA	COMMESSA 663000	UNITÀ 00
	LOCALITÀ Regioni Umbria – Marche - Toscana	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO / IMPIANTO Metanodotto Foligno - Sestino	Fg. 9 di 52	Rev. 0

essere utilizzati per la descrizione della circolazione a grande scala. Come in seguito descritto, nell'ambito della presente indagine, l'adattamento di una tale condizione a grande scala alla conformazione orografica dell'area del tracciato è demandato ad un modello di simulazione numerica.

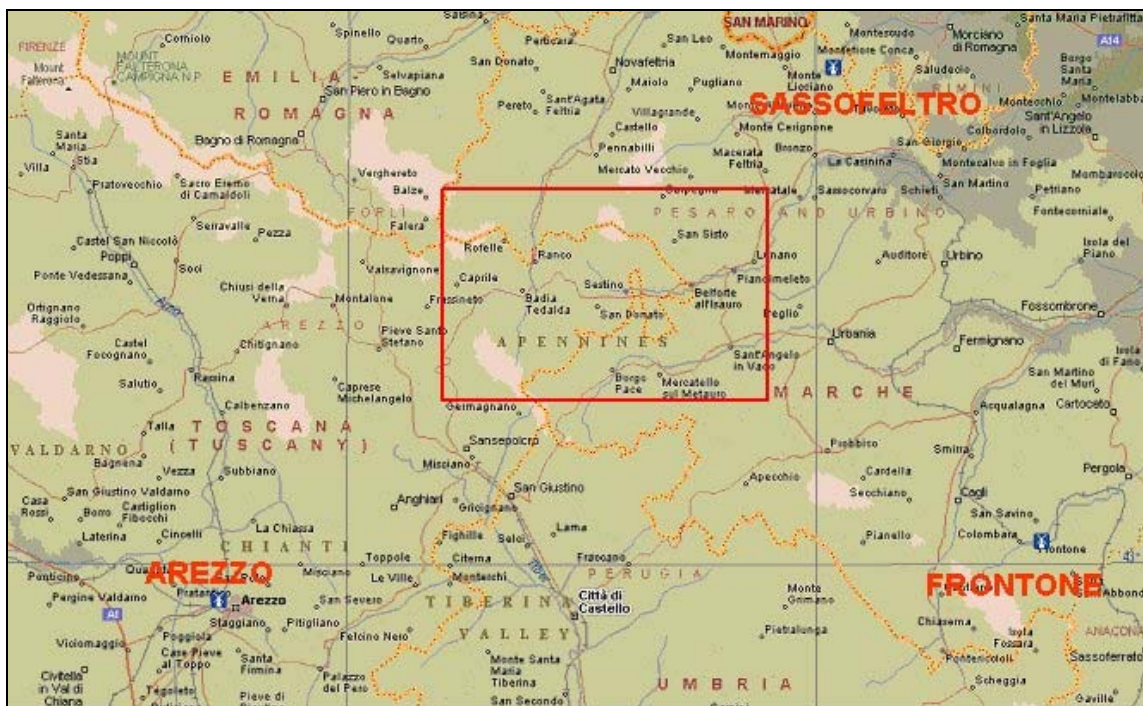


Fig. \$/A: Area di Indagine e siti delle stazioni meteo dell'Aeronautica militare

4.1 Regime anemologico.

L'andamento dei venti registrato dalla stazione di Arezzo (vedi fig. 4.1/A) mostra una chiara dominanza della direttrice SO – NE, sia per le classi di vento debole che per le situazioni con venti più intensi.

La rosa dei venti della stazione di Frontone (vedi fig. 4.1/B) mostra un andamento analogo sulle classi di vento debole, mentre si ha una rotazione da Sud, probabilmente legata ad effetti locali, per le situazioni con vento di forte intensità.

Nel caso dei dati di Sassofeltro (vedi fig. 4.1/C), si osserva invece una fortissima concentrazione degli eventi lungo la direttrice Nord-Sud, per tutte le classi di velocità. In ragione del fatto che la stazione si trova sulle rive del F. Marecchia, il cui corso è localmente orientato secondo la medesima direttrice, appare probabile che tale andamento sia determinato da una forzante topografica.

	CLIENTE Snam Rete Gas SpA	COMMESSA 663000	UNITÀ 00
	LOCALITÀ Regioni Umbria – Marche - Toscana	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO / IMPIANTO Metanodotto Foligno - Sestino	Fg. 10 di 52	Rev. 0

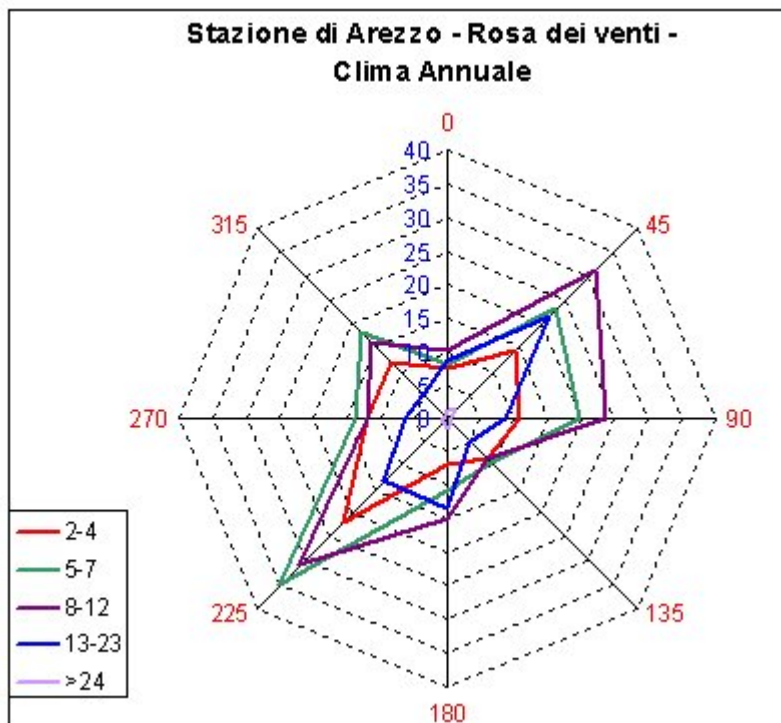


Fig. 4.1/A: Stazione di Arezzo – Rosa dei Venti – Clima annuale

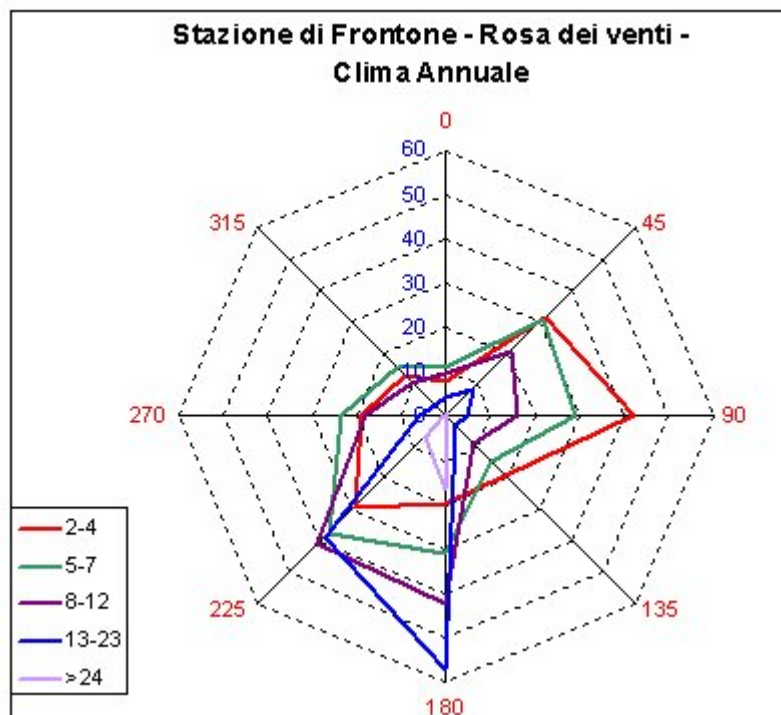


Fig. 4.1/B: Stazione di Frontone – Rosa dei Venti – Clima annuale

	CLIENTE Snam Rete Gas SpA	COMMESSA 663000	UNITÀ 00
	LOCALITÀ Regioni Umbria – Marche - Toscana	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO / IMPIANTO Metanodotto Foligno - Sestino	Fg. 11 di 52	Rev. 0

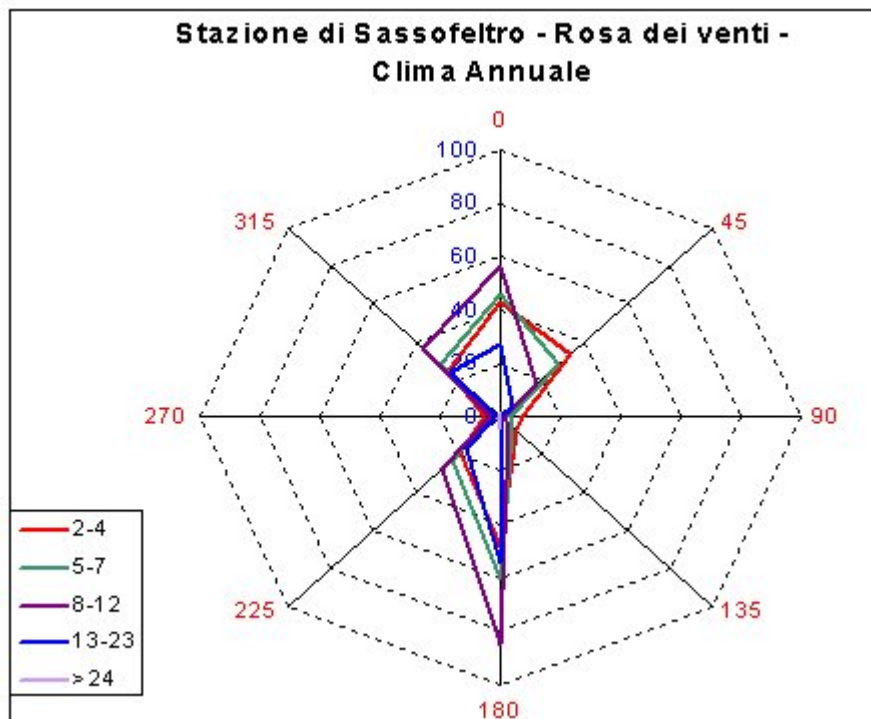



Fig. 4.1/C: Stazione di Sassofeltro – Rosa dei Venti – Clima annuale

Pur con tutte le incertezze e le approssimazioni che una simile analisi comporta, la sostanziale coerenza tra i dati di Arezzo e Frontone, collocati su versanti opposti della dorsale montuosa, fornisce qualche supporto all'idea di utilizzare i dati delle relative stazioni per la caratterizzazione delle condizioni meteo a grande scala. In proposito è opportuno osservare come le più vistose differenze tra le due stazioni si verifichino per venti intensi, che risultano meno critici nelle simulazioni di dispersione degli inquinanti. Nel seguito, per la caratterizzazione delle condizioni meteo e l'analisi della dispersione degli inquinanti, si è fatto riferimento ai dati della stazione di Frontone.

Per la definizione delle caratteristiche anemologiche dell'area si è, così, fatto riferimento alle misure effettuate, nel periodo 1956 - 1991, nella stazione di Frontone, riportando gli andamenti medi annuali (vedi tab. 4.1/A) e gli andamenti medi stagionali (vedi tab. 4.1/B ÷ 4.1/E e fig. 4.1/D ÷ 4.1/G).

	CLIENTE Snam Rete Gas SpA	COMMESSA 663000	UNITÀ 00
	LOCALITÀ Regioni Umbria – Marche - Toscana	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO / IMPIANTO Metanodotto Foligno - Sestino	Fg. 12 di 52	Rev. 0

Nella valutazione, si utilizza la seguente definizione delle stagioni:

- **Inverno:** Dicembre-Febbraio;
- **Primavera:** Marzo-Maggio;
- **Estate:** Giugno-Agosto;
- **Autunno:** Settembre-Novembre

Dall'esame dei dati di possono trarre le seguenti considerazioni:

- la circolazione media annuale presenta una distribuzione degli eventi che tende a disporsi nei settori SE-SW e NE, con una accentuazione in frequenza nei settori S e SSW, da cui tendono a spirare anche i venti più intensi;
- la frequenza delle calme di vento su base annuale è del 31% circa; su base stagionale i valori si differenziano: dal 32% in Inverno, al 26% in Primavera, 29% in Estate e 36% in autunno;
- l'intensità del vento su base annuale risulta prevalentemente moderata: per il 17% del tempo è superiore ai 4 m/s, mentre per quasi la metà del tempo - '48% - è inferiore ai 2 m/s; venti superiori ai 12 m/s si hanno per ca. il 2.5% del tempo e risultano prevalentemente associati al settore meridionale.

Tab. 4.1/A: Distribuzione statistica (%) di direzione e velocità del vento su base annuale

Postazione di: Frontone		Statistica annuale						
Numero osservazioni: 70.675		Periodo di osservazione:		1/1/'55 - 31/12/'91				
		Classi di velocità (nodi)						
settore	Direzione media	0 - 1	2 - 4	5 - 7	8 - 12	13 - 23	> 24	totale
N	0	-	3,68	5,47	5,06	2,35	0,19	16,75
NNE	22,5	-	9,04	10,99	8,46	3,4	0,1	31,99
NE	45	-	22,42	20,31	12,44	4,95	0,12	60,26
ENE	67,5	-	27,4	18,14	10,04	3,31	0,09	58,99
E	90	-	14,73	11,24	5,96	1,65	0,05	33,63
ESE	112,5	-	9,36	7,59	4,4	1,04	0,02	22,41
SE	135	-	9,23	7,03	3,94	1,85	0,21	22,25
SSE	157,5	-	10,35	14,27	18,89	23,75	6,7	73,95
S	180	-	9,27	16,99	23,6	33,3	9,67	92,83
SSW	202,5	-	14,95	20,07	25,03	27,01	5,11	92,18
SW	225	-	13,65	17,04	15,63	11,51	1,54	59,38
WSW	247,5	-	11,26	13,08	10,22	3,37	0,2	38,13
W	270	-	7,9	10,7	7,6	2,43	0,19	28,82
WNW	292,5	-	6,95	7,95	5,41	1,77	0,08	22,16
NW	315	-	6,15	7,23	5,45	1,73	0,12	20,68
NNW	337,5	-	4,24	5,86	4,71	2	0,1	16,91
variabili		-	0,65	0,42	0,26	0,17	0,02	1,53
calme		307,16						
totale		307,16	181,23	194,39	167,1	125,6	24,52	1000

	CLIENTE Snam Rete Gas SpA	COMMESSA 663000	UNITÀ 00
	LOCALITÀ Regioni Umbria – Marche - Toscana	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO / IMPIANTO Metanodotto Foligno - Sestino	Fg. 13 di 52	Rev. 0

- Su base stagionale, la distribuzione delle occorrenze del vento, in comparazione, alle medie annue presenta una accentuazione del settore meridionale in inverno e del settore nord-orientale in estate.

Tab. 4.1/B: Distribuzione statistica (%) di direzione e velocità del vento in inverno

postazione di: Frontone		Statistica stagionale:		DIC - GEN - FEB				
Numero osservazioni: 19.833								
		classi di velocità (nodi)						
settore	Direzione media	0 - 1	2 - 4	5 - 7	8 - 12	13 - 23	> 24	totale
N	0	-	3,03	5,38	5,4	3,4	0,25	17,46
NNE	22,5	-	5,85	9,04	7,01	3,2	0,23	25,32
NE	45	-	12,97	13,58	9,48	4,37	0,06	40,46
ENE	67,5	-	14,11	12,24	7,41	2,99	0,09	36,83
E	90	-	11,34	11,58	5,32	2,05	0,05	30,35
ESE	112,5	-	10,03	8,13	5,87	1,42	0,05	25,51
SE	135	-	9,71	8,24	4,8	2,43	0,45	25,64
SSE	157,5	-	9,25	11,24	16,45	27,42	10,76	75,13
S	180	-	8	13,49	20,77	38,09	16,71	97,07
SSW	202,5	-	14,08	16,59	19,49	28,51	8,77	87,44
SW	225	-	17,29	20,23	15,58	11,41	2,46	66,97
WSW	247,5	-	13,59	18,44	13,94	3,95	0,21	50,13
W	270	-	8,16	15,71	10,2	2,42	0,3	36,78
WNW	292,5	-	6,14	9,3	6,01	2,5	0,2	24,15
NW	315	-	4,11	7,01	5,07	2,46	0,24	18,88
NNW	337,5	-	3,3	5,29	5,77	3,14	0,29	17,8
variabili		-	0,5	0,55	0,35	0,3	0,1	1,82
calme		322,24						322,24
totale		322,24	151,46	186,05	158,93	140,07	41,24	1000

	CLIENTE Snam Rete Gas SpA	COMMESSA 663000	UNITÀ 00
	LOCALITÀ Regioni Umbria – Marche - Toscana	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO / IMPIANTO Metanodotto Foligno - Sestino	Fg. 14 di 52	Rev. 0

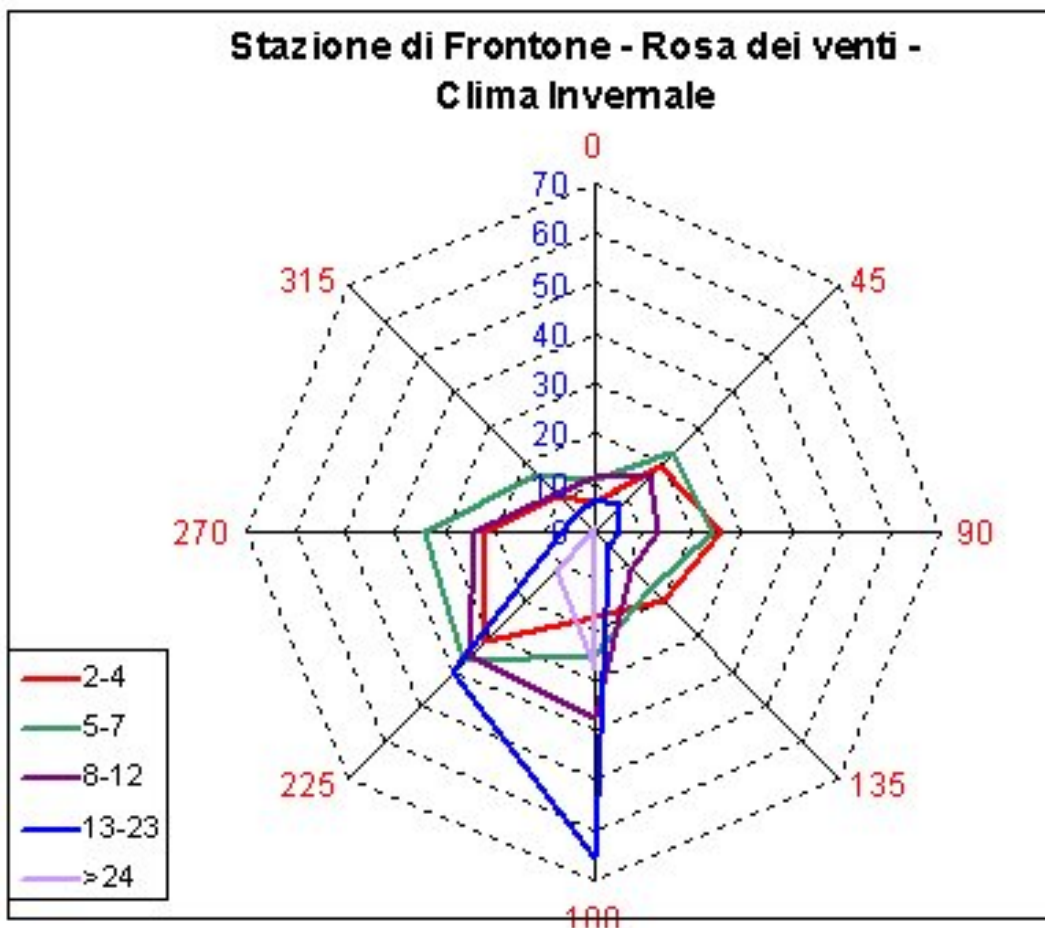


Fig. 4.1/D: Rosa dei venti invernale

	CLIENTE Snam Rete Gas SpA	COMMESSA 663000	UNITÀ 00
	LOCALITÀ Regioni Umbria – Marche - Toscana	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO / IMPIANTO Metanodotto Foligno - Sestino	Fg. 15 di 52	Rev. 0

Tab. 4.1/C: Distribuzione statistica (%) di direzione e velocità del vento in primavera

postazione di: Frontone		Statistica stagionale:		MAR - APR - MAG				
Numero osservazioni: 20.287								
		classi di velocità (nodi)						
settore	Direzione media	0 - 1	2 - 4	5 - 7	8 - 12	13 - 23	> 24	totale
N	0	-	4,42	6,67	6,2	2,88	0,12	20,3
NNE	22,5	-	11,55	12,41	9,58	3,57	0,1	37,2
NE	45	-	26,91	25,46	17,35	6,65	0,31	76,69
ENE	67,5	-	31,82	22,18	14,2	4,56	0,21	72,97
E	90	-	14,11	11,83	7,43	1,9	0,07	35,34
ESE	112,5	-	9,33	7,42	4,3	1,08	0	22,13
SE	135	-	8,52	7,44	4,29	1,75	0,18	22,18
SSE	157,5	-	9,5	15,75	22,06	24,67	6,96	78,94
S	180	-	7,53	18,78	26,1	34,95	8,97	96,33
SSW	202,5	-	12,95	20,28	27,36	29,58	5,96	96,13
SW	225	-	10,87	15,64	15,27	10,82	1,43	54,02
WSW	247,5	-	9,14	10,88	9,48	2,61	0,22	32,34
W	270	-	7,17	9,33	7,25	2,46	0,12	26,33
WNW	292,5	-	7,17	8,27	6,61	1,9	0,05	23,99
NW	315	-	6,97	8,49	7,46	1,93	0,05	24,91
NNW	337,5	-	5,45	6,45	5,56	2,3	0,07	19,83
variabili		-	0,64	0,39	0,39	0,25	0	1,68
calme		258,69						
totale		258,69	184,06	207,67	190,86	133,88	24,84	1000

	CLIENTE Snam Rete Gas SpA	COMMESSA 663000	UNITÀ 00
	LOCALITÀ Regioni Umbria – Marche - Toscana	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO / IMPIANTO Metanodotto Foligno - Sestino	Fg. 16 di 52	Rev. 0

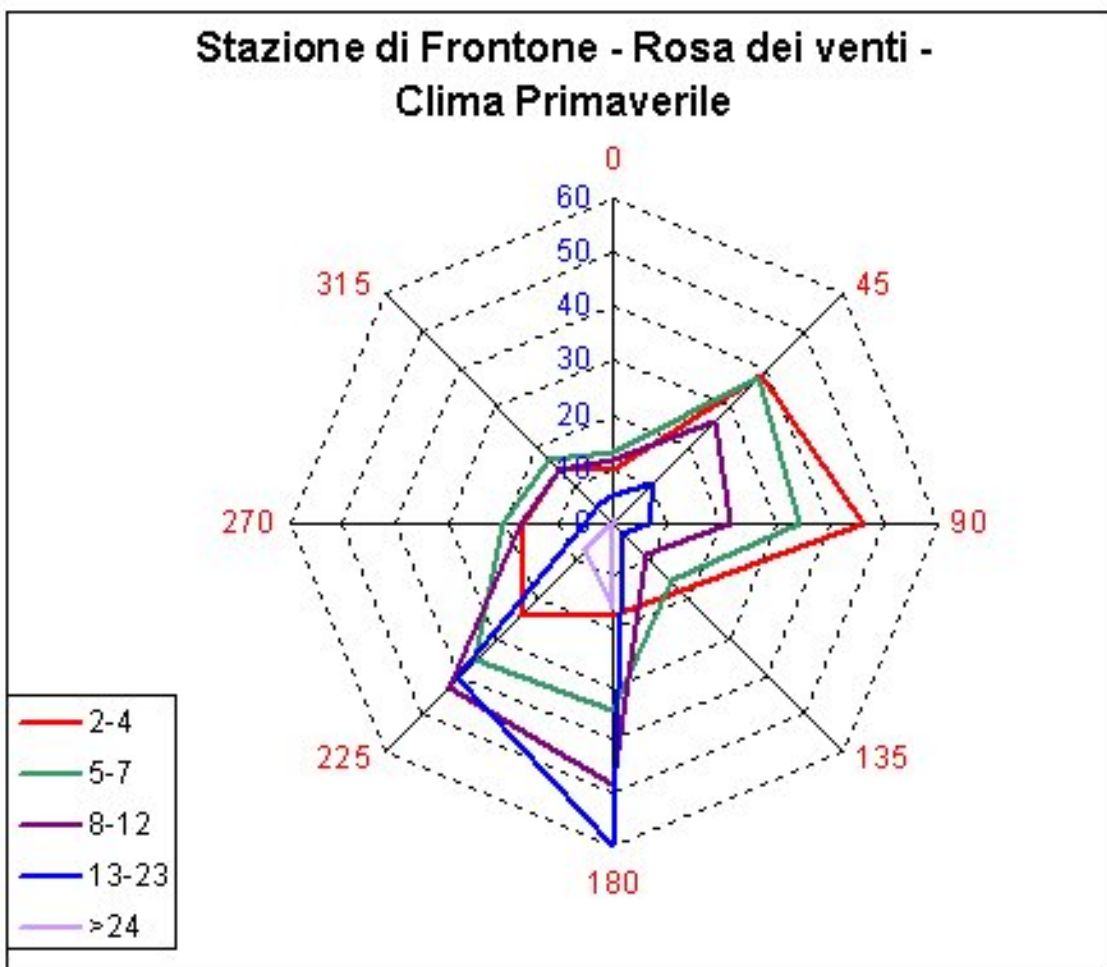


Fig. 4.1/E: Rosa dei venti primaverile

 Snamprogetti	CLIENTE Snam Rete Gas SpA	COMMESSA 663000	UNITÀ 00
	LOCALITÀ Regioni Umbria – Marche - Toscana	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO / IMPIANTO Metanodotto Foligno - Sestino	Fg. 17 di 52	Rev. 0

Tab. 4.1/D: Distribuzione statistica (%) di direzione e velocità del vento in estate

postazione di: Frontone		Statistica stagionale:		GIU - LUG - AGO				
Numero osservazioni: 20.232								
settore	Direzione media	classi di velocità (nodi)						totale
		0 - 1	2 - 4	5 - 7	8 - 12	13 - 23	> 24	
N	0	-	4,29	5,83	4,14	1,45	0,2	15,9
NNE	22,5	-	11,95	13,12	9,4	3,77	0,02	38,27
NE	45	-	30,73	24,7	12,49	3,35	0	71,27
ENE	67,5	-	37,11	22,13	9,75	2,16	0,05	71,2
E	90	-	17,21	11,84	5,15	0,8	0,05	35,06
ESE	112,5	-	7,18	6,57	2,71	0,36	0,05	16,87
SE	135	-	6,67	4,83	2,26	1,12	0,05	14,94
SSE	157,5	-	11,1	15,26	19,04	17,31	2,15	64,86
S	180	-	10,61	19,34	25,47	26,46	3,78	85,66
SSW	202,5	-	17,63	24,43	33,84	28,9	2,03	106,84
SW	225	-	12,39	17,65	18,13	14,87	1,25	64,28
WSW	247,5	-	10	11,69	9,7	3,89	0,19	35,46
W	270	-	7,95	8,41	6,28	2,66	0,19	25,48
WNW	292,5	-	7,28	6,64	4,5	1,77	0,01	20,19
NW	315	-	7,75	8,2	4,93	1,33	0,1	22,32
NNW	337,5	-	5,08	7,29	4,16	1,31	0,02	17,87
variabili		-	0,64	0,4	0,2	0,1	0	1,33
calme		292,21						292,21
totale		292,21	205,57	208,33	172,15	111,61	10,13	1000

	CLIENTE Snam Rete Gas SpA	COMMESSA 663000	UNITÀ 00
	LOCALITÀ Regioni Umbria – Marche - Toscana	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO / IMPIANTO Metanodotto Foligno - Sestino	Fg. 18 di 52	Rev. 0

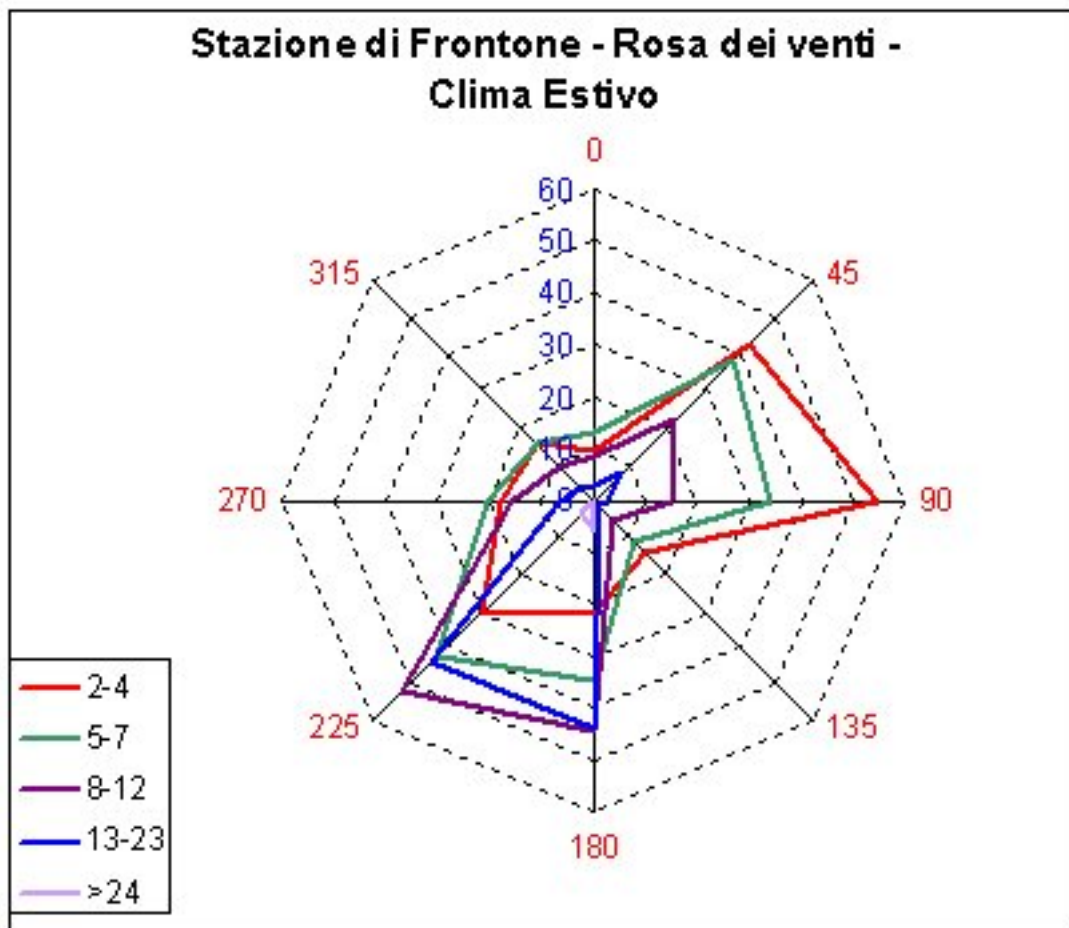


Fig. 4.1/F: Rosa dei venti estiva

	CLIENTE Snam Rete Gas SpA	COMMESSA 663000	UNITÀ 00
	LOCALITÀ Regioni Umbria – Marche - Toscana	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO / IMPIANTO Metanodotto Foligno - Sestino	Fg. 19 di 52	Rev. 0

Tab. 4.1/E: Distribuzione statistica (%) di direzione e velocità del vento in autunno

postazione di: Frontone		Statistica stagionale:		SET - OTT - NOV				
Numero osservazioni: 10.493				classi di velocità (nodi)				
settore	Direzione media	0 - 1	2 - 4	5 - 7	8 - 12	13 - 23	> 24	totale
N	0	-	2,98	3,99	4,52	1,67	0,19	13,34
NNE	22,5	-	6,71	9,32	7,83	3,04	0,06	26,97
NE	45	-	18,86	17,35	10,36	5,43	0,1	52,1
ENE	67,5	-	26,28	15,88	8,74	3,51	0,02	54,44
E	90	-	16,19	9,72	5,9	1,86	0,02	33,69
ESE	112,5	-	10,91	8,27	4,73	1,31	0	25,22
SE	135	-	12,07	7,61	4,43	2,09	0,14	26,34
SSE	157,5	-	11,52	14,78	17,94	25,68	6,99	76,91
S	180	-	10,91	16,28	21,97	33,82	9,35	92,33
SSW	202,5	-	15,12	18,92	19,28	21,01	3,75	78,08
SW	225	-	14,14	14,71	13,51	8,93	1,05	52,34
WSW	247,5	-	12,37	11,4	7,81	3,05	0,17	34,8
W	270	-	8,34	9,43	6,74	2,17	0,16	26,84
WNW	292,5	-	7,2	7,61	4,52	0,95	0,06	20,34
NW	315	-	5,73	5,18	4,32	1,2	0,1	16,53
NNW	337,5	-	3,11	4,38	3,35	1,27	0	12,12
variabili		-						
calme		356,32						356,32
totale		356,32	183,24	175,17	146,07	117,03	22,17	1000

	CLIENTE Snam Rete Gas SpA	COMMESSA 663000	UNITÀ 00
	LOCALITÀ Regioni Umbria – Marche - Toscana	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO / IMPIANTO Metanodotto Foligno - Sestino	Fg. 20 di 52	Rev. 0

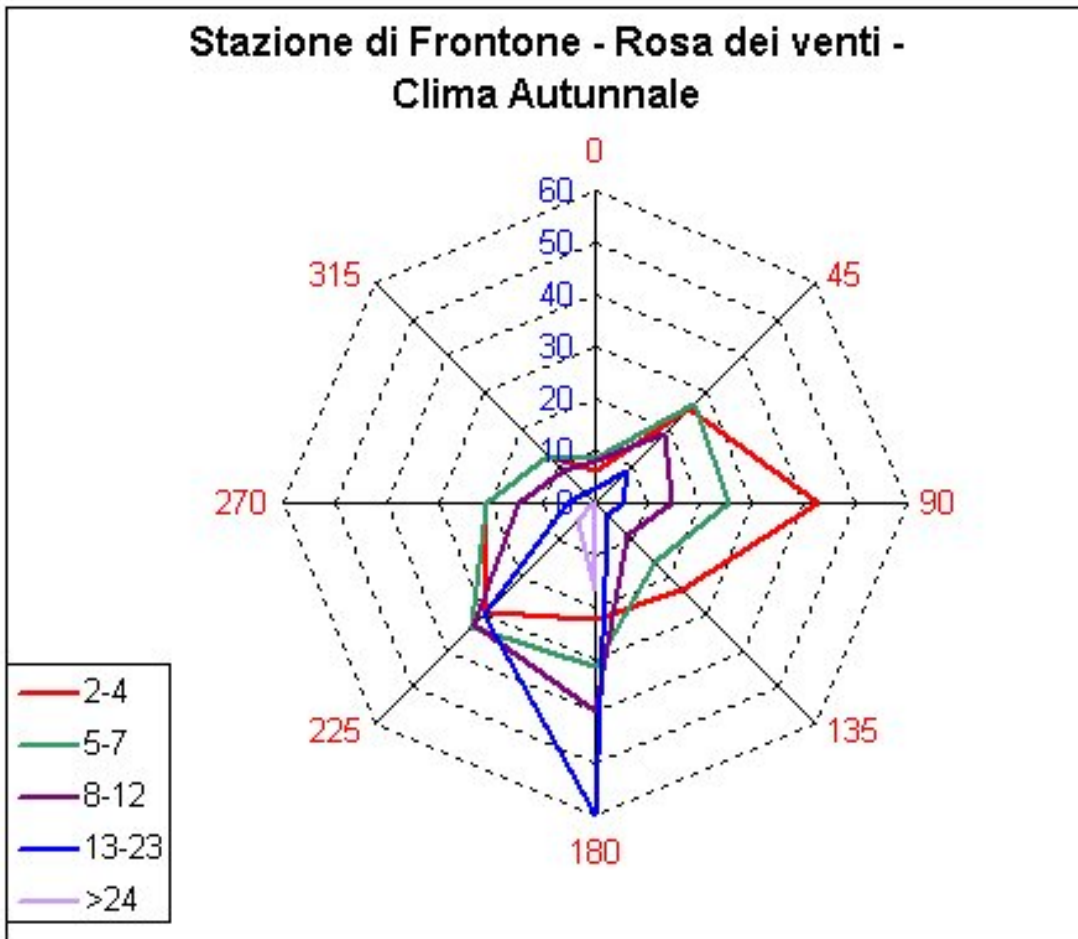


Fig. 4.1/G: Rosa dei venti autunnale

 Snamprogetti	CLIENTE Snam Rete Gas SpA	COMMESSA 663000	UNITÀ 00
	LOCALITÀ Regioni Umbria – Marche - Toscana	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO / IMPIANTO Metanodotto Foligno - Sestino	Fg. 21 di 52	Rev. 0

4.2 Classi di stabilità dell'atmosfera.

Le tabelle seguenti (vedi tab. 4.2/A÷4.2/D) riportano la distribuzione statistica delle osservazioni delle classi di stabilità atmosferica in funzione dell'ora sinottica, per le quattro stagioni. Si ha un'ovvia prevalenza di situazioni da neutre a stabili nel periodo Invernale, mentre situazioni con classi instabili diventano significative in primavera (circa 20%) e raggiungono un massimo in Estate (circa il 42% del totale delle osservazioni). L'occorrenza di nebbia raggiunge il 16% in inverno, mentre registra un minimo di circa 1% in estate. Nelle stagioni di transizione, si ha nebbia per il 5% del tempo in primavera e dell'8% in autunno.

Tab. 4.2/A: Statistica delle classi di stabilità in funzione delle ore sinottiche in inverno

Ore sinottiche	A	B	C	D	E	F + G	NEBBIA	TOTALE
0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	35,54	6,68	19,46	30,27	91,95
6	0	0	0	110,85	28,68	64,4	32,34	236,27
9	0	6,68	2,26	61,21	0	0	25,67	95,81
12	1,03	36,57	20,4	163,31	0	0	20,21	241,54
15	0	0	0	49,08	5,92	16,55	20,97	92,52
18	0	0	0	113,76	28,58	68,26	31,21	241,82
21	0	0	0	0,09	0	0	0	0,09
TOTALE	1,03	43,25	22,66	533,85	69,86	168,67	160,68	1000

Tab. 4.2/B: Statistica delle classi di stabilità in funzione delle ore sinottiche in primavera

Ore sinottiche	A	B	C	D	E	F + G	NEBBIA	TOTALE
0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	28,03	8,2	22,72	12,01	70,96
6	0	21,05	9,22	175,27	7,45	23,47	11,83	248,28
9	9,69	16,11	6,43	43,12	0	0	8,01	83,35
12	25,7	45,82	43,77	134,48	0	0	5,4	255,17
15	0,75	8,47	6,89	66,49	0	0	4,84	87,45
18	0	0	0	114,73	43,21	87,07	9,78	254,8
21	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTALE	36,13	91,45	66,31	562,12	58,86	133,27	51,87	1000

	CLIENTE Snam Rete Gas SpA	COMMESSA 663000	UNITÀ 00
	LOCALITÀ Regioni Umbria – Marche - Toscana	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO / IMPIANTO Metanodotto Foligno - Sestino	Fg. 22 di 52	Rev. 0

Tab. 4.2/C: Statistica delle classi di stabilità in funzione delle ore sinottiche in estate

Ore sinottiche	A	B	C	D	E	F + G	NEBBIA	TOTALE
0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	16,47	8,48	28,65	2,83	56,42
6	0	84	27,19	141,88	0	0	3,02	256,09
9	27,48	16,96	10,91	20,46	0	0	0,58	76,4
12	63,15	74,84	71,82	54,96	0	0	0,19	264,96
15	2,14	23,58	14,03	45,41	0	0	0,29	85,46
18	0	0	0	80,69	55,84	123,56	0,58	260,67
21	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTALE	92,77	199,38	123,95	359,87	64,31	152,21	7,5	1000

Tab. 4.2/D: Statistica delle classi di stabilità in funzione delle ore sinottiche in autunno

Ore sinottiche	A	B	C	D	E	F + G	NEBBIA	TOTALE
0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	28,07	6,83	26,78	16,71	78,39
6	0	0	0	126,69	21,14	78,85	16,62	243,31
9	6,93	15,14	3,23	51,06	0	0	13,3	89,66
12	16,81	47,74	19,58	156,97	0	0	7,85	248,94
15	0	4,8	4,89	62,23	2,31	8,13	8,68	91,04
18	0	0	0	97,97	32,87	102,68	15,14	248,66
21	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTALE	23,73	67,68	27,7	522,99	63,16	216,44	78,3	1000

4.4 Temperatura atmosferica e umidità relativa.

La statistica annuale della distribuzione della temperatura atmosferica in funzione dei valori di umidità relativa è riportata nella tabella 4.4/A riporta, gli stessi dati relativi alle ore sinottiche 06, 12 e 18 sono riportati nelle tabelle 4.4/B, 4.4/C e 4.4/D, quelli , relativi alle ore 00 non risultano disponibili.

	CLIENTE Snam Rete Gas SpA	COMMESSA 663000	UNITÀ 00
	LOCALITÀ Regioni Umbria – Marche - Toscana	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO / IMPIANTO Metanodotto Foligno - Sestino	Fg. 23 di 52	Rev. 0

Tab. 4.4/A: Distribuzione statistica di temperatura dell'aria e umidità relativa rilevate nella Stazione di Frontone - Clima Annuale

(°C)	00 - 40	41 - 50	51 - 60	61 - 70	71 - 80	81 - 90	91 - 100	TOTALE
-24.9 - -20	0	0	0	0	0	0	0	0
-19.9 - -15	0	0	0	0	0	0	0	0
-14.9 - -10	0	0	0	0	0,01	0,03	0,03	0,07
-9.9 - -5	0,04	0,07	0,22	0,34	0,94	0,88	1,31	3,8
-4.9 - 0	1,06	1,51	2,54	5,16	7,31	8,82	10,01	36,4
0.1 - 5.0	7,67	6,56	10,96	17,84	25,4	29,05	29,49	126,97
5.1 - 10.0	12,88	11,83	22,56	39,11	53,98	43,05	31,62	215,03
10.1 - 15.0	13,54	16,95	29,62	44,92	48,81	35,75	23,91	213,52
15.1 - 20.0	15,33	23,09	38,64	45,42	41,78	25,94	11,05	201,26
20.1 - 25.0	22,74	32,03	39,64	28,07	13,35	3,54	0,75	140,11
25.1 - 30.0	24,22	17,17	9,42	3,14	0,47	0,09	0	54,5
30.1 - 35.0	6,92	0,88	0,23	0,04	0	0	0,01	8,1
35.1 - 40.0	0,21	0,01	0	0	0	0	0	0,22
40.1 - 45.0	0,01	0	0	0	0	0	0	0,01
45.1 - 50.0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTALE	104,64	110,1	153,85	184,05	192,05	147,14	108,17	1000

Tab. 4.4/B: Distribuzione statistica di temperatura dell'aria e umidità relativa rilevate nella Stazione di Frontone - Clima Annuale - ora sinottica 06

(°C)	00 - 40	41 - 50	51 - 60	61 - 70	71 - 80	81 - 90	91 - 100	TOTALE
-24.9 - -20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-19.9 - -15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-14.9 - -10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,08	0,16
-9.9 - -5	0,08	0,08	0,32	0,57	1,13	1,37	1,45	5,01
-4.9 - 0	1,29	1,45	3,31	5,89	9,28	11,79	11,30	44,32
0.1 - 5.0	9,77	7,35	13,08	23,01	32,13	40,20	36,41	161,94
5.1 - 10.0	10,98	10,01	20,34	41,82	69,59	55,14	38,91	246,79
10.1 - 15.0	8,56	10,58	23,49	46,18	60,47	46,34	31,00	226,61
15.1 - 20.0	7,02	16,79	35,44	49,81	62,89	33,99	13,89	219,83
20.1 - 25.0	11,63	18,24	26,56	20,26	10,49	2,42	0,65	90,26
25.1 - 30.0	2,83	1,13	0,73	0,32	0,00	0,00	0,00	5,01
30.1 - 35.0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
35.1 - 40.0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
40.1 - 45.0	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08
45.1 - 50.0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTALE	52,24	65,63	123,27	187,86	245,98	191,33	133,69	1000

	CLIENTE Snam Rete Gas SpA	COMMESSA 663000	UNITÀ 00
	LOCALITÀ Regioni Umbria – Marche - Toscana	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO / IMPIANTO Metanodotto Foligno - Sestino	Fg. 24 di 52	Rev. 0

Tab. 4.4/C: Distribuzione statistica di temperatura dell'aria e umidità relativa rilevate nella Stazione di Frontone - Clima Annuale - ora sinottica 12

(°C)	00 - 40	41 - 50	51 - 60	61 - 70	71 - 80	81 - 90	91 - 100	TOTALE
-24.9 - -20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-19.9 - -15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-14.9 - -10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-9.9 - -5	0,00	0,00	0,00	0,27	0,18	0,36	0,82	1,64
-4.9 - 0	0,64	1,18	2,00	3,18	4,18	5,18	6,63	22,98
0.1 - 5.0	5,36	7,72	10,45	16,26	19,99	18,80	22,35	100,93
5.1 - 10.0	17,26	14,17	24,16	36,16	40,24	29,25	22,62	183,87
10.1 - 15.0	21,80	25,16	36,34	47,60	33,25	21,26	14,44	199,85
15.1 - 20.0	27,07	29,34	48,42	39,52	24,80	12,81	5,63	187,59
20.1 - 25.0	38,97	50,96	50,24	27,16	8,09	1,64	0,27	177,33
25.1 - 30.0	50,60	34,88	15,08	3,63	0,09	0,09	0,00	104,38
30.1 - 35.0	18,53	1,91	0,55	0,09	0,00	0,00	0,09	21,17
35.1 - 40.0	0,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,27
40.1 - 45.0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
45.1 - 50.0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTALE	180,51	165,33	187,23	173,87	130,81	89,39	72,86	1000

Tab. 4.4/D: Distribuzione statistica di temperatura dell'aria e umidità relativa rilevate nella Stazione di Frontone - Clima Annuale - ora sinottica 18

(°C)	00 - 40	41 - 50	51 - 60	61 - 70	71 - 80	81 - 90	91 - 100	TOTALE
-24.9 - -20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-19.9 - -15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-14.9 - -10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	0,08
-9.9 - -5	0,00	0,00	0,08	0,32	0,80	0,72	1,20	3,11
-4.9 - 0	1,20	1,68	2,23	4,39	7,02	7,02	8,14	31,68
0.1 - 5.0	7,02	6,62	10,93	17,08	25,06	28,65	30,33	125,70
5.1 - 10.0	11,01	11,17	22,59	38,07	49,88	47,01	36,07	215,80
10.1 - 15.0	9,74	15,96	28,49	41,74	43,81	38,95	29,29	207,98
15.1 - 20.0	12,45	21,47	34,00	39,90	39,19	31,28	14,37	192,66
20.1 - 25.0	19,63	33,52	43,34	34,56	19,07	6,38	1,92	158,42
25.1 - 30.0	21,79	19,15	12,13	6,15	1,12	0,40	0,00	60,73
30.1 - 35.0	3,19	0,40	0,08	0,16	0,00	0,00	0,00	3,83
35.1 - 40.0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
40.1 - 45.0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
45.1 - 50.0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTALE	86,03	109,98	153,87	182,36	185,95	160,49	121,31	1000

 Snamprogetti	CLIENTE Snam Rete Gas SpA	COMMESSA 663000	UNITÀ 00
	LOCALITÀ Regioni Umbria – Marche - Toscana	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO / IMPIANTO Metanodotto Foligno - Sestino	Fg. 25 di 52	Rev. 0

4.5 Nuvolosità e precipitazioni

La distribuzione statistica della copertura nuvolosa nei mesi, osservata alla stazione di Frontone, è riportata nella tabella 4.5/A, mentre la statistica delle precipitazioni nei mesi è mostrata nella tabella 4.5/B: per ciascun mese vengono riportati i primi 5 massimi di precipitazione, la precipitazione media mensile e il numero medio di giorni di pioggia, definiti come i giorni con almeno 1 mm. di precipitazione.

La precipitazione media annua risulta nell'ordine dei 1100 mm, con circa 141 giorni di pioggia annui; il minimo di precipitazione si registra nel mese di luglio, con 60 mm di media e circa 7 giorni di pioggia, il massimo in novembre, con 142 mm e 14 giorni di pioggia.

Tabella 4.5/A: Stazione di Frontone – Andamento nei mesi della copertura nuvolosa -(dati: ENEL- AM)

Stazione meteorologica AM di Frontone - 43°31' N - 11° 44' E - Alt. = 574 m													
Frequenza di occorrenza della copertura nuvolosa per mese													
Copertura (Ottavi)	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Totale
0	144,89	122,46	126,11	110,15	114,69	122,14	270,21	265,85	210,08	146,98	108,01	128,56	156,26
1	50,37	51,38	48,7	53,87	68,99	91,98	127,07	108,28	81,04	60,67	45,26	49,53	69,91
2	50,81	47,86	46,95	60,07	67,09	79,56	93	85,63	77,12	60,81	46,76	48,5	63,77
3	46,37	48,34	53,94	54,62	71,48	93,35	97,68	86,21	78,63	64,77	53,55	46,6	66,39
4	33,48	36,66	44,03	48,87	61,08	66,68	66,97	66,5	62,33	48,8	41,03	34,62	50,99
5	42,67	48,5	51,61	61,43	80,12	81,68	75,3	71,8	76,82	65,36	47,22	48,5	62,65
6	62,67	69,47	72,31	94,27	96,53	109,26	78,52	82,39	83,91	83,09	69,24	65,16	80,56
7	148,15	159,6	167,66	198,67	206,97	195,64	108,2	131,82	157,71	176,58	173,93	139,66	163,57
8	278,96	292,14	291,73	275,68	200,97	146,23	76,62	95,48	150,47	228,75	291,75	284,29	217,26
INVISIBILE	144,89	122,46	126,11	110,15	114,69	122,14	270,21	265,85	210,08	146,98	108,01	128,56	156,26
TOTALE	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000

 Snamprogetti	CLIENTE Snam Rete Gas SpA	COMMESSA 663000	UNITÀ 00
	LOCALITÀ Regioni Umbria – Marche - Toscana	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO / IMPIANTO Metanodotto Foligno - Sestino	Fg. 26 di 52	Rev. 0

Tab. 4.5/B: Stazione di Frontone – Valori massimi mensili della precipitazione giornaliera (primi 5 valori) e giorni di pioggia nel mese (dati: ENEL AM)

Stazione meteorologica AM di Frontone - 43°31' N - 11° 44' E - Alt. = 574 m - Dati: Gen. 1955 - Dic. 1991													
Valori medi e Massimi (primi 5 valori) di precipitazione giornaliera e n. di giorni di pioggia nel mese													
	MESE												
	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	ANNO
Precipitazione Giornaliera – Valori Massimi (mm)	59	64	82	52	64	89	81	119	129	73	89	76	129
	57	50	59	49	59	76	79	85	124	65	81	68	124
	50	46	56	48	51	71	53	72	110	63	75	52	119
	36	42	55	38	48	67	53	70	79	59	72	52	110
	35	42	43	38	48	65	52	51	65	55	71	50	89
Valore medio (mm) della precipitazione mensile e annuale	72,1	94,6	95,4	96,7	101,2	85,6	60	83,4	98,1	109,3	142,2	105,4	1143,9
Giorni medi di Pioggia nel mese (> 1 mm)	12,6	13,1	13,8	13,7	11,8	10,3	7,4	8,3	9,5	11,7	14,4	14,5	141,2

	CLIENTE Snam Rete Gas SpA	COMMESSA 663000	UNITÀ 00
	LOCALITÀ Regioni Umbria – Marche - Toscana	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO / IMPIANTO Metanodotto Foligno - Sestino	Fg. 27 di 52	Rev. 0

5 IL MODELLO DI SIMULAZIONE NUMERICA

La simulazione numerica della dispersione degli inquinanti emessi è stata condotta con il sistema modellistico CALPUFF, che si compone di un modello di simulazione del campo di vento su orografia complessa, modello CALMET, del modello dispersivo a puff CALPUFF e di una serie di programmi per il pre-processing e post processing dei dati di input e output. Le componenti meteorologica e dispersiva del sistema sono brevemente descritte nei paragrafi seguenti.

5.1 Modello meteorologico CALMET

CALMET è un modello meteorologico per orografia complessa sviluppato dalla Sigma Research Corporation per il California Air Resource Board (CARB). Può essere utilizzato per la simulazione delle condizioni atmosferiche su scale che vanno dall'ambito locale alla mesoscala (cfr. il manuale utente "A user's guide for the CALMET meteorological model – Vers. 5.0 – Earth Tech Inc., 1999").

Il modello si compone di due moduli:

- il modulo meteorologico per la ricostruzione, sul dominio di calcolo, della struttura del campo di vento tridimensionale su orografia complessa;
- il modulo micrometeorologico per la stima dei parametri diffusivi dello strato limite planetario.

Nel modulo meteorologico la ricostruzione del campo di vento viene attuata con una procedura a due fasi.

Nella prima fase dalle condizioni medie a grande scala viene stimato il campo di vento medio sul dominio che viene quindi corretto con una serie di formule empiriche che tengono conto degli effetti locali indotti dall'orografia e dalla termica dell'atmosfera. Tali correzioni tengono conto dei seguenti fenomeni:

- Effetti cinematici dell'orografia - Dal vento medio sul dominio di calcolo viene stimata la componente verticale della velocità del vento indotta dall'orografia; tale componente è massima in prossimità del suolo e viene fatta decadere con la quota, utilizzando una funzione esponenziale dipendente dalle condizioni di stabilità dell'atmosfera. Le modifiche alle componenti orizzontali della velocità del vento vengono valutate con uno schema di minimizzazione della divergenza, in modo da garantire la conservazione della massa totale.
- Flussi di drenaggio - I flussi di drenaggio, cioè quelli indotti dalla pendenza dell'orografia, vengono stimati con lo schema empirico di Allwine & Whiteman: il flusso è descritto da formule parametriche che tengono conto della pendenza e della quota dell'orografia, del profilo verticale della temperatura sul dominio, del bilancio termico locale stimato internamente dal modello.
- Blocking termodinamico - Gli effetti di blocking termodinamico dell'orografia vengono parametrizzati in funzione del valore locale del numero di Froude, definito come:

$$F_r = \frac{V}{N\Delta h}$$

	CLIENTE Snam Rete Gas SpA	COMMESSA 663000	UNITÀ 00
	LOCALITÀ Regioni Umbria – Marche - Toscana	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO / IMPIANTO Metanodotto Foligno - Sestino	Fg. 28 di 52	Rev. 0

dove:

V = modulo della velocità del vento

$N = \sqrt{\frac{g}{g} \frac{\partial g}{\partial z}}$ = frequenza di Brunt Väisälä

Δh = Altezza effettiva dell'ostacolo orografico.

Se il numero di Froude è inferiore ad un valore critico definibile in input ed il vento locale ha componente nel verso del gradiente orografico, la direzione del vento viene posta parallela a tale gradiente, mentre non viene modificato il modulo della velocità.

Se il valore del numero di Froude è superiore al valore critico, non viene fatta nessuna correzione.

Nella seconda fase si effettua un'analisi obiettiva delle misure al suolo ed in quota disponibili nell'area in esame, che vengono combinate con il vento stimato nella prima fase per ottenere il vento finale sul dominio di calcolo.

Tale analisi obiettiva è costituita da diversi passi:

- Il vento stimato nella prima fase ed il vento osservato nelle stazioni di misura vengono interpolati sui nodi della griglia di calcolo con una funzione peso, proporzionale all'inverso del quadrato della distanza.
- eventuali discontinuità nel vento interpolato vengono rimosse con una procedura di smoothing.
- la componente verticale della velocità del vento viene stimata dalle componenti orizzontali, imponendo la conservazione della massa nell'ipotesi di fluido incompressibile.
- la conservazione globale della massa sul dominio di calcolo viene garantita da una procedura iterativa di minimizzazione della divergenza, applicata al vento stimato.
- Nel modulo micrometeorologico il modello stima il valore delle variabili caratteristiche dello strato limite planetario necessarie per la valutazione della diffusione di inquinanti:
 - il flusso di calore alla superficie Q_h ;
 - il flusso di momento $-\rho \langle u' w' \rangle = -\rho u_*^2$;
 - l'altezza dello strato limite h .

Da tali variabili vengono calcolati gli altri parametri rilevanti, quali la velocità di attrito u^* , la scala della velocità convettiva w^* e la lunghezza di Monin Obukhov L . Per stimare tali grandezze dalle misure al suolo sono comunemente impiegati due approcci:

- il primo - definito metodo dei profili - richiede come minimo la misura della velocità del vento ad un livello e della temperatura a due livelli in prossimità del suolo, e fa quindi uso delle leggi di similarità per stimare i parametri dello strato limite;
- il secondo metodo - chiamato metodo del bilancio energetico - fa uso della relazione di bilancio dell'energia in prossimità del suolo; i termini non noti in tale relazione di bilancio vengono stimati sulla base di formule parametriche.

	CLIENTE Snam Rete Gas SpA	COMMESSA 663000	UNITÀ 00
	LOCALITÀ Regioni Umbria – Marche - Toscana	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO / IMPIANTO Metanodotto Foligno - Sestino	Fg. 29 di 52	Rev. 0

Il modello CALMET utilizza un approccio basato sul metodo dei profili per lo strato limite su superfici liquide (laghi, mari) e il metodo del bilancio energetico sul suolo.

Come dati in ingresso il modello CALMET richiede:

- la caratterizzazione del dominio di calcolo (andamento orografico, tipologia di utilizzo del suolo);
- misure meteorologiche orarie in almeno una stazione al suolo nel dominio di calcolo; le misure richieste comprendono: velocità e direzione del vento; temperatura dell'aria; entità e quota della copertura nuvolosa; entità delle precipitazioni;
- misure meteorologiche di almeno un sondaggio in quota; per ogni quota sono richieste: pressione atmosferica; quota di misura; temperatura; velocità e direzione del vento.

L'uscita del modello è costituita da due file:

- un file (editabile) che riporta le opzioni di input selezionate e il valore delle principali variabili calcolate per ogni ora di simulazione;
- un file (non editabile) che contiene - per ogni ora di simulazione - le grandezze meteorologiche e i parametri diffusivi dello strato limite richiesti per la valutazione dei processi diffusivi di inquinanti, in un formato immediatamente utilizzabile del modello di dispersione CALPUFF.

5.2 Modello dispersivo CALPUFF

Il modello CALPUFF utilizza il metodo dei puff gaussiani per la simulazione della dispersione di inquinanti atmosferici, su scale che vanno dall'ambito locale alla mesoscala, in condizioni meteorologiche non stazionarie e non omogenee, su orografia complessa.

Il modello si compone di diversi moduli che consentono di tenere conto - nel processo di diffusione e di rimozione degli inquinanti - degli effetti orografici, della eventuale presenza di superfici acquose nel dominio di calcolo, degli effetti di prossimità degli edifici, dei fenomeni di deposizione secca ed umida e di reazioni chimiche semplici.

Il modello è stato sviluppato dalla SIGMA Research Corporation per il California Air Resource Board (CARB) ed è inserito in una catena di modelli che comprende anche il modello meteorologico diagnostico CALMET, precedentemente descritto, ed il modello fotochimico Euleriano CALGRID.

Nell'ambito della schematizzazione, la nube di inquinante viene descritta con un numero discreto di puff, ciascuno dei quali è trasportato in modo indipendente dal vento locale. All'interno di ciascun puff si assume una distribuzione gaussiana della concentrazione dell'inquinante.

Il contributo di ciascun puff alla concentrazione di inquinante in un recettore al suolo è esprimibile con la formula:

$$C = \frac{Q}{2\pi\sigma_x\sigma_y} g \exp\left[-\frac{d_a}{2\sigma_x^2}\right] \exp\left[-\frac{d_c^2}{2\sigma_y^2}\right]$$

 Snamprogetti	CLIENTE Snam Rete Gas SpA	COMMESSA 663000	UNITÀ 00
	LOCALITÀ Regioni Umbria – Marche - Toscana	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO / IMPIANTO Metanodotto Foligno - Sestino	Fg. 30 di 52	Rev. 0

con

$$g = \frac{2}{\sqrt{2\pi}\sigma_z} \sum_{b=-\infty}^{+\infty} \exp\left[-\frac{-He + 2nh}{2\sigma_z^2}\right]$$

dove C è la concentrazione al recettore; Q la massa di inquinante all'interno del puff; d_a e d_c sono le componenti della distanza tra il centro del puff ed il recettore; He è la quota del centro del puff rispetto al suolo ed h l'altezza dello strato limite.

La sommatoria nel termine che descrive la distribuzione verticale dell'inquinante tiene conto degli effetti di riflessione al suolo e alla sommità dello strato limite.

Uno degli aspetti critici nella simulazione a puff è dato dalla definizione delle deviazioni standard σ_x ; σ_y e σ_z . In CALPUFF si assume una distribuzione omogenea orizzontalmente, cioè $\sigma_x = \sigma_y$, quindi per valutare le deviazioni standard orizzontale e verticale vengono sommati gli effetti dei vari contributi, sulla base della seguente relazione formale:

$$\sigma_y^2 = \sigma_{y,t}^2 + \sigma_{y,s}^2 + \sigma_{y,b}^2$$

$$\sigma_z^2 = \sigma_{z,t}^2 + \sigma_{y,b}^2$$

dove il suffisso $_{,t}$ indica il contributo dovuto alla turbolenza; $_{,b}$ il contributo di buoyancy; $_{,s}$ il contributo dello shear del vento.

Il contributo di turbolenza viene descritto in base alle forme generali suggerite da Hanna:

$$\sigma_{y,t} = \sigma_v t f_y\left(\frac{t}{T_{Ly}}\right)$$

$$\sigma_{z,t} = \sigma_w t f_z\left(\frac{t}{T_{Lz}}\right)$$

dove σ_y e σ_w sono le derivazioni standard orizzontali e verticali della velocità del vento; t è il tempo; f_y ed f_z sono arbitrarie funzioni adimensionali; T_{Ly} e T_{Lz} sono le scale lagrangiane dei tempi, rispettivamente, orizzontale e verticale.

Per la definizione di σ_v e σ_w in termini di parametri macroscopici, CALPUFF utilizza una formulazione notevolmente elaborata, dipendente dalle variabili caratteristiche dello strato limite (h, u_*, w_*, L), per la cui descrizione si rimanda al manuale utente ("A user's guide for the CALPUFF dispersion model – Vers. 5.0 – Earth Tech Inc., 1999").

 Snamprogetti	CLIENTE Snam Rete Gas SpA	COMMESSA 663000	UNITÀ 00
	LOCALITÀ Regioni Umbria – Marche - Toscana	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO / IMPIANTO Metanodotto Foligno - Sestino	Fg. 31 di 52	Rev. 0

Per le funzioni f_y e f_z si utilizza la parametrizzazione di Draxel (1976):

$$f_y = \left[1 + 0.9 \left(\frac{t}{1000} \right)^{1/2} \right]^{-1}$$

$$f_z = \begin{cases} \left[1 + 0.9 \left(\frac{t}{500} \right)^{1/2} \right]^{-1} & L < 0 \\ \left[1 + 0.945 \left(\frac{t}{100} \right)^{0.806} \right]^{-1} & L > 0 \end{cases}$$

Le componenti di buoyancy vengono definite in base all'innalzamento del plume come:

$$\sigma_{y,b} = \sigma_{z,b} = \frac{\Delta H}{3.5}$$

Gli effetti di prossimità degli edifici vengono descritti tramite formule che incrementano i coefficienti di diffusione σ_y e σ_z . A tale scopo il modello implementa sia la procedura di Huber & Snyder che quella di Shulman & Scive.

CALPUFF è in grado di trattare sia sorgenti puntuali che lineari, areali e volumetriche. Nel caso di sorgenti puntuali, l'innalzamento iniziale del pennacchio viene descritto in base alla classica formulazione di Briggs, a cui vengono applicati dei termini correttivi per tenere conto degli effetti di prossimità degli edifici, dello shear del vento e della penetrazione parziale del pennacchio al di sopra dello strato limite.

I meccanismi di rimozione dell'inquinante simulati in CALPUFF sono i fenomeni di deposizione secca ed umida e alcune reazioni chimiche.

La deposizione secca viene schematizzata con un modello a resistenza: la velocità di deposizione, che formalmente è definita dalla relazione

$$V_d = \frac{F}{X_s}$$

dove F è il flusso di deposizione ed X_s la concentrazione dell'inquinante, viene parametrizzata come inverso della somma di 3 resistenze:

$$V_d = \frac{1}{r_a + r_d + r_c}$$

in cui r_a rappresenta la resistenza dello strato limite superficiale, dove dominano gli effetti turbolenti, r_d è la resistenza dello strato di deposizione, dove dominano gli effetti viscosi, r_c è la resistenza dovuta alla vegetazione.

Gli effetti di deposizione umida vengono descritti applicando una formula di decadimento esponenziale della concentrazione di inquinante:

$$C(t + \Delta t) = C(t) \exp[-\Lambda \Delta t]$$

	CLIENTE Snam Rete Gas SpA	COMMESSA 663000	UNITÀ 00
	LOCALITÀ Regioni Umbria – Marche - Toscana	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO / IMPIANTO Metanodotto Foligno - Sestino	Fg. 32 di 52	Rev. 0

dove $\Lambda = \lambda \left(\frac{R}{R_1} \right)$, in cui λ è un coefficiente dipendente dal tipo di inquinante e dal tipo di precipitazione, R è l'entità di precipitazione in $\frac{mm}{h}$ e R_1 rappresenta una precipitazione di riferimento.

CALPUFF include, infine, alcuni semplici meccanismi per valutare la trasformazione degli ossidi di zolfo in solfati e degli ossidi di azoto in nitrati.

Come parametri di input, il modello richiede la descrizione delle caratteristiche delle sorgenti – che debbono essere fornite dall'utente – e delle condizioni meteorologiche e delle caratteristiche diffusive dell'atmosfera, che, nell'utilizzo standard del modello, vengono valutate da CALMET.

L'output del modello è costituito da un file editabile rivolto all'utente, contenente una sintesi delle caratteristiche della simulazione effettuata, e da un file non editabile, contenente la serie temporale delle concentrazioni calcolate dal modello, che – nell'applicazione standard del sistema modellistico – vengono elaborate con il post processore CALPOST, che consente di ottenere le concentrazioni medie ai recettori su diversi intervalli temporali, selezionabili dall'utente.

5.3 Definizione dei dati meteorologici di ingresso

Come evidenziato nella precedente descrizione della catena modellistica, il modello di simulazione meteorologica richiede una caratterizzazione delle variabili anemologiche e meteorologiche al suolo e in quota, fino alla sommità dello strato limite planetario.

Nell'ambito delle presenti simulazioni, per la caratterizzazione delle condizioni al suolo si è fatto riferimento alle misure della stazione di Frontone, nel periodo 1955-1991, relativi quindi a un anno medio determinato da 35 anni di osservazioni. Ai fini della simulazione modellistica i dati climatici della stazione sono stati trasformati in una serie temporale statisticamente equivalente.

Le caratteristiche anemologiche e meteorologiche in quota sono state valutate a partire dai dati al suolo con le seguenti formule:

- Pressione e temperatura - Si è utilizzata l'equazione idrostatica dell'atmosfera:

$$\frac{dP(z)}{dz} = -\frac{g}{RT} P(z)$$

assumendo un decadimento adiabatico della temperatura:

$$T(z) = T_0 + \gamma(z - z_0) \quad \gamma \approx -0.0098 \frac{^{\circ}\text{K}}{\text{m}}$$

- Velocità e direzione del vento - Fino a quote dell'ordine dei 100 m, cioè all'interno dello strato limite superficiale, si è assunto un profilo di potenza del vento e si è

	CLIENTE Snam Rete Gas SpA	COMMESSA 663000	UNITÀ 00
	LOCALITÀ Regioni Umbria – Marche - Toscana	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO / IMPIANTO Metanodotto Foligno - Sestino	Fg. 33 di 52	Rev. 0

mantenuta la direzione del vento al suolo:

$$\frac{W(z)}{W(z_0)} = \left(\frac{z}{z_0} \right)^\alpha \quad \vartheta(z) = \vartheta_0$$

dove l'esponente α è funzione delle condizioni di stabilità atmosferica.

A quote superiori e fino alla sommità dello strato limite planetario, la velocità e direzione del vento sono state valutate utilizzando la formulazione di Ekman:

$$u(z) = u_g \left[1 - e^{-\gamma z} \cos(\gamma z) \right]$$

$$v(z) = u_g \left[e^{-\gamma z} \sin(\gamma z) \right]$$

dove la costante di decadimento γ è legata al parametro di Coriolis f e alla costante di rimescolamento atmosferico K_m dalla relazione:

$$\gamma = \sqrt{\frac{f}{2K_m}}$$

Le equazioni precedenti sono espresse in un riferimento solidale con il vento geostrofico u_g , quindi, operativamente:

- dal valore noto della velocità e direzione del vento alla sommità dello strato limite superficiale si calcola velocità e direzione del vento geostrofico con le relazioni precedenti;
- le stesse relazioni vengono utilizzate per calcolare velocità e direzione del vento alle quote desiderate, nel sistema di riferimento orientato come il vento geostrofico;
- la direzione calcolata del vento geostrofico viene utilizzata per passare dal riferimento solidale con il vento geostrofico al riferimento meteorologico, solidale con la superficie terrestre.

Come si è cercato di evidenziare nella descrizione precedente, l'intera procedura di stima delle condizioni in quota presenta notevoli approssimazioni, tuttavia esse non introducono significativi elementi di incertezza nei calcoli di dispersione, specialmente nella presente applicazione, dove le emissioni avvengono in prossimità del suolo e mancano significativi effetti di "galleggiamento" del pennacchio, per cui la dinamica dispersiva risulta confinata in prossimità del terreno, dove l'estrapolazione delle condizioni in quota da quelle al suolo ha maggiore attendibilità.

	CLIENTE Snam Rete Gas SpA	COMMESSA 663000	UNITÀ 00
	LOCALITÀ Regioni Umbria – Marche - Toscana	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO / IMPIANTO Metanodotto Foligno - Sestino	Fg. 34 di 52	Rev. 0

5.4 Definizione del dominio di calcolo

La definizione delle caratteristiche orografiche dell'area è stata effettuata utilizzando un DTM proprietario, con risoluzione locale pari a 80 m (vedi fig. 5.4/A). Per la definizione del dominio di calcolo, tale DTM è stato campionato a 400 m per l'area di analisi attorno al paese di Sestino. Le simulazioni meteorologiche sono state effettuate considerando un dominio quadrato di 20x20 km.

Le simulazioni della dispersione sono state effettuate per 4 zone significative lungo il tracciato, indicate nel seguito con le sigle S1-S4 (vedi par. 5.5), con risoluzione spaziale molto più fitta delle simulazioni meteorologiche: in ciascuna zona si è infatti considerata una griglia di recettori con risoluzione di 80 m, in un dominio di 4x4 km.

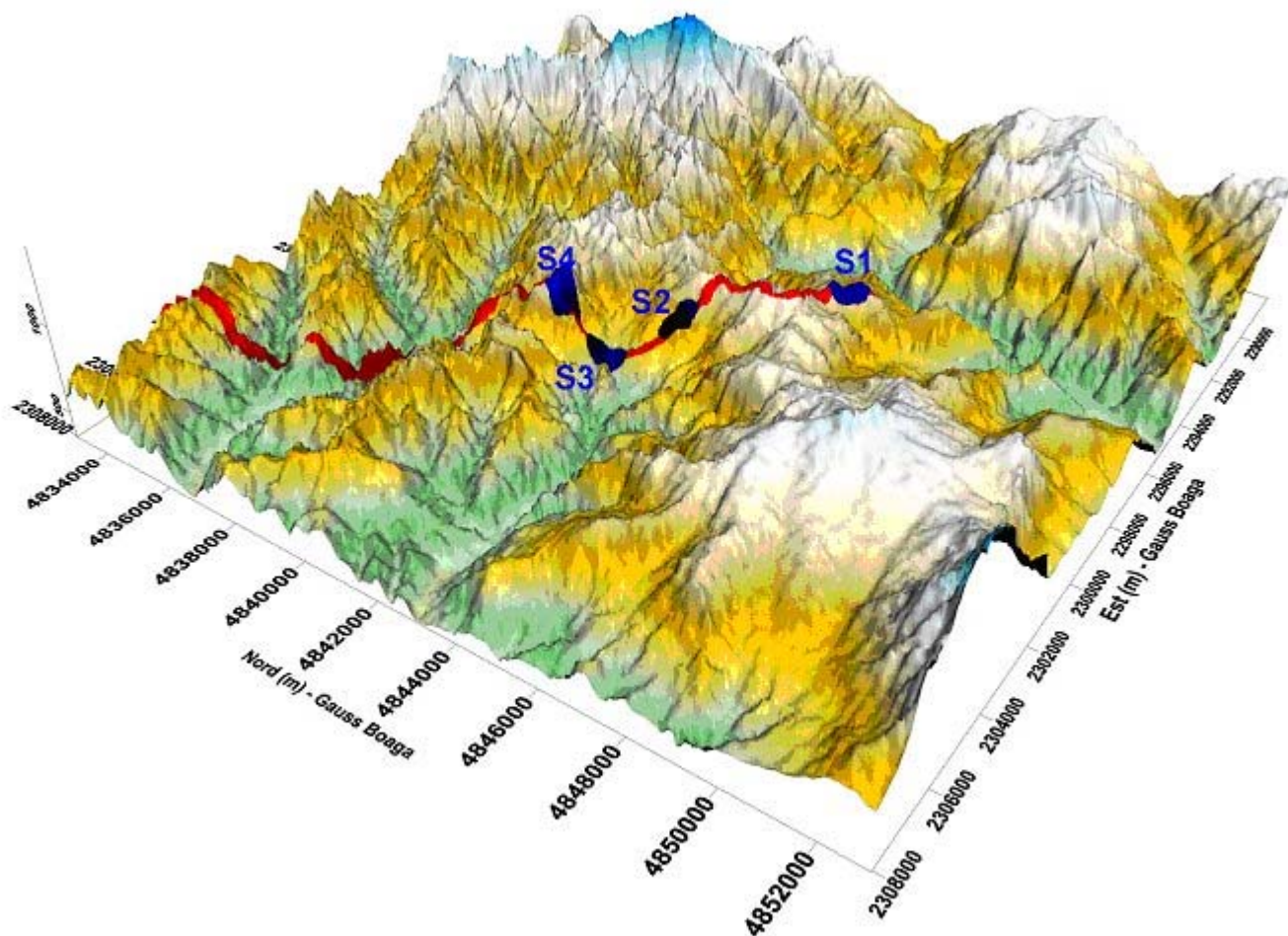


Fig. 5.4/A: DTM a 80 m per l'area di analisi, con evidenziata la rotta del metanodotto e i siti campione dell'analisi di dispersione

 Snamprogetti	CLIENTE Snam Rete Gas SpA	COMMESSA 663000	UNITÀ 00
	LOCALITÀ Regioni Umbria – Marche - Toscana	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO / IMPIANTO Metanodotto Foligno - Sestino	Fg. 35 di 52	Rev. 0

5.5 Risultati dell'analisi di dispersione degli inquinanti

Le analisi di concentrazione dei PTS e degli inquinanti gassosi nell'area circostante il cantiere sono state effettuate sulla base dei dati di emissione indicati alla sezione (vedi cap 3), con le condizioni meteorologiche desunte dai dati della stazione di Frontone (vedi cap. 4).

Per tener conto della variabilità delle situazioni meteorologiche e delle incertezze caratteristiche delle simulazioni modellistiche - si è ritenuto opportuno effettuare le analisi dispersive per scenari rappresentativi di tutte le stagioni. Gli scenari selezionati sono:

- **Primavera** 1-20 Aprile;
- **Estate** 1-20 Luglio;
- **Autunno** 1-20 Novembre;
- **Inverno** 1-20 Febbraio.

Le analisi di dispersione sono state fatte per 4 siti rappresentativi della sezione di tracciato di interesse:

- Area S1 - situata alle coordinate ca. 2.296.700 E - 4.846.000 N;
- Area S2 - situata alle coordinate ca. 2.299.000 E - 4.843.000 N;
- Area S3 - situata alle coordinate ca. 2.300.400 E - 4.842.000 N;
- Area S4 - situata alle coordinate ca. 2.300.000 E - 4.840.600 N.

In ciascuna area si è considerata una sezione di tracciato di 300 m, cioè grosso modo pari alla lunghezza della trincea scavata in un giorno. Poiché l'emissione di inquinanti è limitata alle ore diurne, nelle quali è attivo il cantiere, si può considerare che i valori di ricaduta di ciascun giorno siano indipendenti da quanto accade nelle altre giornate. In questo modo l'estensione della simulazione su un periodo di 20 giorni consente di stimare la variabilità della ricaduta in funzione della variabilità delle condizioni meteo.

Nell'ambito delle simulazioni, oltre a quanto precedentemente evidenziato, sono state adottate alcune ipotesi conservative relativamente alle emissioni:

- si è assunta un'emissione continua su tutta la lunghezza della trincea, mentre nella realtà i mezzi si spostano lungo l'asse della trincea, per cui le emissioni, specialmente per quanto riguarda le polveri, sarebbero di volta in volta limitate ad una zona più ristretta di quanto ipotizzato nell'analisi;
- si è assunto che i mezzi di cantiere operino tutti contemporaneamente.

Si ritiene, quindi, che le ricadute calcolate, descritte nel seguito, siano in qualche misura sovrastimate.

Per quanto riguarda gli inquinanti gassosi, nelle simulazioni numeriche si è preso a campione il complesso degli ossidi di azoto, poiché tali inquinanti sono quelli presenti con la massima concentrazione nei gas esausti dei mezzi di cantiere, quindi le loro ricadute nell'ambiente possono essere assunte come indicatori delle massime ricadute attese per tutti gli inquinanti gassosi.

Oltre agli ossidi di azoto, nell'analisi delle ricadute si fa particolare riferimento alle polveri, che in un cantiere in ambito rurale con importanti opere di sterro, costituiscono l'emissione in atmosfera quantitativamente più significativa.

 Snamprogetti	CLIENTE Snam Rete Gas SpA	COMMESSA 663000	UNITÀ 00
	LOCALITÀ Regioni Umbria – Marche - Toscana	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO / IMPIANTO Metanodotto Foligno - Sestino	Fg. 36 di 52	Rev. 0

Le analisi non hanno invece evidenziato situazioni di criticità per gli altri inquinanti presenti nelle emissioni dei mezzi di cantiere (essenzialmente CO e SO₂) che non vengono quindi considerati nel seguito.

5.5.1 Concentrazione al suolo degli ossidi di azoto (NO_x)

Come precedentemente indicato (vedi cap. 2), la normativa, in relazione alla specifica tutela da attuare, fissa i seguenti diversi valori limite per le concentrazione di ossidi di azoto:

- 200 µg/m³ - 99,8 percentile della media oraria di NO₂ – Tutela della salute umana
- 40 µg/m³ - media sull'anno civile della concentrazione di NO₂ – Tutela della salute umana
- 400 µg/m³ - media su 3 h della concentrazione di NO₂ – Soglia di allarme per la tutela della salute umana
- 30 µg/m³ - media su anno civile della concentrazione di NO_x per la tutela della vegetazione

I valori limite che fanno riferimento a medie sull'anno civile sono di scarsa rilevanza per la presente analisi, in cui si considerano emissioni da sorgenti che si spostano con il cantiere e ricadute che si esauriscono nell'ambito di alcune centinaia di metri dal cantiere stesso, quindi con sovrapposizioni praticamente nulle tra giorni successivi, cioè in pratica i valori di ricaduta legati alle attività di cantiere inciderebbero solo per qualche per mille sulle medie.

Per quanto riguarda i massimi orari, si riportano, a titolo esemplificativo, le curve di isoconcentrazione dei massimi calcolati al suolo per ciascuna delle quattro aree campione analizzate (vedi fig. 5.5/A÷5.5/D). Dette figure sono state scelte selezionando per ciascuna zona le condizioni di simulazione che hanno dato origine alla ricaduta areale più vasta. In ciascuna figura, è stata evidenziata in colore viola la curva corrispondente alla isoconcentrazione di 200 µg/m³. Come risulta possibile osservare nelle figure, si osservano valori superiori al limite dei 200 µg/m³ a distanze dalla linea comprese tra 500 m (area S) e 1000 m (area S3). A riguardo, si ritiene opportuno, tuttavia, formulare almeno due osservazioni:

- a) il limite è riferito a NO₂, mentre le ricadute calcolate sono riferite a NO_x. Nelle emissioni dei motori, il biossido di azoto costituisce circa il 5% delle emissioni totali di ossidi di azoto. I processi di trasformazione da NO a NO₂ fanno sì che tale frazione aumenti nella nube di inquinanti con il tempo, cioè con la distanza dalla sorgente. Una stima di letteratura dell'evoluzione del rapporto NO₂/NO_x in una nube di inquinante è riportata nella seguente tabella (vedi tab. 5.5/A). Prendendo a riferimento tale stima, a distanze dell'ordine di 500 – 1000 m (le massime dal tracciato a cui si osservano valori di concentrazione superiori ai 200 µg/m³), il biossido di azoto dovrebbe attestarsi sul 15%-20% della concentrazione di ossidi totali, corrispondente a concentrazioni dell'ordine di 30-40 µg/m³. A distanze inferiori la concentrazione di ossidi è maggiore, ma si riduce significativamente anche la frazione di NO₂;

 Snamprogetti	CLIENTE Snam Rete Gas SpA	COMMESSA 663000	UNITÀ 00
	LOCALITÀ Regioni Umbria – Marche - Toscana	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO / IMPIANTO Metanodotto Foligno - Sestino	Fg. 37 di 52	Rev. 0

Tab. 5.5/A: Valori stimati del Rapporto NO₂/NO_x in funzione della distanza dall'emittitore (da: Vila-Gueraude de Arellano et al. 1990)

D (m)	200	500	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000
NO ₂ /NO _x	0,09	0,14	0,21	0,29	0,33	0,35	0,39	0,48	0,57

- b) il limite dei 200 µg/m³ si riferisce al 99.8%, cioè 18 superamenti anno. Come già citato le emissioni si spostano con il cantiere, con sovrapposizioni pressoché nulle tra giorni successivi, quindi anche un eventuale superamento del limite avrebbe effetti statistici ridotti sul rispetto della normativa.

	CLIENTE Snam Rete Gas SpA	COMMESSA 663000	UNITÀ 00
	LOCALITÀ Regioni Umbria – Marche - Toscana	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO / IMPIANTO Metanodotto Foligno - Sestino	Fg. 38 di 52	Rev. 0

Metanodotto Sestino Foligno

Analisi dispersione inquinanti emessi dal cantiere

Scenario Invernale - Concentrazione di NOx - Max 1 h

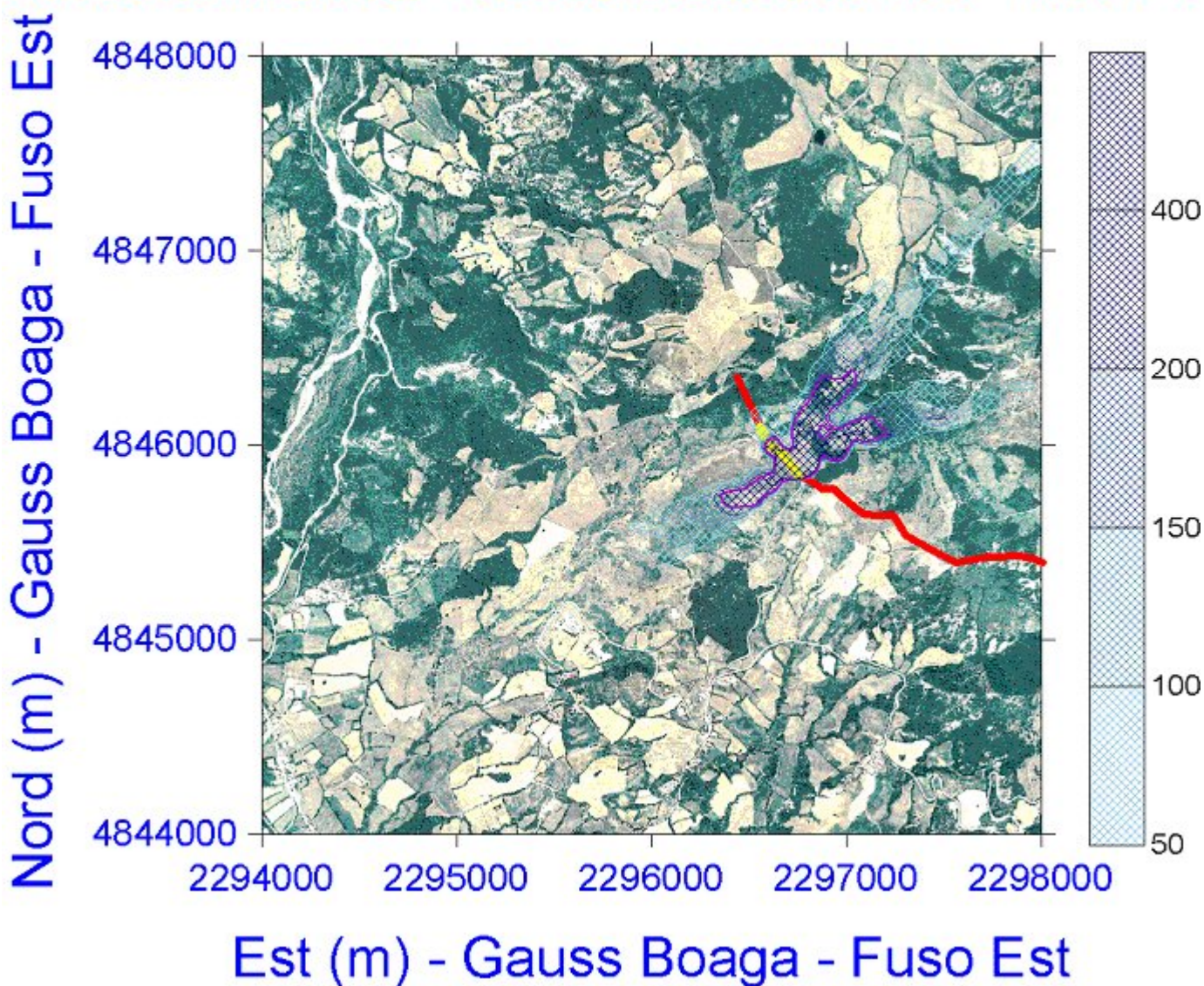


Fig. 5.5/A: Sito S1 – Massimi di concentrazione oraria di NOx - Stagione: Inverno (linea viola = iso-concentrazione 200 µg/m³)

	CLIENTE Snam Rete Gas SpA	COMMESSA 663000	UNITÀ 00
	LOCALITÀ Regioni Umbria – Marche - Toscana	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO / IMPIANTO Metanodotto Foligno - Sestino	Fg. 39 di 52	Rev. 0

Metanodotto Sestino Foligno - Area S2
Analisi dispersione inquinanti emessi dal cantiere
Scenario Autunnale - Concentrazione di NOx - Max 1 h

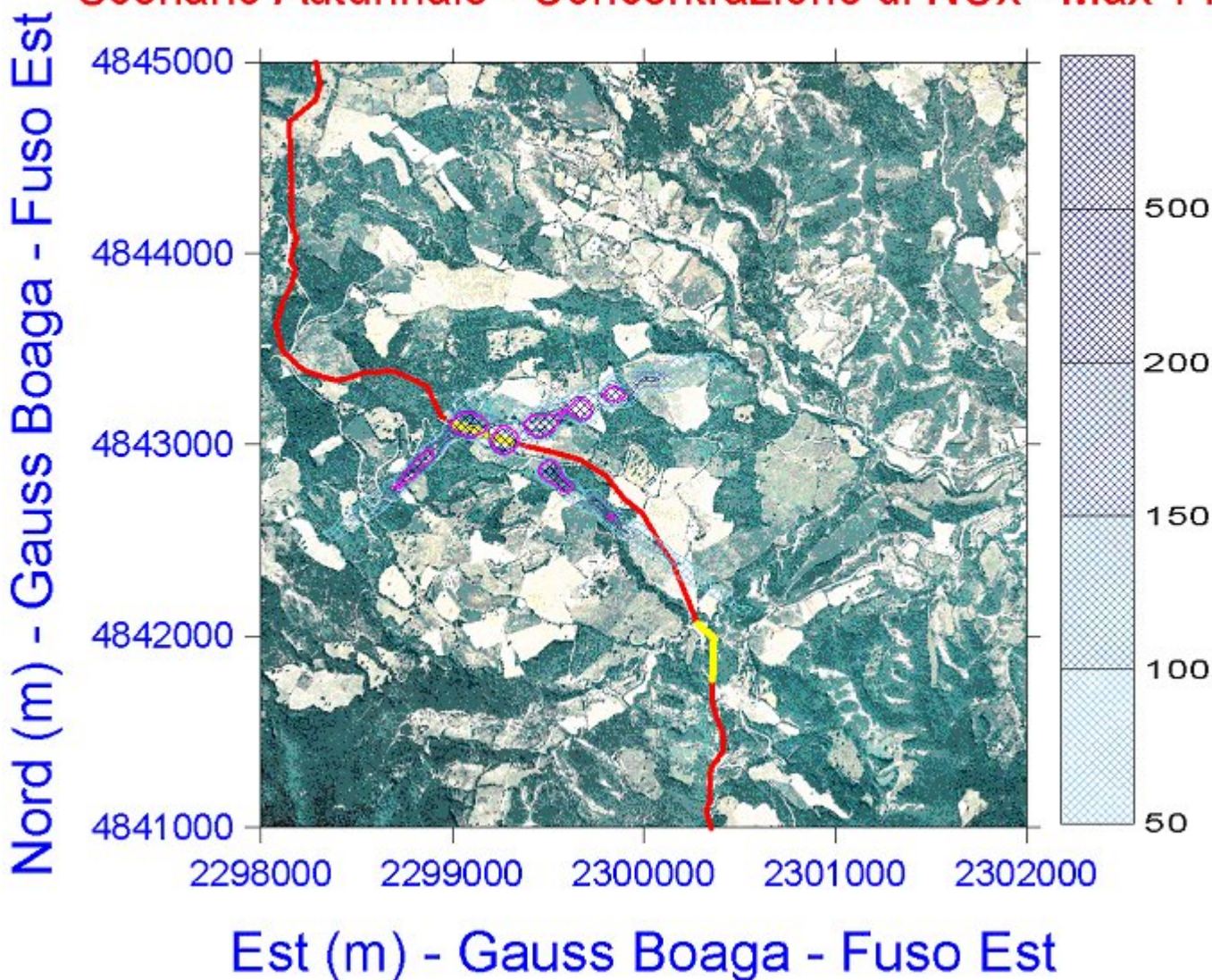



Fig. 5.5/B: Sito S2 – Massimi di concentrazione oraria di NOx - Stagione: Autunno (linea viola = iso-concentrazione 200 µg/m³)

 Snamprogetti	CLIENTE Snam Rete Gas SpA	COMMESSA 663000	UNITÀ 00
	LOCALITÀ Regioni Umbria – Marche - Toscana	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO / IMPIANTO Metanodotto Foligno - Sestino	Fg. 40 di 52	Rev. 0

Metanodotto Sestino Foligno - Zona S3
Analisi dispersione inquinanti emessi dal cantiere
Scenario Invernale - Concentrazione di NOx - Max 1 h

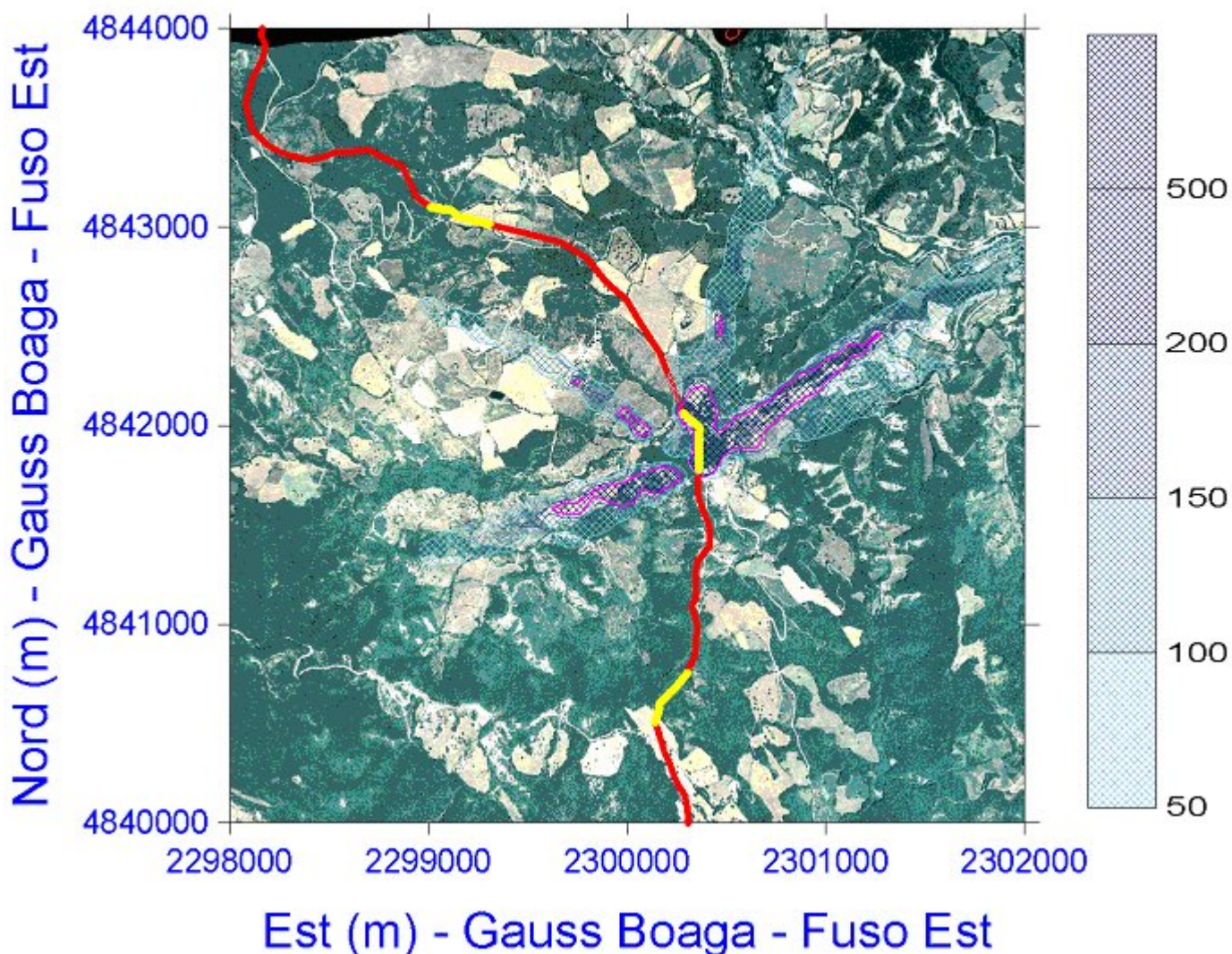


Fig. 5.5/C: Sito S3 – Massimi di concentrazione oraria di NOx - Stagione: Inverno
 (linea viola = iso-concentrazione 200 µg/m³)

 Snamprogetti	CLIENTE Snam Rete Gas SpA	COMMESSA 663000	UNITÀ 00
	LOCALITÀ Regioni Umbria – Marche - Toscana	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO / IMPIANTO Metanodotto Foligno - Sestino	Fg. 41 di 52	Rev. 0

Metanodotto Sestino Foligno - Zona S4
Analisi dispersione inquinanti emessi dal cantiere
Scenario Estivo - Concentrazione di NOx - Max 1 h

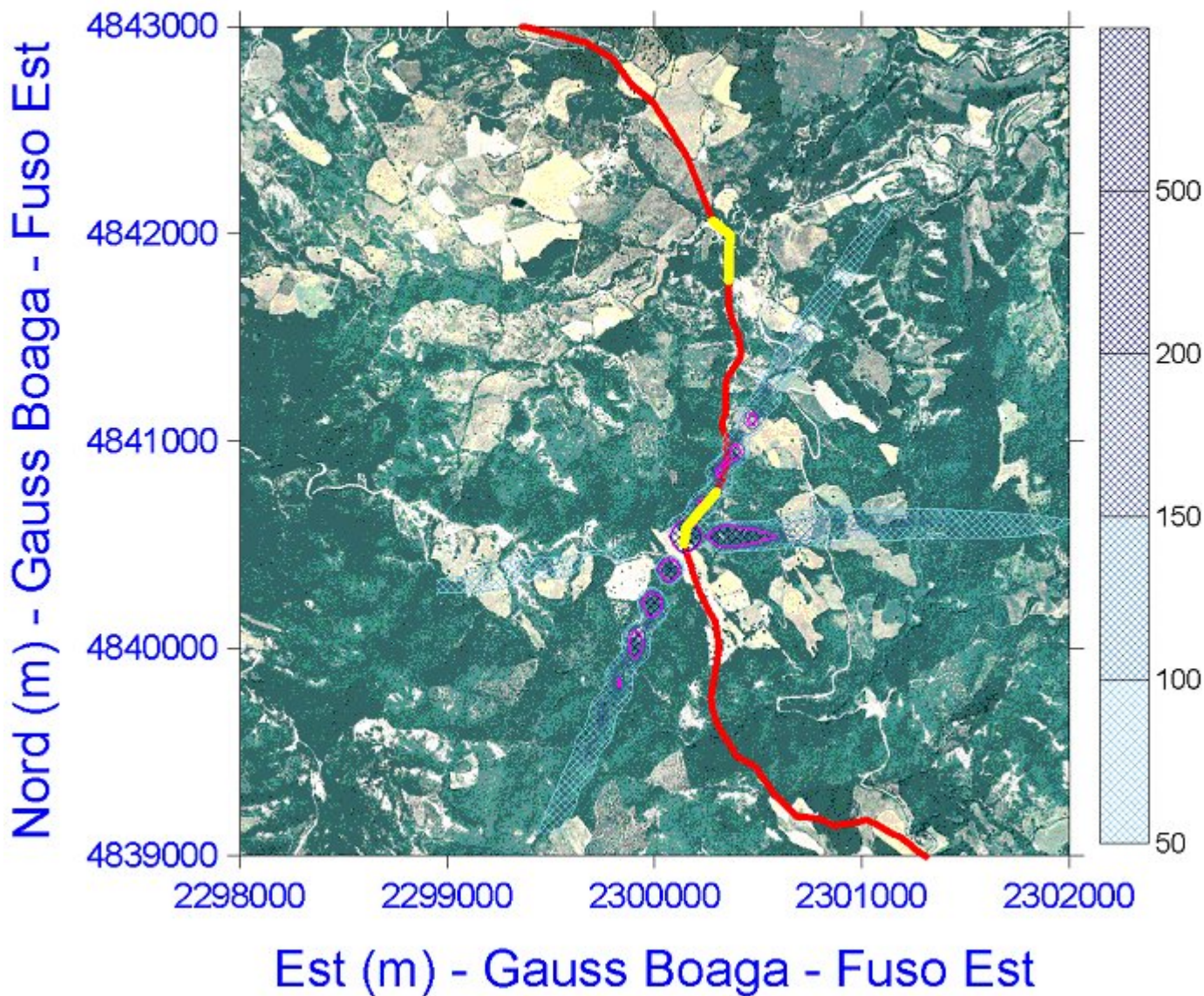


Fig. 5.5/D: Sito S4 – Massimi di concentrazione oraria di NOx - Stagione: Estate
 (linea viola = iso-concentrazione 200 µg/m³)

 Snamprogetti	CLIENTE Snam Rete Gas SpA	COMMESSA 663000	UNITÀ 00
	LOCALITÀ Regioni Umbria – Marche - Toscana	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO / IMPIANTO Metanodotto Foligno - Sestino	Fg. 42 di 52	Rev. 0

Oltre al valore del 99,8 percentile, la normativa fissa il limite di 400 µg/m³ per la media su 3 h nella concentrazione di NO₂.

Le isoconcentrazioni di NO_x, valutate come massimi su 3 h consecutive per le 4 zone di analisi sono riportate nelle seguenti figure (vedi fig. 5.5/E ÷ 5.5/H). Come in precedenza, per ciascuna zona la figura riportata rappresenta lo scenario per il quale si è osservata la più estesa ricaduta areale nella concentrazione di inquinante. Come si nota dalle figure, il valore di 400 µg/m³ risulta superato solo nelle immediate vicinanze del tracciato. Quindi gli effetti sull'ambiente circostante possono essere considerati trascurabili, considerando anche la ridotta urbanizzazione dell'area, mentre possono aversi situazioni di qualche criticità nell'area del cantiere, come in qualche misura logico attendersi, considerando la densità di mezzi impegnati e il fatto che le emissioni avvengono già al livello del suolo. Va peraltro notato che anche in questo caso le curve di isoconcentrazione si riferiscono al complesso degli ossidi di azoto, e non al solo biossido, considerato dalla normativa. Considerata la limitata distanza entro cui si esaurisce la ricaduta, è ragionevole ritenere che quest'ultimo costituisca una frazione non superiore al 10% della ricaduta totale.

	CLIENTE Snam Rete Gas SpA	COMMESSA 663000	UNITÀ 00
	LOCALITÀ Regioni Umbria – Marche - Toscana	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO / IMPIANTO Metanodotto Foligno - Sestino	Fg. 43 di 52	Rev. 0

Metanodotto Sestino Foligno

Analisi dispersione inquinanti emessi dal cantiere

Scenario primaverile - Concentrazione di NOx - Media 3 h

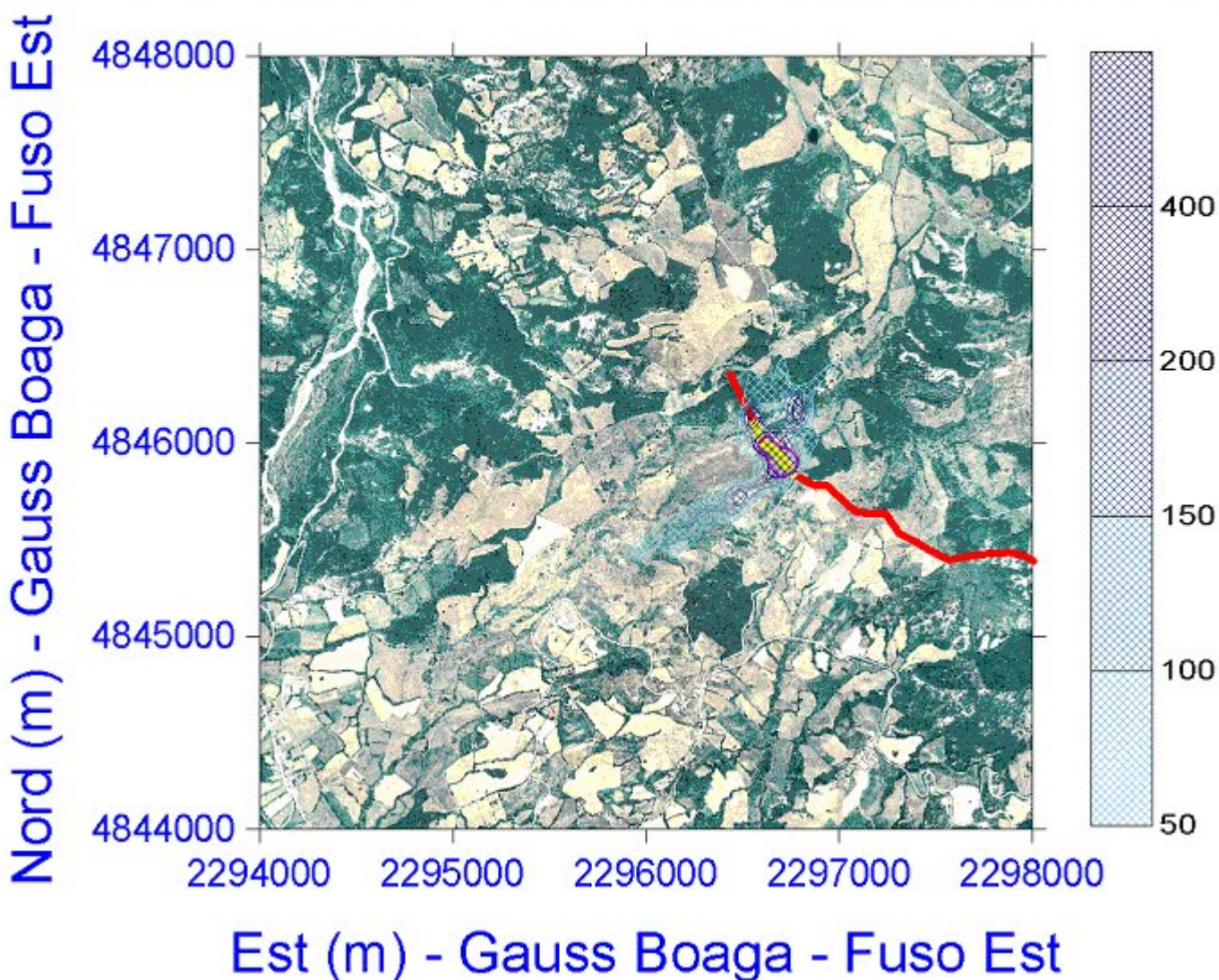


Fig. 5.5/E: Sito S1 – Massimi di concentrazione tri-oraria di NOx - Stagione: Primavera (linea viola = iso-concentrazione 400 µg/m³)

	CLIENTE Snam Rete Gas SpA	COMMESSA 663000	UNITÀ 00
	LOCALITÀ Regioni Umbria – Marche - Toscana	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO / IMPIANTO Metanodotto Foligno - Sestino	Fg. 44 di 52	Rev. 0

Metanodotto Sestino Foligno - Area S2

Analisi dispersione inquinanti emessi dal cantiere

Scenario Invernale - Concentrazione di NOx - 3 h

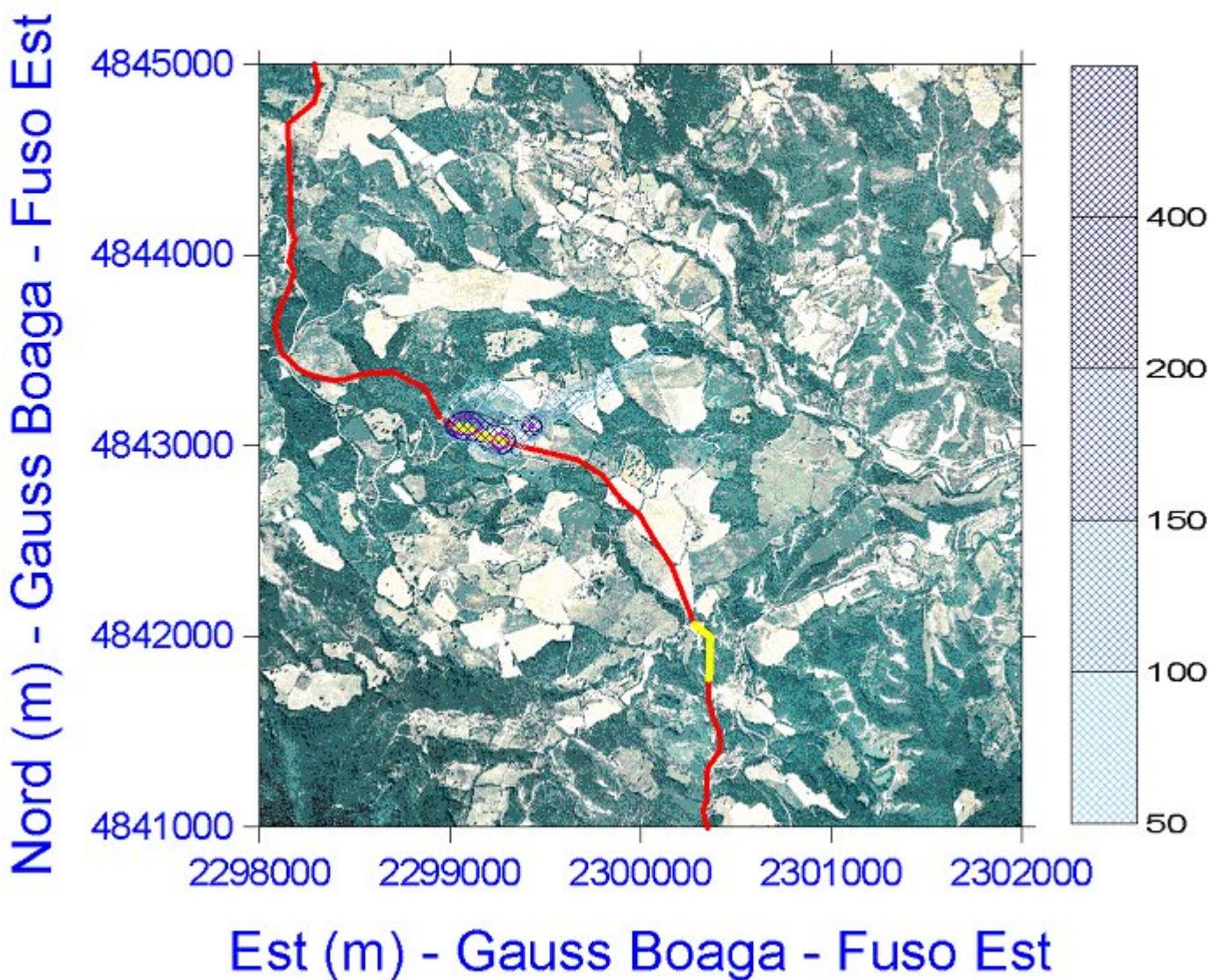


Fig. 5.5/F: Sito S1 – Massimi di concentrazione tri-oraria di NOx - Stagione: Inverno (linea viola = iso-concentrazione 400 µg/m³)

	CLIENTE Snam Rete Gas SpA	COMMESSA 663000	UNITÀ 00
	LOCALITÀ Regioni Umbria – Marche - Toscana	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO / IMPIANTO Metanodotto Foligno - Sestino	Fg. 45 di 52	Rev. 0

Metanodotto Sestino Foligno - Zona S3
Analisi dispersione inquinanti emessi dal cantiere
Scenario Primaveraile - Concentrazione di NOx - Media 3 h

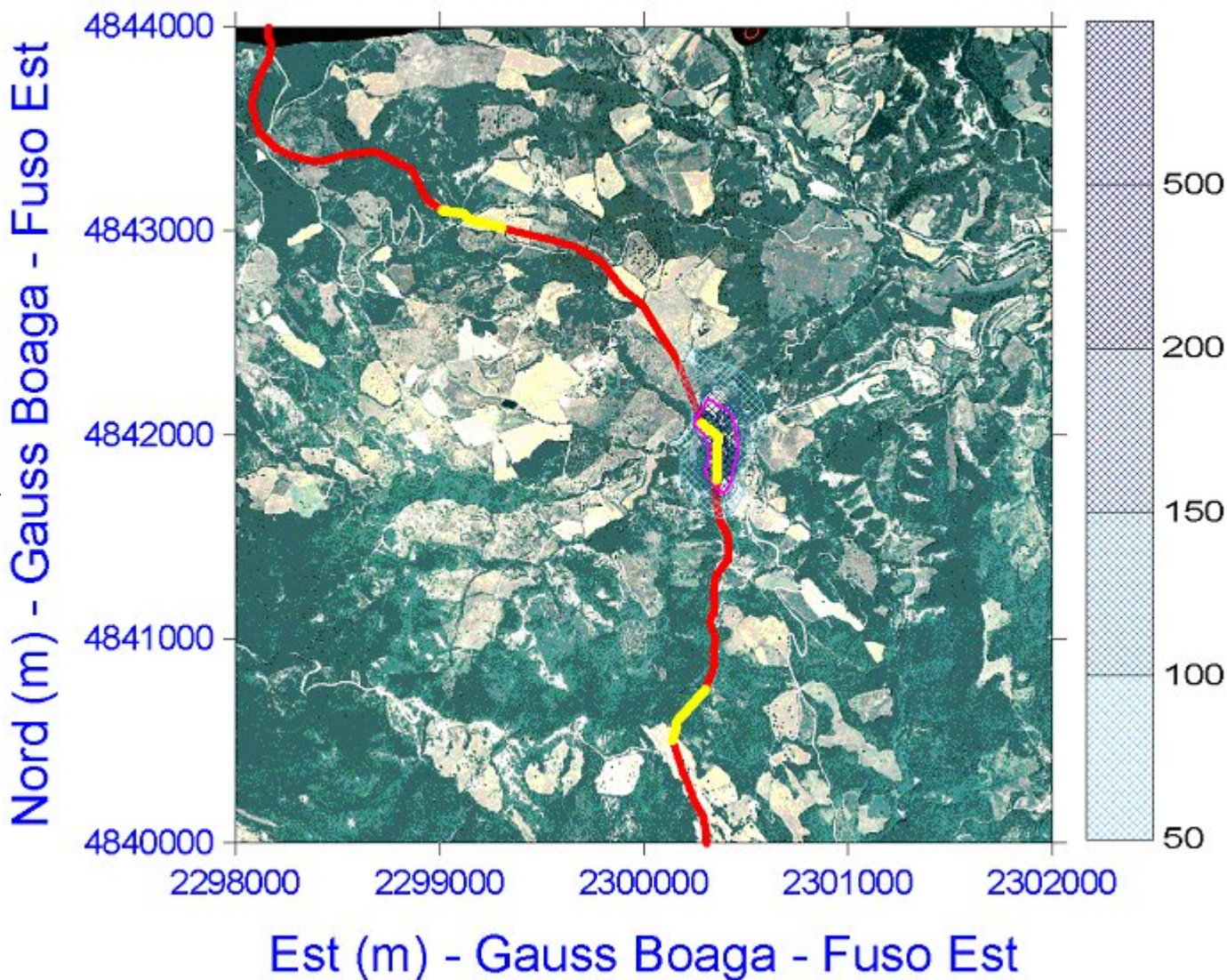


Fig. 5.5/G: Sito S3 – Massimi di concentrazione tri-oraria di NOx - Stagione: Primavera (linea viola = iso-concentrazione 400 µg/m³)

 Snamprogetti	CLIENTE Snam Rete Gas SpA	COMMESSA 663000	UNITÀ 00
	LOCALITÀ Regioni Umbria – Marche - Toscana	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO / IMPIANTO Metanodotto Foligno - Sestino	Fg. 46 di 52	Rev. 0

Metanodotto Sestino Foligno - Zona S4
Analisi dispersione inquinanti emessi dal cantiere
Scenario Autunnale - Concentrazione di NOx - Media 3 h

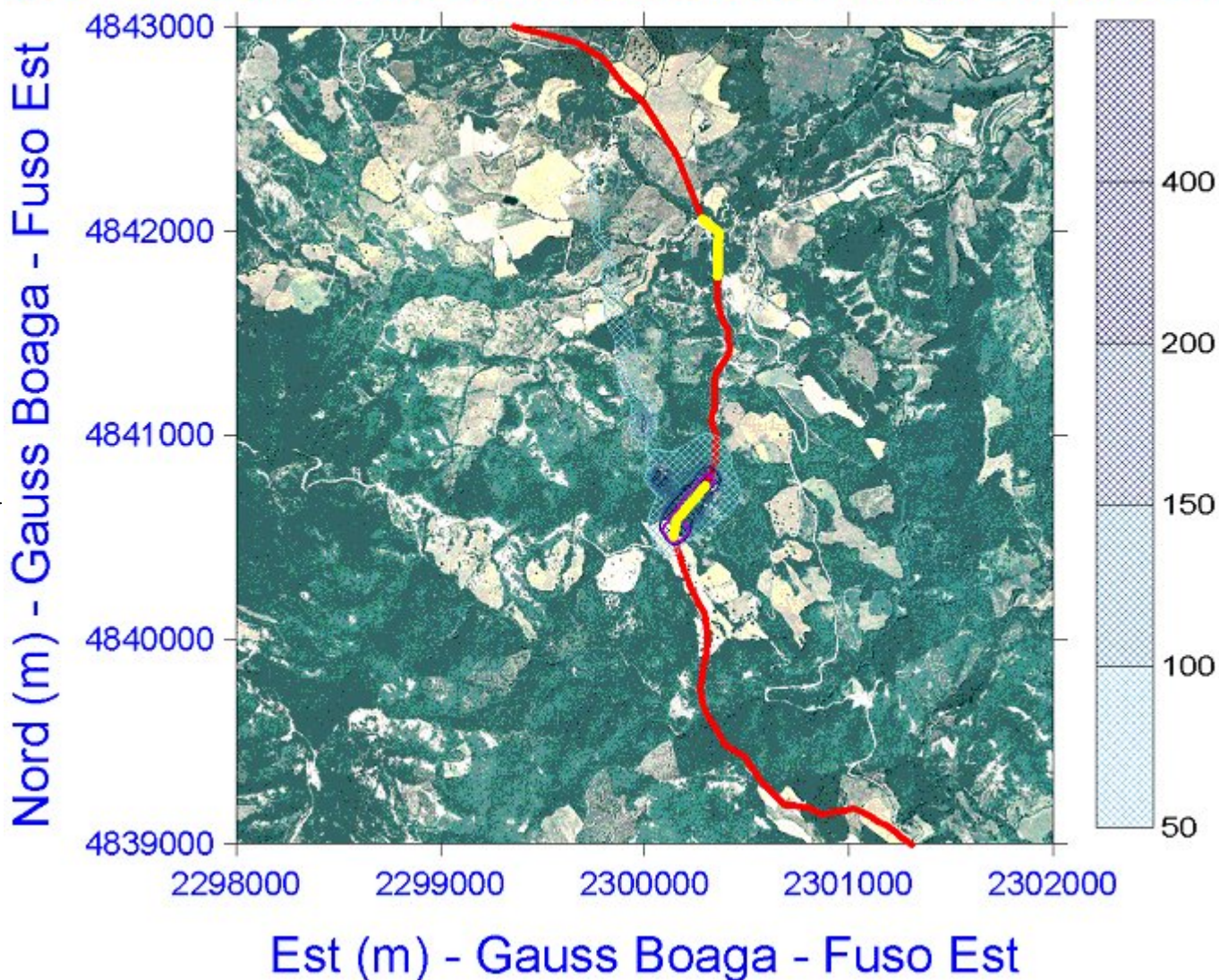


Fig. 5.5/H: Sito S4 – Massimi di concentrazione tri-oraria di NOx - Stagione: Autunno (linea viola = iso-concentrazione 400 µg/m³)

 Snamprogetti	CLIENTE Snam Rete Gas SpA	COMMESSA 663000	UNITÀ 00
	LOCALITÀ Regioni Umbria – Marche - Toscana	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO / IMPIANTO Metanodotto Foligno - Sestino	Fg. 47 di 52	Rev. 0

5.5.2 Concentrazione al suolo delle polveri

La normativa vigente fissa valori limite di concentrazione sia per il totale delle polveri sospese (PTS) che per le polveri sottili, definite come quelle con diametro inferiore ai 10 µm (PM10).

- PTS - media giornaliera - 150 µg/m³ (livello di attenzione) e 300 µg/m³ (livello di allarme) - Tutela della salute umana;
- PM10 - 50 µg/m³ - media giornaliera – 90,4 percentile – Tutela della salute umana;
- PM10 - 40 µg/m³ - media sull'anno civile – Tutela della salute umana.

Come osservato in precedenza a proposito degli ossidi di azoto, il limite che fa riferimento alle medie sull'anno civile è scarsamente significativo per l'analisi attuale e non viene ulteriormente considerato nel seguito.

Per quanto riguarda i massimi valori medi giornalieri della concentrazione di polveri al suolo, si riportano, a titolo esemplificativo, le curve di isoconcentrazione dei massimi calcolati al suolo per ciascuna delle quattro aree campione analizzate (vedi fig. 4.5/I÷4.5/O). Come in precedenza, ciascuna figura si riferisce allo scenario meteorologico per il quale si è osservata la massima estensione areale della ricaduta.

Come si nota dalle figure, i superamenti del limite di 150 µg/m³, compresi tra 70 m (sito S1) e 200 m (sito S2), sono circoscritti ad un'area abbastanza ristretta nell'intorno del cantiere. Considerate le elevate quantità di terra movimentate ed il fatto che i rilasci in atmosfera avvengono in prossimità del suolo, elevate concentrazioni in tale fascia possono essere logicamente attese.

Prendendo come riferimento la isoconcentrazione di 50 µg/m³ (curva blu nelle figure), superamenti vengono calcolati in tutti i siti di analisi, entro distanze dalla linea variabili tra i 450 m (sito S2) e 800-1000 m (sito S3). Tuttavia è necessario osservare che:

- il limite normativo si riferisce alle polveri sottili, mentre la curva è disegnata sulla base delle ricadute delle polveri totali, di cui le PM10 costituiscono solo una piccola frazione;
- il limite normativo dei 50 µg/m³ è definito in relazione al 90,4 percentile, cioè ammette circa 35 superamenti/anno. Poiché le curve di isoconcentrazione mostrano una limitatissima interferenza tra sezioni successive di tracciato, le ricadute calcolate, anche nella più conservativa delle ipotesi, cioè che tutte le PTS siano costituite da polveri sottili, si tradurrebbe essenzialmente in 1 superamento annuo del limite normativo, quindi con un contributo statisticamente non particolarmente significativo al deterioramento della qualità dell'aria.

 Snamprogetti	CLIENTE Snam Rete Gas SpA	COMMESSA 663000	UNITÀ 00
	LOCALITÀ Regioni Umbria – Marche - Toscana	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO / IMPIANTO Metanodotto Foligno - Sestino	Fg. 48 di 52	Rev. 0

Metanodotto Sestino Foligno
Analisi dispersione inquinanti emessi dal cantiere
Scenario Primaveraile - Concentrazione di PTS - Max 1 giorno

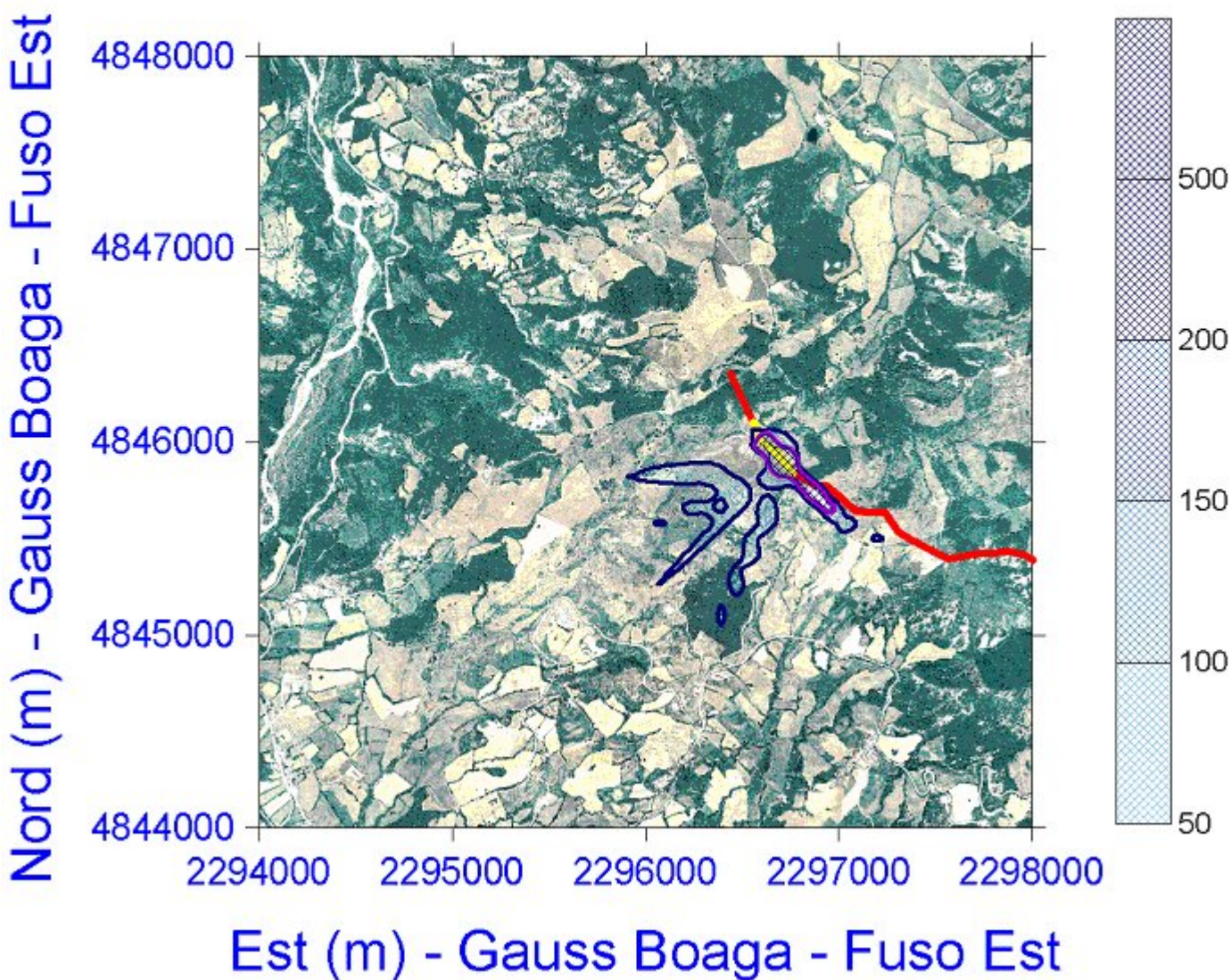


Fig. 5.5/l: Sito S1 – Massimi di concentrazione giornaliera di PTS - Stagione: Primavera (linea viola = iso-concentrazione 150 µg/m³; linea blu = iso-concentrazione 50 µg/m³)

 Snamprogetti	CLIENTE Snam Rete Gas SpA	COMMESSA 663000	UNITÀ 00
	LOCALITÀ Regioni Umbria – Marche - Toscana	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO / IMPIANTO Metanodotto Foligno - Sestino	Fg. 49 di 52	Rev. 0

Metanodotto Sestino Foligno - Area S2
Analisi dispersione inquinanti emessi dal cantiere
Scenario Primaveraile - Concentrazione di Pts - Max 1 giorno

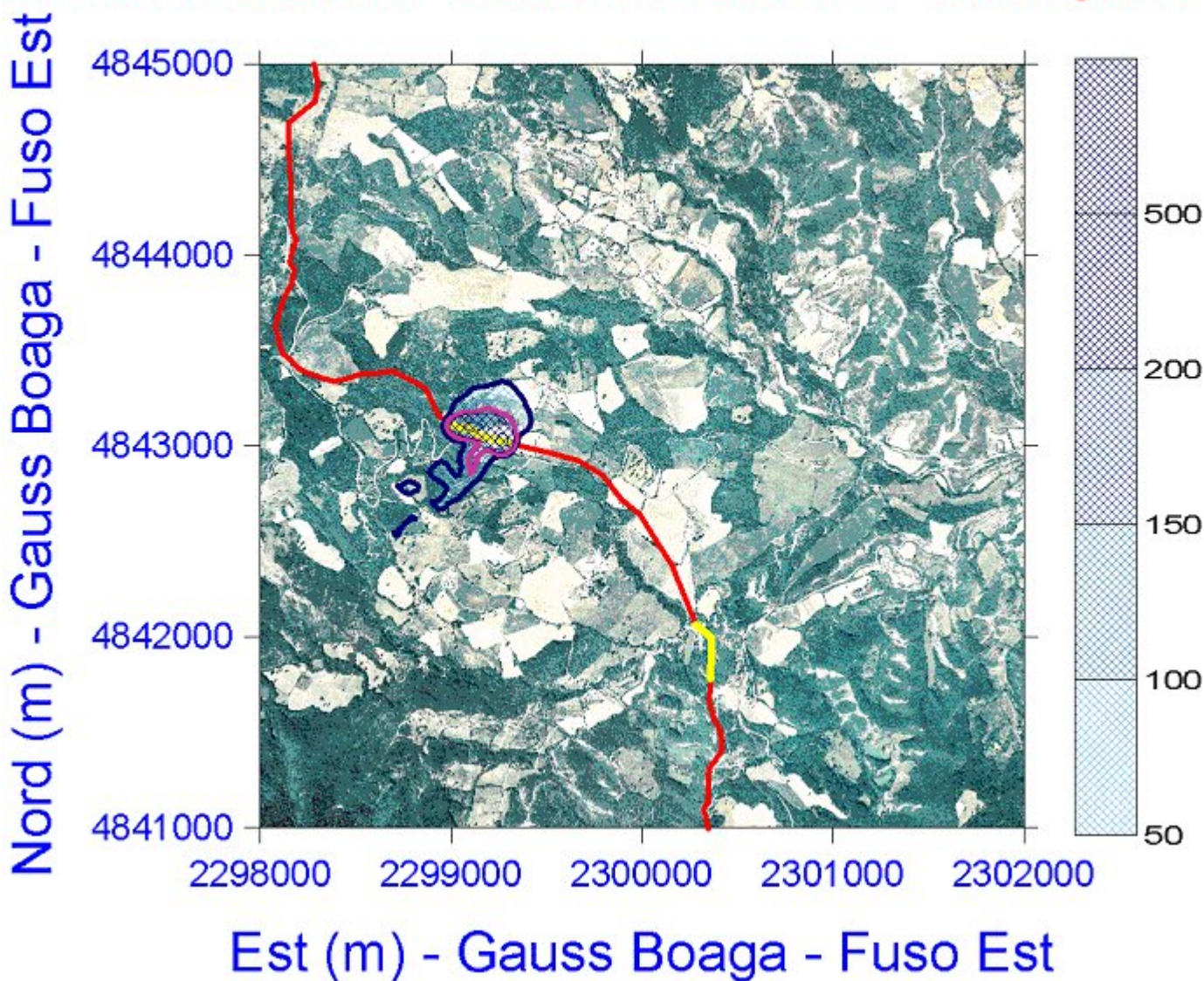


Fig. 5.5/L: Sito S2 – Massimi di concentrazione giornaliera di PTS - Stagione: Inverno (linea viola = iso-concentrazione 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; lina blu = iso-concentrazione 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

 Snamprogetti	CLIENTE Snam Rete Gas SpA	COMMESSA 663000	UNITÀ 00
	LOCALITÀ Regioni Umbria – Marche - Toscana	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO / IMPIANTO Metanodotto Foligno - Sestino	Fg. 50 di 52	Rev. 0

Metanodotto Sestino Foligno - Zona S3
Analisi dispersione inquinanti emessi dal cantiere
Scenario Invernale - Concentrazione di Pts - Max 1 giorno

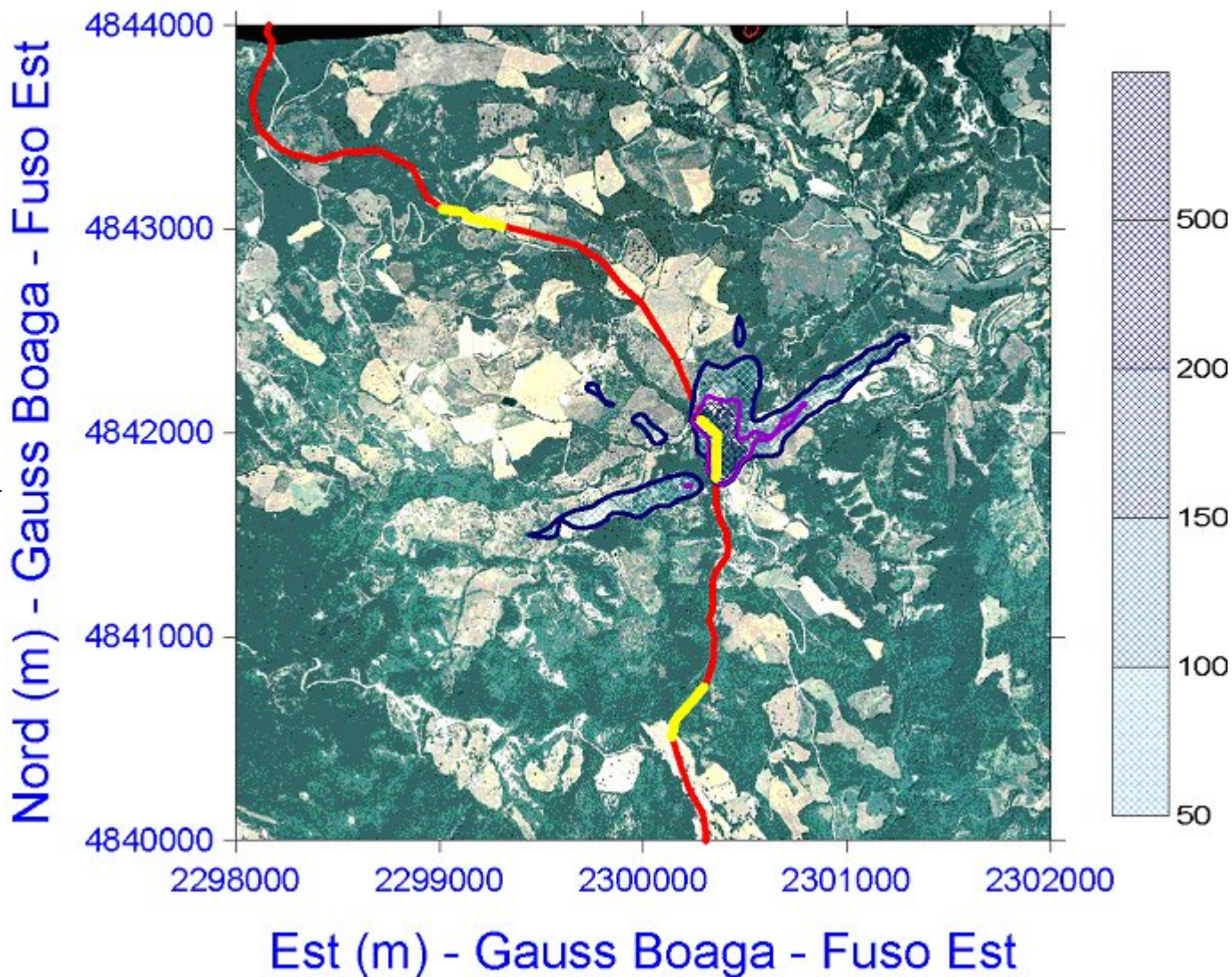


Fig. 5.5/M: Sito S1 – Massimi di concentrazione giornaliera di PTS - Stagione: Inverno (linea viola = iso-concentrazione 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; lina blu = iso-concentrazione 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

 Snamprogetti	CLIENTE Snam Rete Gas SpA	COMMESSA 663000	UNITÀ 00
	LOCALITÀ Regioni Umbria – Marche - Toscana	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO / IMPIANTO Metanodotto Foligno - Sestino	Fg. 51 di 52	Rev. 0

Metanodotto Sestino Foligno - Zona S4
Analisi dispersione inquinanti emessi dal cantiere
Scenario Invernale - Concentrazione di Pts - Max 1 giorno

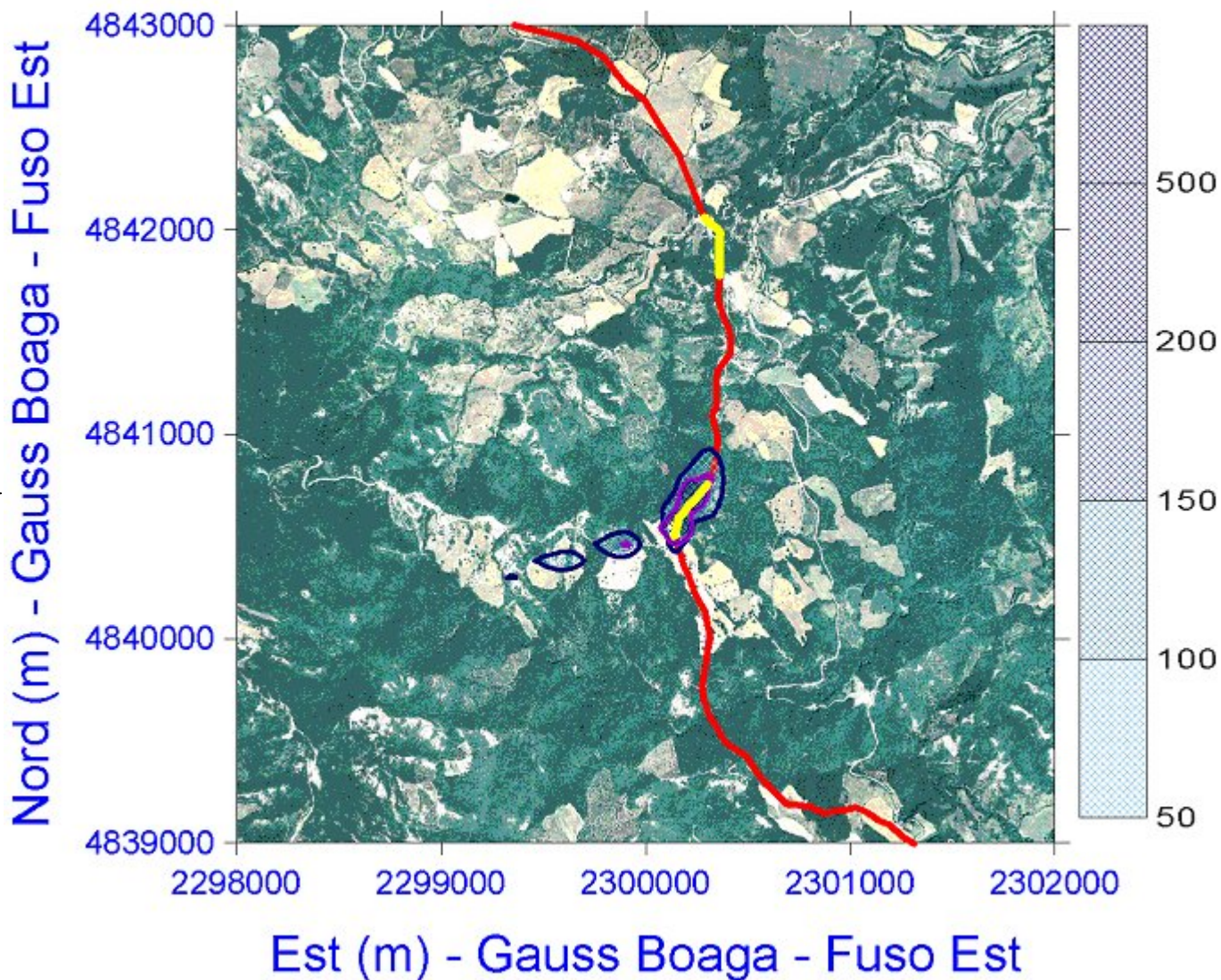


Fig. 5.5/N: Sito S4 – Massimi di concentrazione giornaliera di PTS - Stagione: Primavera (linea viola = iso-concentrazione 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; lina blu = iso-concentrazione 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

	CLIENTE Snam Rete Gas SpA	COMMESSA 663000	UNITÀ 00
	LOCALITÀ Regioni Umbria – Marche - Toscana	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO / IMPIANTO Metanodotto Foligno - Sestino	Fg. 52 di 52	Rev. 0

6 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Le analisi di dispersione hanno evidenziato ricadute apprezzabili per quanto riguarda le emissioni di ossidi di azoto e polveri, durante le attività di cantiere, ma in ogni caso livelli significativi nella concentrazione degli inquinanti sono limitati alle immediate vicinanze del cantiere stesso, entro un raggio che non supera mai un chilometro dal tracciato del metanodotto.

In riferimento al fatto che le attività di cantiere sono limitate nel tempo e l'area di emissione si sposta costantemente con il progredire dei lavori e che le aree attraversate dal tracciato sono di natura montuosa a limitata antropizzazione, le ricadute, considerando la popolazione nel suo complesso, appaiono sostanzialmente contenute.

Nell'ambito della presente analisi si sono considerati scenari stagionali in modo da dare conto quanto più accuratamente possibile della variabilità delle condizioni meteorologiche. Tuttavia, proprio in vista di tale variabilità e delle inevitabili incertezze che ne derivano nella stima della dispersione degli inquinanti, nella descrizione dei risultati sono stati presi a riferimento i massimi valori di ricaduta degli inquinanti, indipendentemente dalla stagione in cui effettivamente si svolgeranno le attività di cantiere.

E' inoltre opportuno sottolineare, ancora una volta, le notevoli approssimazioni che, per la carenza di dati base, si è stati costretti ad adottare nella presente analisi per la definizione delle condizioni meteorologiche di base per i calcoli dispersivi.

In considerazione dell'assenza di dati locali, tali approssimazioni sono in qualche misura inevitabili; un maggior grado di affidabilità potrebbe essere ottenuto con un approccio modellistico di maggiore sofisticazione nella caratterizzazione meteorologica, anche se, in vista dei risultati ottenuti, la necessità di un simile affinamento delle stime appare discutibile.