



L'ENERGIA CHE TI ASCOLTA.

Divisione Generazione ed Energy Management
Area di Business Produzione Termoelettrica
Unità di Business Termoelettrica Porto Empedocle

Allegato D7

**Identificazione e quantificazione degli effetti delle
emissioni in acqua e confronto con SQA per la proposta
impiantistica per la quale si richiede l'autorizzazione**

Cliente ENEL Spa

Oggetto AIA Porto Empedocle: valutazione degli impatti sulla qualità dell'aria

Ordine Attingimento A.Q. 4000188002 del 31-07-2008 - Centrale di porto Empedocle – Contributo all'Autorizzazione Integrata Ambientale relativamente alla valutazione dell'incidenza delle emissioni atmosferiche convogliate (Lettera di trasmissione prot. N. A8022748)

Note Prima emissione

PUBBLICATO A8022336 (PAD - 1083755)

La parziale riproduzione di questo documento è permessa solo con l'autorizzazione scritta del CESI.

N. pagine 27 **N. pagine fuori testo** 0

Data 01/08/2008

Elaborato ATM - Pertot Cesare
A8022336 3640 ALT

Verificato ATM - Carboni Gabriele
A8022336 3709 VER

Approvato AMB - Il Responsabile - Fiore Antonio
A8022336 3743 APP

Mod. RISM v. 02

Indice

1	PREMESSA	3
2	CARATTERIZZAZIONE METEOCLIMATICA	4
3	VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI SULLA QUALITÀ DELL'ARIA.....	11
3.1	Scelta e Descrizione del sistema modellistico	11
3.1.1	Modello meteorologico - CALMET	12
3.1.2	Modello di dispersione - CALPUFF	13
3.2	Applicazione al caso in esame.....	14
4	CONCLUSIONI	26
5	BIBLIOGRAFIA	27

STORIA DELLE REVISIONI

Numero revisione	Data	Protocollo	Lista delle modifiche e/o dei paragrafi modificati
0	01/08/2008	A8022336	Prima emissione

1 PREMESSA

Nell'ambito dell'Autorizzazione Integrata Ambientale della Centrale Termoelettrica di Porto Empedocle, Enel ha richiesto a Cesi la redazione di uno studio relativo alla quantificazione degli effetti delle emissioni in aria e relativo confronto con SQA per la proposta impiantistica per la quale si chiede l'autorizzazione.

Lo studio, illustrato nel presente documento, riporta una sintetica caratterizzazione meteoroclimatica del sito condotta sulla base di fonti bibliografiche e dati meteorologici rilevati da postazioni in sito.

La valutazione modellistica dell'impatto sulla qualità dell'aria delle emissioni convogliate in atmosfera della Centrale è condotta mediante l'applicazione del sistema CALMET - CALPUFF (a passo orario, e per l'intero anno 2007) finalizzata al confronto con i vigenti Standard di Qualità dell'aria previsti dal DM 60/2002 in relazione a SO₂, NO_x, PM₁₀ e CO.

2 CARATTERIZZAZIONE METEOCLIMATICA

Nell'ambito della suddivisione dei climi su scala mondiale delineata nel 1931 dal meteorologo e geofisico Köppen (Pinna, 1978), considerata come una delle più coerenti e particolareggiate classificazioni climatiche tra quelle finora proposte, il territorio italiano appartiene all'area dei climi temperati indicati come di tipo C. L'area della Sicilia meridionale presenta secondo questa classificazione un clima di tipo marittimo temperato denominato "tipo CSA" caratterizzato da estati secche e calde, e da precipitazioni tardo autunnali e invernali ancorché contenute.

La classificazione operata da Mennella (Mennella, 1973) identifica l'appartenenza dell'area al compartimento Calabro-siculo. In inverno il compartimento è raramente interessato dalle depressioni atlantiche, mentre più frequenti sono i periodi di tempo cattivo determinati dalle depressioni che si originano sul Mediterraneo occidentale e sull'Africa settentrionale. La primavera presenta un tempo notevolmente variabile con avvicendamenti di periodi di instabilità a periodi di annuolamento stratificato. L'influenza delle depressioni sul Golfo Ligure si manifesta con forti correnti occidentali e settentrionali. L'estate è dominata da pressioni livellate, con venti deboli e regimi di brezze, e precipitazioni molto scarse. In autunno depressioni di origine atlantica si alternano a quelle mediterranee portando importanti contributi alla precipitazione complessiva annua.

Le masse d'aria che interesano il comparto sono prevalentemente intermedie calde, con una certa frequenza invernale delle intermedie fredde, mentre durante i periodi estivi divengono rilevanti le frequenze delle calde masse d'aria sub-tropicale. In primavera ed autunno le masse d'aria prevalenti sono di tipo intermedio caldo, con temperature miti.

La radiazione solare, presenta valori di insolazione abbastanza elevati in tutte le stagioni. Prendendo a riferimento qualitativo le misurazioni di Messina, l'indice di insolazione annuo (rapporto tra ore di sole effettive e teoriche) è pari a 0.55, con valori massimi in estate e minimi in inverno, seguendo l'andamento della nuvolosità nelle diverse stagioni. In Tabella 2.a si riportano le medie mensili ed annua della radiazione solare (teorica) e di quella globale giornaliera a Marsala a Siracusa.

Tabella 2.a – Radiazione Solare giornaliera solare (teorica) e globale, Cal/m² (Mennella, 1973)

	Radiazione	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Anno
Marsala	solare	276	360	481	607	699	737	727	649	551	415	310	250	505
	globale	169	239	379	469	591	649	678	553	405	289	182	151	396
Siracusa	solare	280	365	486	611	700	737	727	652	556	421	318	258	508
	globale	167	233	316	416	507	499	517	461	358	236	155	135	333

La Provincia di Agrigento indica, nel Rapporto sullo stato dell'ambiente 2003-2004 (Provincia di Agrigento, 2005) i valori massimi tipici in quattro postazioni presenti sul territorio riportati in Tabella 2.b da cui si desume l'elevata insolazione del territorio.

Tabella 2.b – Valori tipici di radiazione in alcune postazioni della Provincia di Agrigento (Provincia di Agrigento, 2005)

Periodo 2003-2004 Radiazione [W/m ²]	Bivona	Cammarata	Lampedusa	Siculiana
Solare globale massima	917.7	991.7	1184	900.7
Netta massima	725.5	624.8	n.d.	505.1

L'andamento termico nella regione risente in maniera netta della presenza del mare Mediterraneo e dai rilievi interni con un carattere mite sulla costa, sia per la latitudine del sito sia per la maggiore apertura e profondità del mare prospiciente. La Tabella 2.c riporta i valori medi mensili di alcune stazioni circostanti il sito di Centrale (come rilevate dal Mennella), rappresentative delle riferenti zone climatiche presenti (dalla costa all'alta collina).

Tabella 2.c – Temperature medie di alcune stazioni limitrofe (Mennella, 1973)

Zona	Stazione	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	Anno
Costiera	Sciacca	11.0	11.5	13.4	15.9	19.0	23.2	25.6	25.9	24.0	20.7	17.2	13.4	18.4
Bassa Collina	Agrigento	9.6	9.6	12.1	15.0	18.7	23.8	26.3	25.8	23.3	19.6	15.6	11.6	17.6
Alta Collina	Bivona	7.7	7.4	10.0	14.4	18.8	24.3	27.4	26.9	22.8	18.1	13.4	9.8	16.7

In gennaio le temperature medie decrescono dagli 11 °C sulla costa ai 7.7 °C dell'alta collina, con valori più elevati rispetto ai versanti settentrionale ed orientale dell'isola. In estate, la temperatura media più elevata si registra in agosto sulla costa, ed in luglio nell'interno. I valori sono piuttosto elevati. Diversamente a quanto si verifica nell'Italia continentale, il gradiente di temperatura con la quota risulta più elevato in estate rispetto che nei mesi invernali. In altre parole, in Sicilia, le temperature in gennaio diminuiscono sensibilmente con l'altitudine, mentre nei mesi estivi subiscono una lievissima diminuzione con valori molto simili al mare come sui rilievi.

La Tabella 2.d riporta i valori medi mensili della temperatura minima, media e massima misurate presso il porto di Porto Empedocle dal nodo della Rete Mareografica Nazionale (www.idromare.it), elaborate per il periodo 2002-2007. I dati evidenziano la limitata escursione termica annuale.

Tabella 2.d – Rete Mareografica Nazionale, nodo di Porto Empedocle: Media delle temperature minime, medie e massime dal 2002 al 2007

anno	Dati	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Esc.
2002	Minimo	7.2	11.0	6.9	12.9	15.5	17.9	20.4	20.9	16.7	16.0	11.5	9.8	
	Media	13.1	15.7	17.2	18.0	21.0	24.2	26.4	28.8	23.0	20.0	18.1	13.9	15.6
	Massimo	17.8	21.5	24.6	23.8	26.2	32.2	34.1	41.1	28.7	24.6	22.6	17.4	
2003	Minimo	7.2	5.4	7.3	9.2	15.4	18.0	21.8	21.4	19.9	16.4	12.6	6.8	
	Media	13.1	10.6	13.0	15.7	20.4	25.3	26.8	27.8	24.1	21.5	18.1	14.0	17.3
	Massimo	17.2	15.8	19.0	22.6	27.4	31.6	33.8	35.9	29.8	28.0	24.5	19.8	
2004	Minimo	5.0	6.7	6.8	11.5	12.4	16.6	18.7	21.3	16.2	16.1	10.9	8.1	
	Media	11.9	13.1	13.6	16.2	18.5	22.0	24.7	25.4	23.2	21.6	16.6	14.9	13.5
	Massimo	17.7	19.7	20.8	23.5	24.3	30.1	32.7	32.0	30.4	27.7	27.0	20.2	
2005	Minimo	4.5	4.6	5.1	11.2	13.3	17.2	19.8	17.9	17.4	17.1	15.3	6.9	
	Media	11.2	10.4	13.5	16.2	19.7	22.7	24.9	23.8	23.7	21.0	19.3	13.0	14.5
	Massimo	16.2	15.8	20.6	25.6	25.7	29.3	33.8	34.2	29.9	25.7	22.4	17.1	
2006	Minimo	5.9	4.5	5.4	11.8	13.0	14.0	21.2	18.2	17.0	15.9	9.8	9.8	
	Media	11.6	12.4	13.6	17.0	20.4	22.6	26.5	24.7	23.0	21.4	17.2	15.1	14.9
	Massimo	17.1	17.4	19.2	22.6	29.0	33.4	33.4	34.1	28.9	27.2	21.8	18.9	
2007	Minimo	9.6	6.9	9.4	11.7	14.9	15.7	18.3	19.3	17.0	12.6	10.3	6.1	
	Media	14.0	13.3	15.1	19.1	19.8	23.8	24.8	25.2	23.7	21.1	16.6	13.4	11.9
	Massimo	19.4	18.0	21.1	25.2	25.8	34.7	34.5	33.8	28.9	27.1	21.9	17.5	
periodo	Minimo	4.5	4.5	5.1	9.2	12.4	14.0	18.3	17.9	16.2	12.6	9.8	6.1	
	Media	12.5	12.5	14.3	17.0	20.0	23.2	25.7	25.8	23.4	21.1	17.4	14.1	13.4
	Massimo	19.4	21.5	24.6	25.6	29.0	34.7	34.5	41.1	30.4	28.0	27.0	20.2	

I dati rilevati dalla Provincia di Agrigento (Tabella 2.e) confermano i caratteri termici descritti. Da notare la peculiarità di Lampedusa, dalle temperature particolarmente elevate sia per la posizione geografica che per l'effetto mitigante del mare circostante.

Tabella 2.e – Valori minimi, medi e massimi di temperatura in alcune postazioni della Provincia di Agrigento (Provincia di Agrigento, 2005)

Periodo 2003-2004 Temperatura [°C]	Bivona	Cammarata	Lampedusa	Siculiana
Massima	35.8	33.6	39.4	36.3
Minima	0.5	-1.6	8.2	0.6
Media	15.5	15.6	19.9	14.6

Il regime pluviometrico è tipicamente marittimo mediterraneo. Il versante meridionale ha la piovosità più bassa dell'isola, compresa tra 450 e 790 mm/anno. Gli apporti maggiori sono dati dalle piogge con venti da SW. Le precipitazioni si concentrano nel corso del semestre invernale e particolarmente in inverno, con un ammontare dal 70 all'80 per cento del totale annuo. Si registra una forte deficienza nel semestre estivo, che determina la definizione del clima ad estate secca, secondo il Koppen. La Tabella 2.f riporta i valori rilevati presso la costa (Sciacca) e nell'interno (Bivona ed Agrigento) che confermano questo andamento.

I dati della rete provinciale, relativi al periodo 2003-2004 risultano allineati al quadro complessivo, con precipitazioni totali annue di 588.2 mm, 563.2 mm e 888.4 mm misurate a Bivona, Cammarata e Siciliana, e rispettive precipitazioni massime orarie di 28 mm/h, 24.8 mm/h e 24.8 mm/h.

Tabella 2.f – Precipitazione mensile e giorni di pioggia (Mennella, 1973).

	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Anno
Sciacca [mm]	89	83	64	31	19	6	3	6	35	72	95	111	614
[giorni]	11	9	7	5	3	1	0	1	3	6	8	12	66
Bivona [mm]	129	113	91	58	34	15	5	13	48	101	116	138	856
[giorni]	13	10	10	6	5	2	1	1	4	8	10	14	84
Agrigento [mm]	59	53	44	25	16	5	1	4	20	65	81	90	463
[giorni]	10	8	7	4	3	1	0	1	2	6	8	11	61

L'umidità atmosferica non assume valori elevati per tutto il corso dell'anno. In Tabella 2.g sono riportati i valori medi mensili rilevati presso la stazione di Sciacca. Si nota, sia alle ore 7, sia alle ore 13, il prevalere dell'umidità invernale rispetto a quella autunnale. Il minimo nelle ore meridiane è decisamente estivo.

Tabella 2.g – Sciacca: Media della umidità relativa e medie delle ore 7 e 13 (Mennella, 1973).

Sciacca	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	Anno
Umidità Relativa media ore 7	80	78	72	74	70	64	63	66	75	78	81	79	73
Umidità Relativa media diurna	73	72	68	67	64	58	57	61	69	72	73	73	67
Umidità Relativa media ore 13	66	66	63	60	58	51	50	55	64	65	65	68	61
gg con UR > 95% alle ore 7	0.4	0.4	0.4	0.2	0.4	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.4	
gg con UR < 30% alle ore 13	0.2	0.4	0.8	0.6	1.0	3.8	4.0	2.0	0.0	0.4	0.4	0.0	

L'umidità media annua misurata dalla rete provinciale nel periodo 2003-2004 concorda con le indicazioni climatologiche. Tale parametro è stato misurato pari a 58% a Bivona, 61.7 % a Cammarata e 62.3 % a Siciliana.

Le caratteristiche anemologiche dell'area sono il frutto della sovrapposizione del locale regime di brezza terra-mare al quadro anemologico di grande scala dominante sul Mediterraneo occidentale e sullo Ionio meridionale. Una notevole influenza è esercitata dal sistema orografico dell'isola, barriera consistente, continua ed orientata per parallelo che, sollevando le masse d'aria, le modifica termicamente ed igrometricamente.

La seguente Figura 2.a riporta la rosa dei venti (direzione di provenienza) per il periodo 2002-2007 misurata dall'anemometro del nodo di Porto Empedocle della Rete Mareografica Nazionale, ubicato nell'area portuale. Si nota la sovrapposizione delle condizioni sinottiche, cui corrispondono le dominanti direzioni di provenienza da NW e ENE, alle condizioni di brezza N-S, di minore intensità, meglio evidenziate in Figura 2.b, che riporta le rose per le ore diurne e notturne. La brezza di terra, caratteristica delle ore notturne, mostra direzioni di provenienza tra N e E, mentre quella di mare, tipica delle ore diurne, proviene tra SE e W. Il limitato numero di ore di calma di vento, pari al 5.2 % delle ore annue, sottolinea la buona ventosità dell'area.

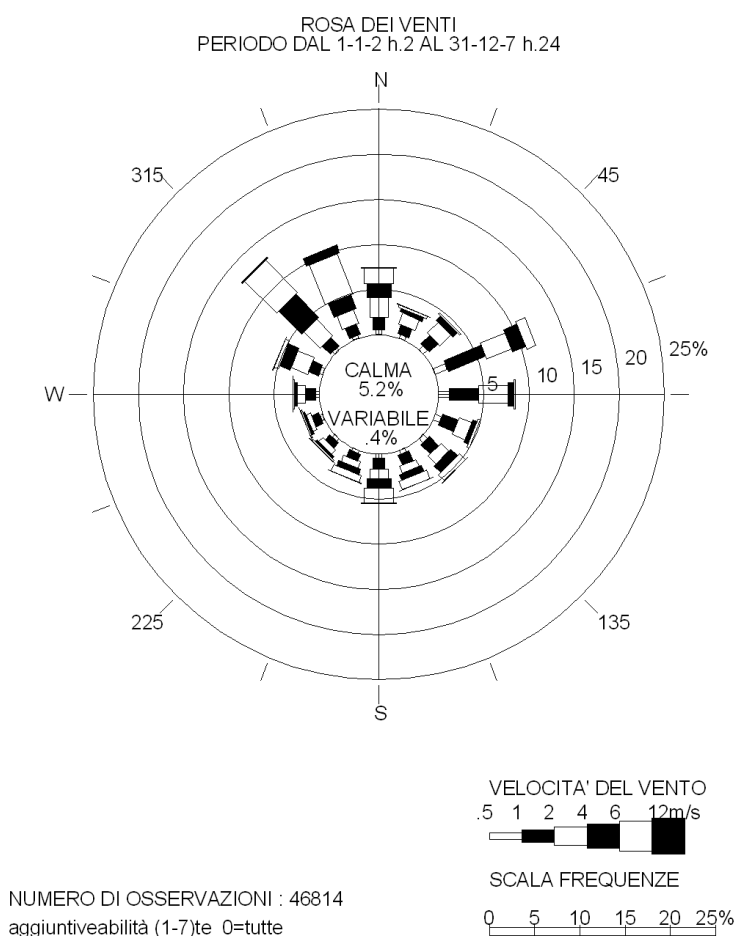


Figura 2.a – RMN Porto Empedocle: Rosa dei venti complessiva (2002-2007)

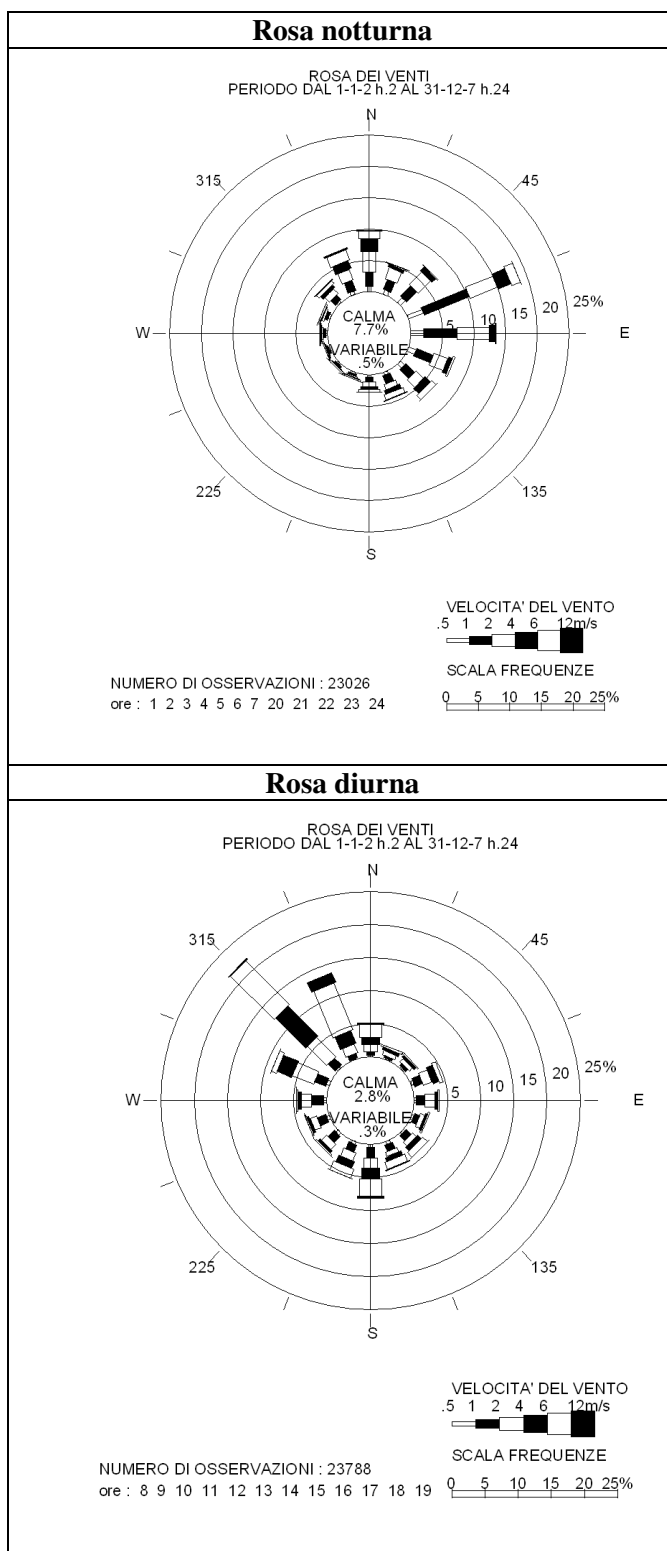


Figura 2.b – RMN Porto Empedocle: Rosa dei venti diurna e notturna (periodo 2002-2007)

A livello stagionale le rose, riportate in Figura 2.c, evidenziano una certa similarità tra l'estate e l'autunno e tra l'inverno e la primavera, in cui si accentuano le provenienze nord occidentali.

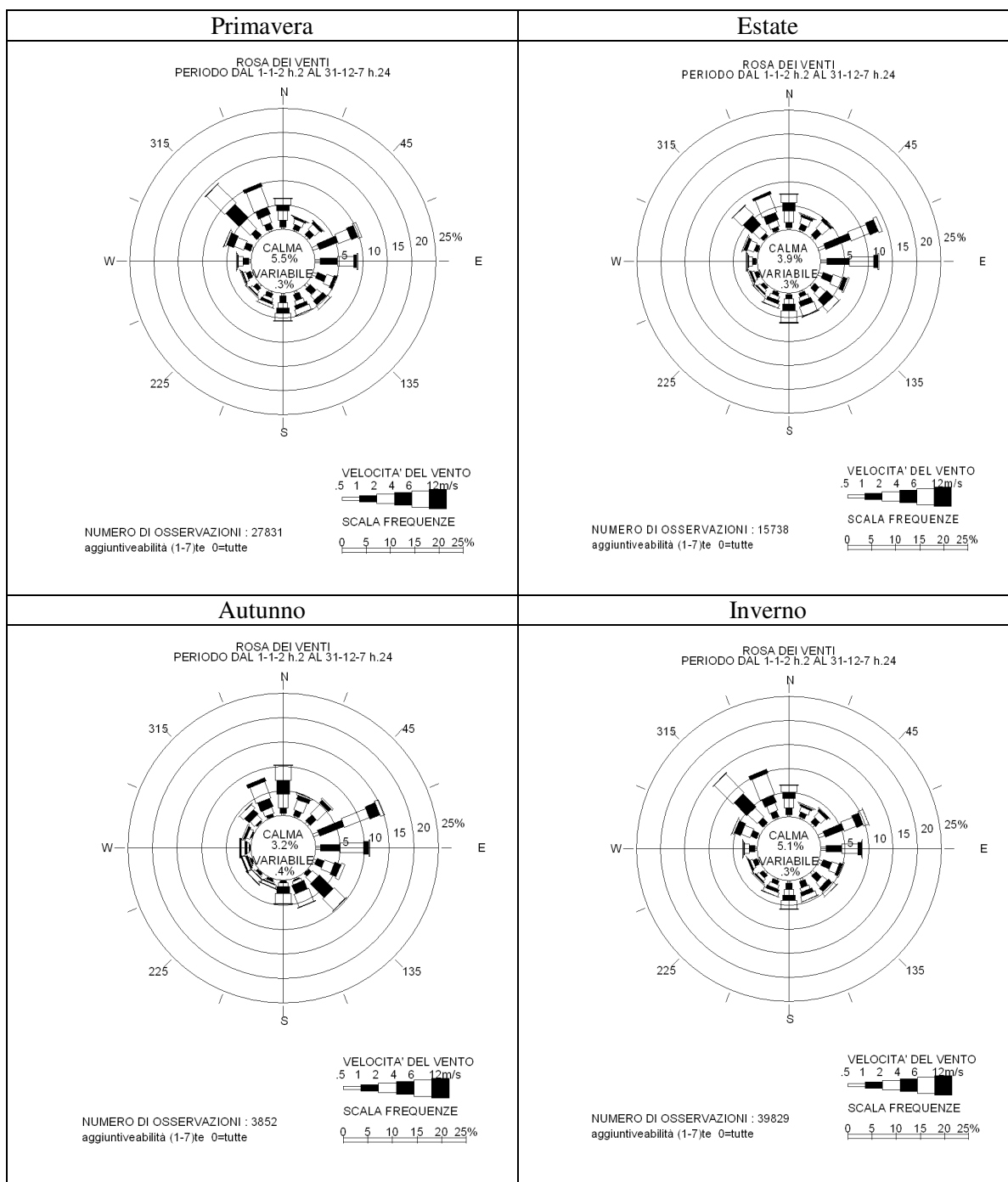


Figura 2.c – RMN Porto Empedocle: Rosa dei venti stagionale (periodo 2002-2007)

Le classi di stabilità atmosferica, indicate con le lettere dalla A alla F, sono associate alle diverse condizioni meteo-diffusive in cui si può trovare la fascia d’atmosfera prossima al suolo per determinate intensità del vento e di energia termica disponibile. Le classi A, B e C sono dette “instabili”. Si registrano nelle ore diurne e sono caratterizzate da un grado d’instabilità decrescente. La classe A è maggiormente frequente in estate, nelle ore centrali delle giornate con cielo sereno. Allontanandosi dalla stagione estiva, o dalle condizioni di cielo sereno, la stabilità atmosferica decresce in classe B e quindi in classe C. Le classi E ed F sono dette “stabili” e si registrano nelle ore notturne in presenza di inversione termica al suolo di differente intensità. La categoria D definisce il regime di turbolenza meccanica ed è associata alle ore di transizione dell’alba e del tramonto o a condizioni di elevata intensità del vento. In merito alla distribuzione annuale delle diverse condizioni di stabilità nel sito si presentano in Figura 2.d i dati relativi al solo anno 2007. La statistica è condotta sulla base della serie annua prodotta dal modello CALMET in corrispondenza dell’abitato di Porto Empedocle.

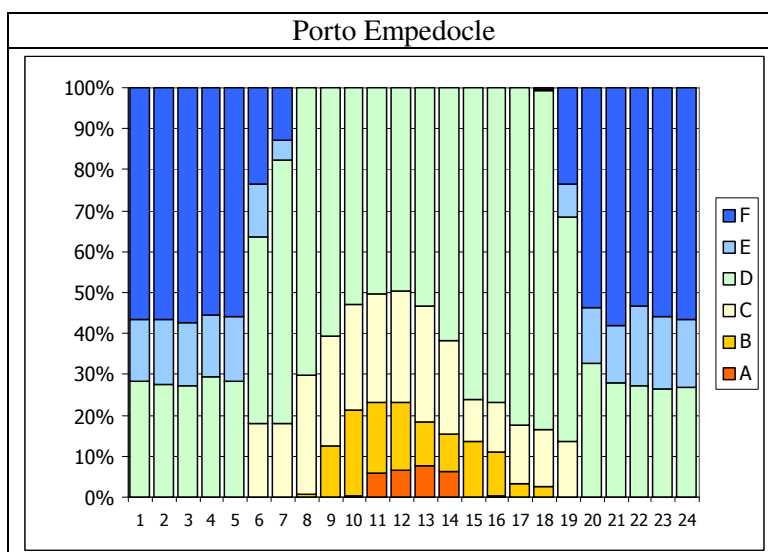


Figura 2.d – Porto Empedocle: Distribuzione delle categorie di stabilità atmosferica (anno 2007 calcolata dal modello CALMET)

L’andamento annuale mostra il tipico massimo per la categoria neutra D. Nelle ore notturne si riscontra una elevata frequenza di condizioni di forte stabilità che si compensa con la minore frequenza della classe E. Le categorie instabili (A, B, C) mostrano gli andamenti tipici con particolare accentuazione delle categorie A e B nelle ore più assolate, soprattutto nel periodo estivo. Le categorie stabili (E, F) hanno frequenze massime in autunno ed in inverno ma si mantengono elevate anche nel periodo estivo.

3 VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI SULLA QUALITÀ DELL'ARIA

La Centrale Termoelettrica di Porto Empedocle è composta da due gruppi a olio combustibile da 200 MWt ciascuno. La valutazione degli impatti sulla qualità dell'aria è stata condotta ipotizzando a titolo cautelativo, l'esercizio in continuo di entrambi i gruppi per tutte le 8760 ore simulate, trascurando quindi eventuali periodi di fermo impianto. La Tabella 3.a riporta l'ubicazione dell'impianto e le caratteristiche geometriche dei camini mediante cui i fumi prodotti dal processo di combustione sono convogliati in atmosfera. Le caratteristiche emissive delle sorgenti, volume dei fumi, temperatura e velocità d'uscita, concentrazioni di inquinanti all'emissione, sono riportate in Tabella 3.b.

E' stato qui ipotizzato, in coerenza con la scheda B.7.2. della domanda AIA ed in senso estremamente cautelativo, il funzionamento dei gruppi con portata fumi corrispondente al carico nominale e concentrazione di SO₂, NO_x e polveri al massimo livello consentito dai vigenti limiti alle emissioni, di cui all'art.273 comma 4 (Allegato II Parte II Sez. 2, 4, 5 - A) del D.Lgs 152/06 parte V.

Le concentrazioni di CO, con limite pari a 250 mg/Nm³, corrispondono invece alle concentrazioni medie rilevate dal sistema di controllo in continuo (20 mg/Nm³), considerate comunque rappresentative.

Tabella 3.a – Centrale di Porto Empedocle – Coordinate e caratteristiche geometriche dei camini.

Sorgente	Potenza	COORDINATE			CIMINIERA		
		UTM 33		Quota	altezza m	diametro m	sezione m ²
		EST km	NORD km	m s.l.m.			
Nome	MWt						
PE1	200	368.881	4 127.700	2.0	80.0	4.0	12.6
PE2	200	368.832	4 127.730	2.0	80.0	4.0	12.6

Tabella 3.b – Centrale di Porto Empedocle – Caratteristiche emissive di ogni gruppo.

Nome	Temperatura		Portata	SO ₂	NO _x	CO	Polveri
	°C	°K	secchi O ₂ rif. Nm ³ /h	mg/Nm ³	mg/Nm ³	mg/Nm ³	mg/Nm ³
PE1	130	403	203 673	1 700	450	20	50
PE2	130	403	203 673	1 700	450	20	50

3.1 Scelta e Descrizione del sistema modellistico

In base alle caratteristiche del sito e della simulazione da svolgere, si è scelto di utilizzare il sistema modellistico CALMET-CALPUFF sviluppato da Earth Tech Inc.

CALMET (ver. 6.211, liv. 060414) è un modello meteorologico diagnostico per la ricostruzione di campi orari bidimensionali e tridimensionali delle principali variabili meteorologiche e micrometeorologiche a partire da dati al suolo e di profilo misurati o calcolati da altri modelli. CALPUFF (ver. 6.111, liv. 060329) è un modello lagrangiano non stazionario a puff per la ricostruzione di campi di concentrazione e deposizione al suolo di sostanze emesse da sorgenti di varia natura (puntuali, areali, lineari e volumetriche).

Il sistema modellistico CALMET-CALPUFF, dalla validità riconosciuta in ambito scientifico ed istituzionale (è presente nelle linee guida statunitensi ed in quelle nazionali - APAT CTNACE, 2001 - per la simulazione della dispersione delle emissioni in atmosfera), è particolarmente idoneo alla trattazione del caso in oggetto per le seguenti caratteristiche:

- Evoluzione delle masse inquinanti in campi meteorologici tridimensionali, non uniformi e non omogenei
- Trattazione dell'interfaccia terra/mare
- Trattazione delle calme di vento

La scelta del sistema modellistico risulta allineata anche alle indicazioni del DM 1 ottobre 2002, n. 26 *“Regolamento recante le direttive tecniche per la valutazione preliminare della qualità dell'aria ambiente, i criteri per l'elaborazione del piano e dei programmi di cui agli articoli 8 e 9 del decreto legislativo 4 agosto 1999, n. 351”* che nell'allegato 1, *“Direttive tecniche concernenti la valutazione preliminare”* fornisce importanti indicazioni sulle caratteristiche generali dei modelli matematici recita:

“La valutazione della complessità dell'area su cui si effettua la valutazione deve tenere conto delle caratteristiche orografiche del territorio, di disomogeneità superficiali (discontinuità terra-mare, città - campagna, acque interne) e condizioni meteo-diffusive non omogenee (calma di vento negli strati bassi della troposfera, inversioni termiche eventualmente associate a regimi di brezza); l'uso di modelli analitici (gaussiani e non) si considera generalmente appropriato nel caso di siti non complessi, mentre qualora le disomogeneità spaziali e temporali siano rilevanti per la dispersione, è opportuno ricorrere all'uso di modelli numerici tridimensionali, articolati in un preprocessore meteorologico (dedicato principalmente alla ricostruzione del campo di vento) e in un modello di diffusione.”

3.1.1 Modello meteorologico - CALMET

CALMET (versione 6.211, livello: 060414) (Scire et al., 2000a) è un modello meteorologico diagnostico che produce campi orari tridimensionali di vento e bidimensionali di diverse variabili meteorologiche a partire da dati osservati (al suolo e di profilo) e da dati geofisici (orografia, uso del suolo). CALMET è costituito da un modulo diagnostico per la ricostruzione del campo di vento e da moduli micrometeorologici per la caratterizzazione dello strato limite di rimescolamento sia sul suolo sia sull'acqua.

Il modulo diagnostico del campo di vento utilizza una procedura a due passi per la costruzione del campo. Il primo passo crea un campo iniziale, basato sui venti sinottici, e lo corregge in modo da tenere conto degli effetti del terreno sui flussi e dei venti di pendio. In questa fase, dapprima il modello utilizza i venti sinottici per calcolare una velocità verticale forzata dal terreno e soggetta ad una funzione esponenziale di smorzamento dipendente dalla classe di stabilità atmosferica. In secondo luogo, sono introdotti gli effetti dell'orografia sulle componenti orizzontali del vento mediante l'applicazione iterativa di uno schema di minimizzazione della divergenza sul campo tridimensionale fino al soddisfacimento del vincolo di minima divergenza. Dopo aver introdotto i venti di pendio e gli effetti termodinamici, il campo, a questo punto detto di primo passo, passa alla seconda fase procedurale che introduce i dati osservati, al suolo ed in quota, in modo da ottenere il campo nella sua versione finale. L'introduzione dei dati osservati è effettuata tramite una procedura d'analisi oggettiva. L'attribuzione di pesi inversamente proporzionali alla distanza tra punto e stazione di misura, garantisce l'ottenimento di un campo che riflette maggiormente le osservazioni in prossimità dei punti di misura e che è dominato dal campo di primo passo nelle zone prive d'osservazioni. Infine, il campo risultante è sottoposto ad un'operazione di smoothing e di ulteriore minimizzazione della divergenza.

CALMET richiede come dati di input misure orarie al suolo di direzione e velocità del vento, temperatura, copertura nuvolosa, altezza della base delle nuvole, pressione atmosferica, umidità relativa e precipitazione, nonché profili verticali di direzione e velocità del vento, temperatura e pressione atmosferica. Algoritmi specifici trattano la dinamica atmosferica sopra superfici acquose e la loro interfaccia con le superfici terrestri. Recentemente è stata introdotta la possibilità di utilizzare campi di vento generati da modelli meteorologici prognostici (quali ad esempio MM5, RAMs...) come campi d'inizializzazione.

3.1.2 Modello di dispersione - CALPUFF

CALPUFF versione 6.111, livello 060329 (Scire J.S. et Al., 2000a) è un modello di dispersione non stazionario multi-strato multi-specie con cui è possibile simulare gli effetti di condizioni meteorologiche variabili nel tempo e nello spazio sul trasporto, trasformazione e rimozione degli inquinanti in atmosfera. Pur potendo essere guidato da meteorologie puntuali semplici, CALPUFF consente di utilizzare a pieno tutte le potenzialità del codice se guidato da campi meteorologici tridimensionali generati da CALMET. CALPUFF implementa algoritmi per la trattazione di effetti prossimi alla sorgente (building downwash, fumigazione, sovrainnalzamento progressivo, penetrazione parziale dello strato rimescolato, interazioni con elementi orografici non risolti dalla griglia orografica), oltre che di deposizione secca ed umida, trasformazioni chimiche, avvezione su suolo ed acque ed interazioni all'interfaccia terra/mare. Il modello può trattare sorgenti emissive puntuali, lineari, areali e volumetriche, dall'emissione variabile in modo arbitrario nel tempo.

CALPUFF utilizza due domini tridimensionali distinti: la griglia meteorologica e quella di calcolo. La prima definisce l'estensione orizzontale del dominio, le dimensioni delle celle, il numero e lo spessore degli strati verticali. Questa coincide con la griglia utilizzata da CALMET e ad essa sono associati i dati meteorologici e geofisici. La griglia computazionale è un sotto insieme, al più coincidente, della griglia meteorologica ed è il dominio in cui sono fatti evolvere i puff ed in cui possono essere calcolate le concentrazioni.

Le emissioni sono schematizzate come un continuo rilascio di sbuffi (puff) d'inquinante rilasciati in atmosfera. Al variare della direzione ed intensità del vento nello spazio e nel tempo la traiettoria d'ogni puff cambia in modo da seguire la nuova direzione del vento.

La diffusione dei puff è gaussiana e la concentrazione stimata in un dato recettore è data dalla somma dei contributi di tutti i puff sufficientemente vicini a questo. La garanzia della corretta riproduzione del pennacchio inquinante è data dall'elevato numero di puff rilasciato ogni ora, numero calcolato dal modello in funzione delle caratteristiche meteorologiche di quell'ora.

La trattazione di calme di vento avviene attraverso i normali algoritmi contenuti nel codice, consistenti con il modello concettuale in cui le emissioni contemporanee alla calma di vento salgono virtualmente sulla verticale della sorgente, mentre quelle preesistenti ristagnano sulla loro posizione, tutte disperdendosi in funzione del tempo, poiché si assume che questo sbandieri attorno ad una media nulla.

Il calcolo delle componenti della turbolenza atmosferica (syt e szt) può essere effettuato sia in base alle variabili di turbolenza atmosferica prodotte da CALMET (L , u^* , w^* , ecc.), sia mediante i coefficienti di dispersione Pasquill-Gifford-Turner (PGT) in aree rurali (con una formulazione approssimante le equazioni di ISCST-3), e coefficienti di Mc Elroy-Pooler in aree urbane.

La deposizione secca di gas e particelle è trattata attraverso un modello a resistenze basato su proprietà dell'inquinante (diametro molecolare, forma, densità, diffusività, solubilità, reattività), caratteristiche della superficie (rugosità superficiale, tipo di vegetazione) e variabili atmosferiche (classe di stabilità, turbolenza). L'algoritmo determina la velocità di deposizione come l'inverso della somma di resistenze (che rappresentano le diverse forze in opposizione al trasporto dell'inquinante dall'atmosfera al suolo) a cui si aggiunge, per le sole particelle, un termine di deposizione gravitazionale. L'atmosfera è in schematizzata attraverso cinque strati (layer) che caratterizzano le differenti proprietà fluidodinamiche dell'atmosfera alle differenti distanze dal suolo.

La deposizione umida è calcolata tramite un algoritmo basato su coefficienti di rimozione empirici dipendenti dalla natura dell'inquinante e della precipitazione.

3.2 Applicazione al caso in esame

La simulazione modellistica è stata condotta ricostruendo i campi meteorologici orari per l'anno 2007 su un'area di 40x40 km² con una elevata risoluzione spaziale (500m), riportato in Figura 3.a. Tale scelta deriva dalla necessità di riprodurre adeguatamente le caratteristiche del sito in esame, particolarmente complesso per la presenza dell'interfaccia terra-mare, con brezze che possono dissociare la circolazione atmosferica negli strati più bassi da quella a quote superiori. Importati sono anche la corretta riproduzione delle inversioni termiche, dell'evoluzione dell'altezza dello strato rimescolato e della stabilità atmosferica. Conseguentemente la scelta dei livelli verticali ha visto una particolare attenzione alla descrizione delle prime centinaia di metri dal suolo.

La ricostruzione dei campi meteorologici è stata condotta mediante il modello meteorologico diagnostico CALMET applicato definendo la seguente griglia tridimensionale:

- Sistema di coordinate = UTM33 datum WGS84
- Definizione orizzontale della griglia:
 - Numero di celle nella direzione X (N_x) = 80
 - Numero di celle nella direzione Y (N_y) = 80
 - Lato cella (quadrata) = 500 m
 - Coordinate dell'angolo Sud Ovest del dominio km (348.000; 4113.000)
- Definizione verticale della griglia:
 - Numero di livelli = 10
 - Quote sul livello del suolo = 0, 20, 80, 160, 280, 460, 700, 1000, 2000, 3000, 4500 m

I campi meteorologici sono stati ricostruiti fornendo al modello un set di dati misurati comprendente il nodo di Porto Empedocle della Rete Mareografica Nazionale, la postazione al suolo 12 del CIPASR (Siracusa), la postazione ed i profili verticali di vento e temperatura calcolati dal modello meteorologico prognostico LAMI, applicato a scala nazionale con risoluzione di 7 km, in corrispondenza della città di Catania (135 km a E dell'impianto) e di Trapani (110 km a W).

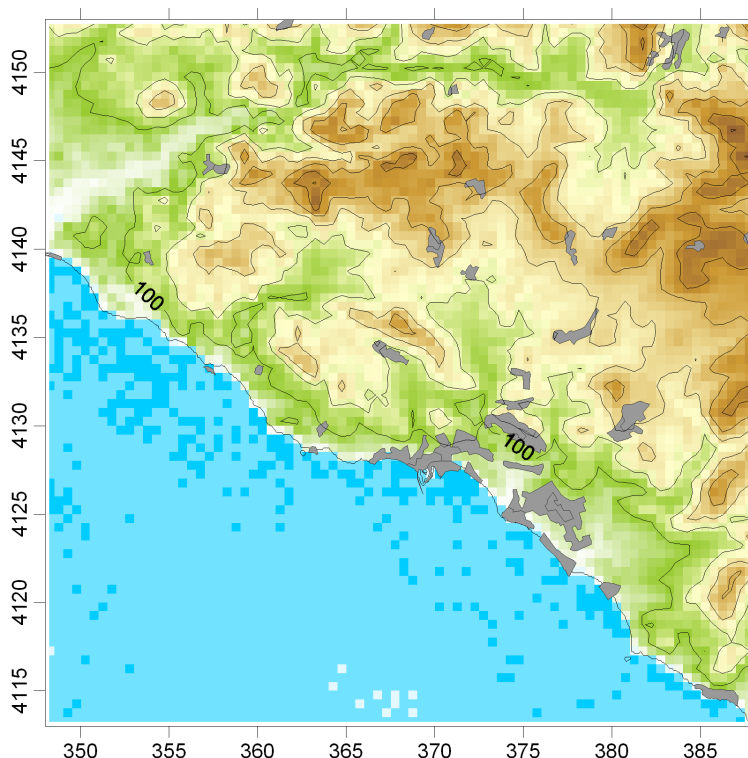


Figura 3.a - Dominio di Calcolo meteorologico. In grigio le principali aree urbane.

L'input meteorologico prodotto da CALMET, e quello emissivo descritto in Tabella 3.a e Tabella 3.b, sono stati quindi forniti a CALPUFF per la stima delle concentrazioni in aria ambiente di SO₂, NO_x, NO₂, CO e PM₁₀. In via cautelativa, tutto il particolato emesso dai camini è stato considerato come PM₁₀.

Al fine di calcolare la trasformazione di NO in NO₂, CALPUFF ha fatto uso delle concentrazioni orarie in aria ambiente di ozono misurate relative nel corso dell'anno 2007 presso sette postazioni della Rete di Rilevamento della Qualità dell'Aria gestita dalla Provincia di Agrigento (Tabella 3.c e Figura 3.b), di cui si riportano in Figura 3.c gli andamenti del giorno medio annuo.

Tabella 3.c – Stazioni di ozono della RRQA della Provincia di Agrigento utilizzate.

Numero	Sigla	Est utm33	Nord utm33	Nome
1	AGC	374.477	4131.313	Agrigento centro
2	CAM	374.908	4164.876	Cammarata
3	CAN	397.910	4153.218	Canicatti
4	LAM	285.061	3933.141	Lampedusa (fuori mappa)
5	LIC	405.664	4106.955	Licata
6	PE1	369.648	4127.903	Porto Empedocle 1
7	SIC	355.695	4135.808	Siculiana

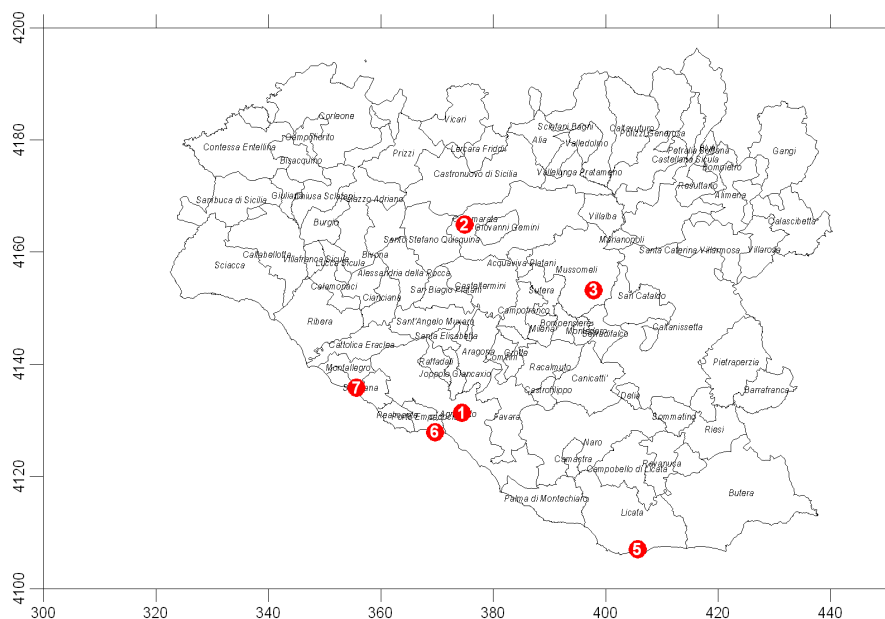


Figura 3.b – Ubicazione delle stazioni di ozono della RRQA della Provincia di Agrigento utilizzate.

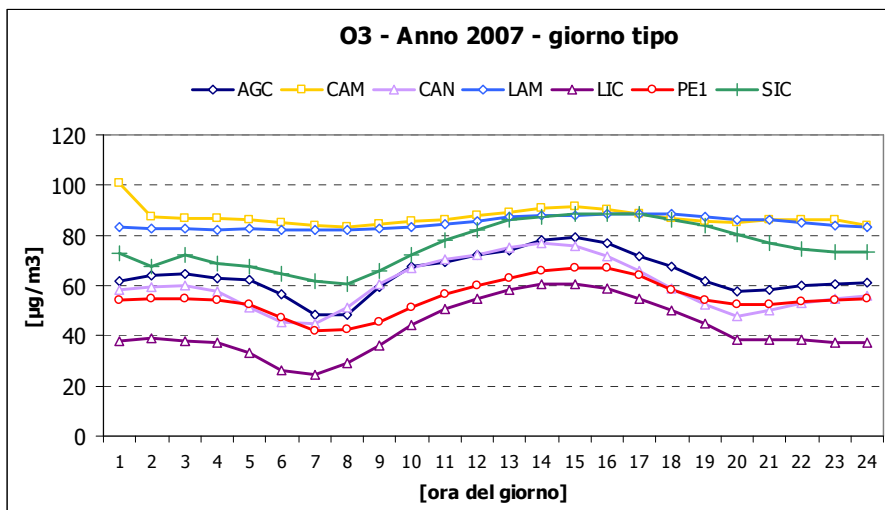


Figura 3.c – Andamento giornaliero medio della concentrazione di ozono, anno 2007.

La seguente Tabella 3.d riporta il confronto tra gli standard della qualità dell'aria previsti dalla normativa vigente e la stima delle ricadute della Centrale nel punto di massimo impatto prodotta dal modello CALPUFF. Si evidenzia un rispetto di tutti i limiti di legge con ricadute inferiori ai valori limite per tutti gli inquinanti.

Tabella 3.d – Confronto tra SQA e ricadute della Centrale di Porto Empedocle nel punto di massimo impatto.

Parametro D.M. 2 Apr 2002 n.60 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Valore limite	Valore nel punto di massimo impatto
Biossido di zolfo – SO_2		
Media annuale (Protezione ecosistemi)	20	7.5
Concentrazione superata per 3g/anno (percentile giornaliero 99.1781)	125	102.0
Concentrazione superata per 24h/anno (percentile orario 99.7260)	350	322.9
Ossidi di azoto – NO_x e NO_2		
Media annuale NO_2	40	1.6
Concentrazione superata per 18h/anno (percentile orario 99.7945)	200	83.2
Media annuale NO_x (Protezione vegetazione)	30	1.9
Particolato atmosferico – PM_{10}		
Media annuale	40	0.22
Concentrazione superata per 35g/anno (percentile giornaliero 90.4110)	50	0.68
Monossido di carbonio – CO		
Concentrazione media massima giornaliera su 8 ore	10000	4.6 (massimo media su 8 ore)

Per i medesimi SQA si riportano nel seguito le mappe relative alle linee di isoconcentrazione al suolo che definiscono l'impatto dell'impianto sul territorio. La Centrale è indicata con un triangolo verde. Le linee ad ugual concentrazione sono tracciate con una scala semaforica che identifica la valutazione

dell'impatto da trascurabile (grigio) a non significativo (blu), a scarsamente significativo (verde) a poco significativo (giallo) a significativo (rosso). Come si può notare dalle mappe, l'impatto è per molti parametri trascurabile e non significativo. Nei casi di maggior impatto, l'area di principale ricaduta, è localizzata tra i 2 ed i 5 km a Nord dell'impianto.

Il risultato risulta ancor più accettabile in considerazione del fatto che esso sia ottenuto sotto l'assunzione cautelativa di pieno funzionamento continuo di tutti e due i gruppi di centrale. Il reale funzionamento dell'impianto, in cui sono presenti periodi di inattività di uno o più gruppi e livelli emissivi inferiori al limite, consente di ritenere l'impatto effettivo ancor più limitato.

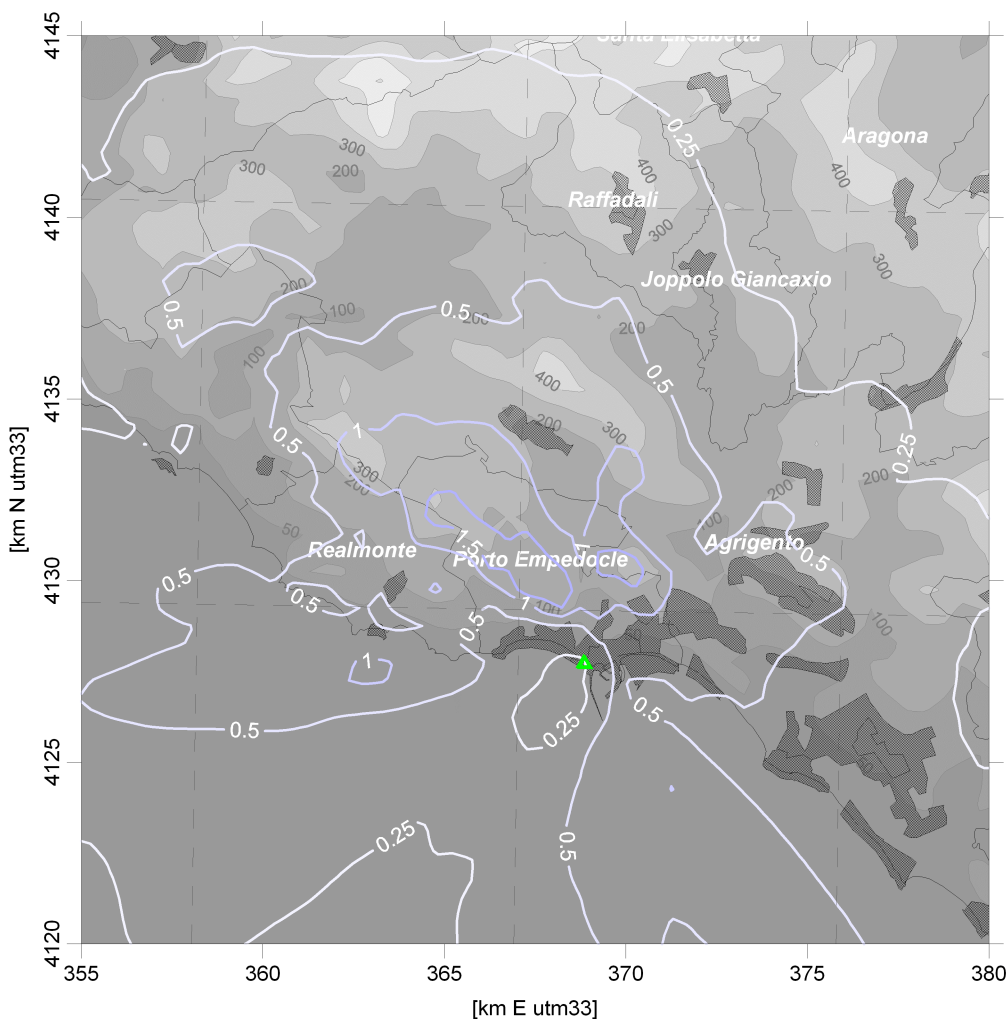


Figura 3.d – Concentrazione media annua NOx in $[\mu\text{g}/\text{m}^3]$, valore limite $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

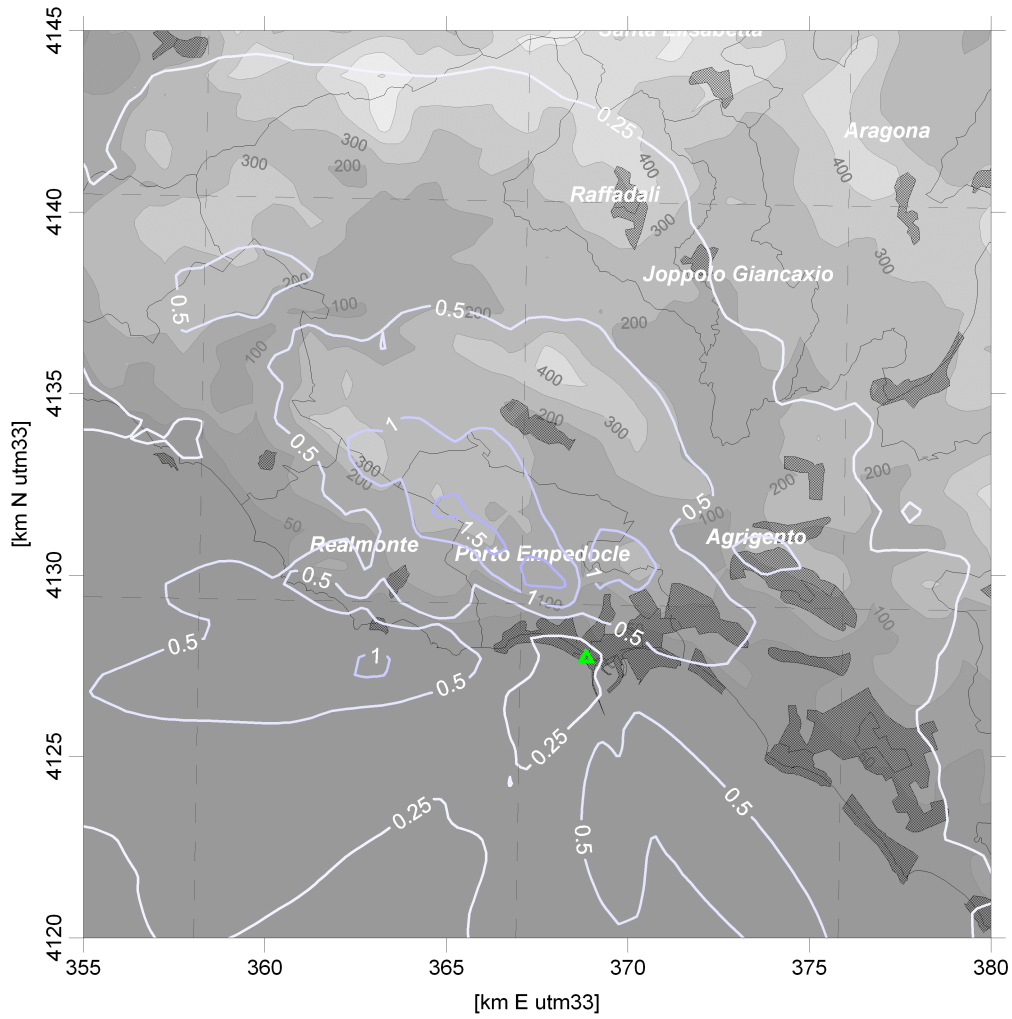


Figura 3.e – Concentrazione media annua NO₂ in [µg/m³], valore limite 40 µg/m³.

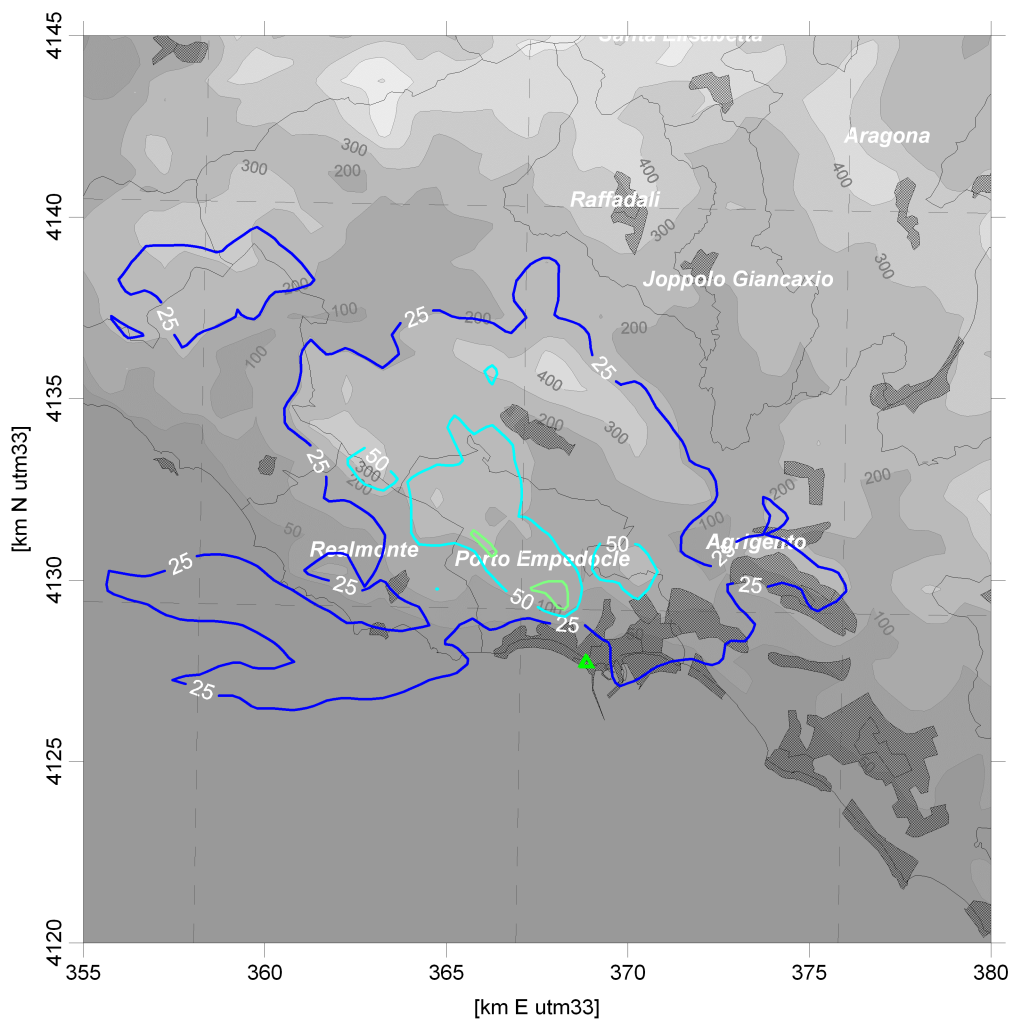


Figura 3.f – Concentrazione oraria di NO₂ superata 18 volte/anno [µg/m³], valore limite 200 µg/m³.

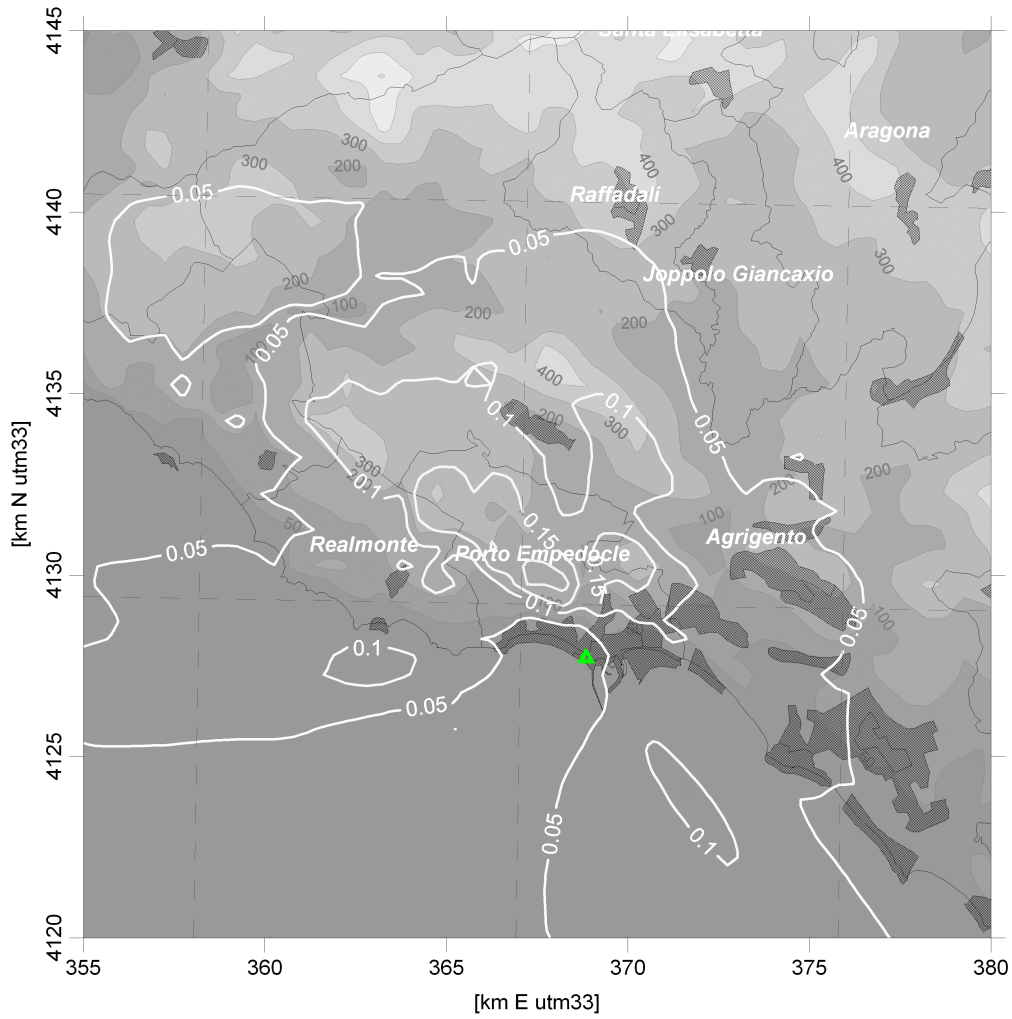


Figura 3.g – Concentrazione media annua di PM_{10} [$\mu g/m^3$], valore limite $40 \mu g/m^3$.

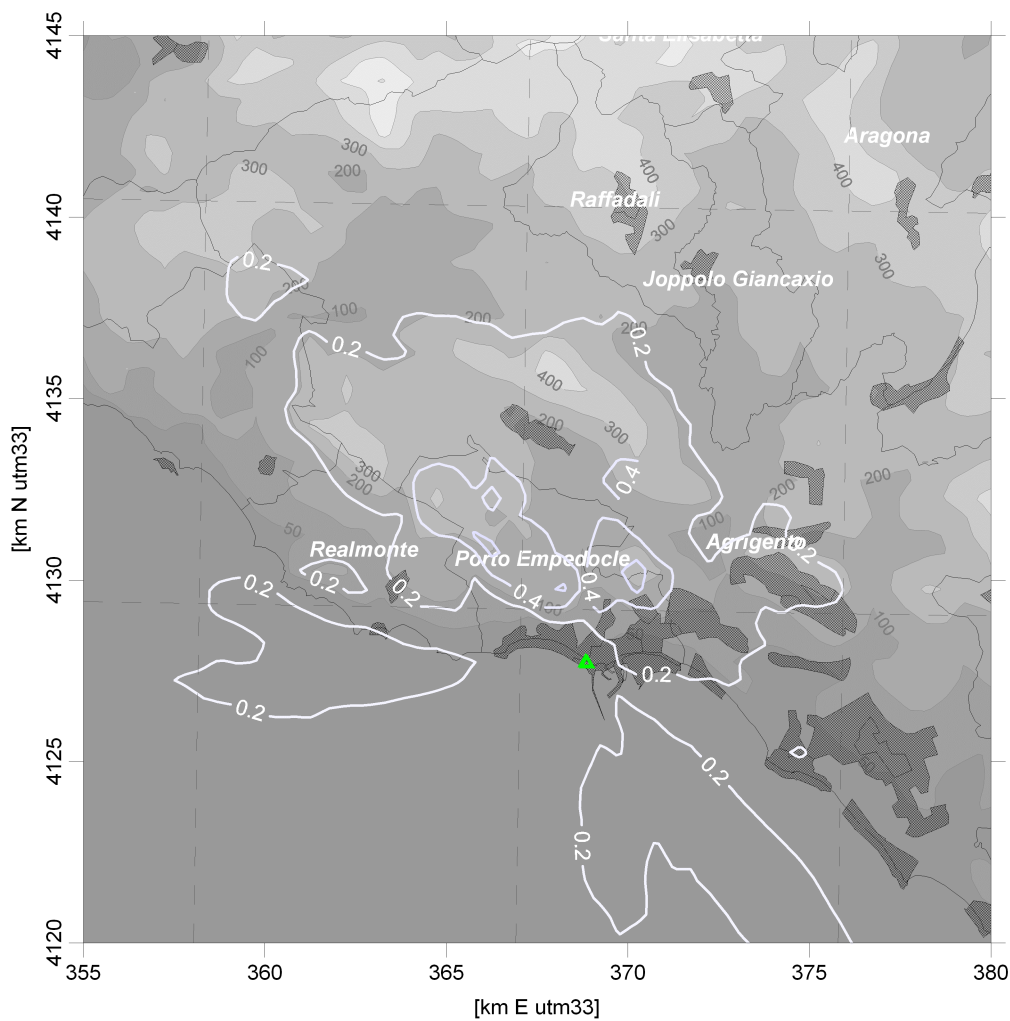


Figura 3.h – Concentrazione giornaliera di PM₁₀ superata 35 volte/anno [$\mu\text{g}/\text{m}^3$], valore limite 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

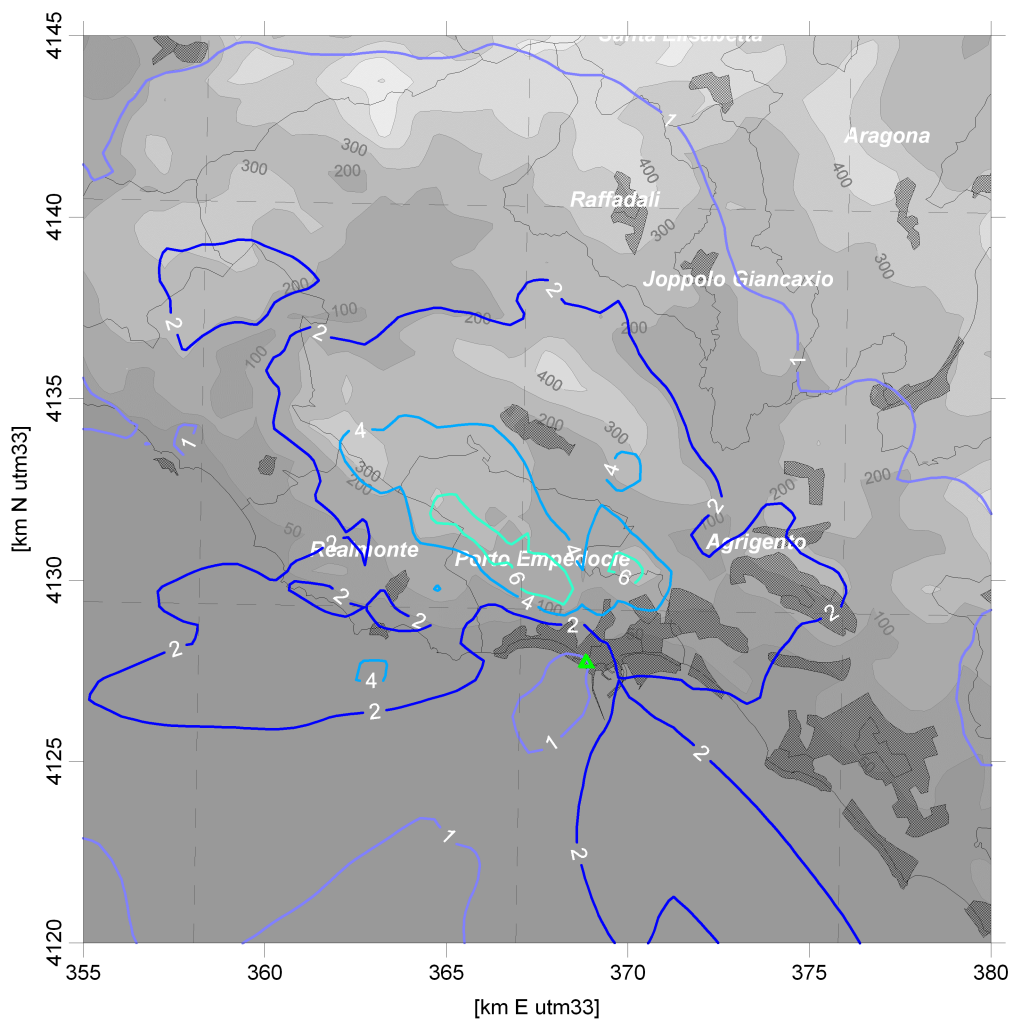


Figura 3.i – Concentrazione media annua di SO₂ [µg/m³], valore limite 20 µg/m³.

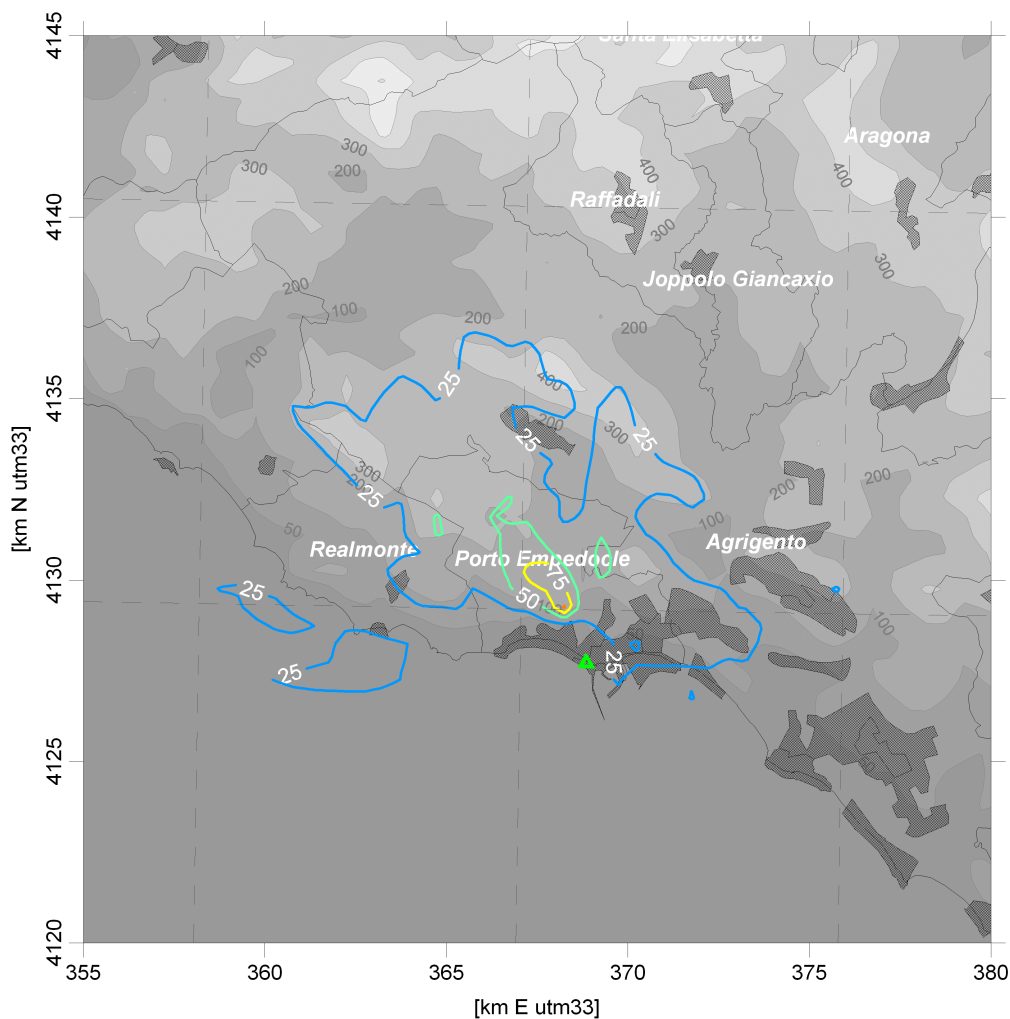


Figura 3.j – Concentrazione giornaliera di SO₂ superata 3 volte/anno [µg/m³], valore limite 125 µg/m³.

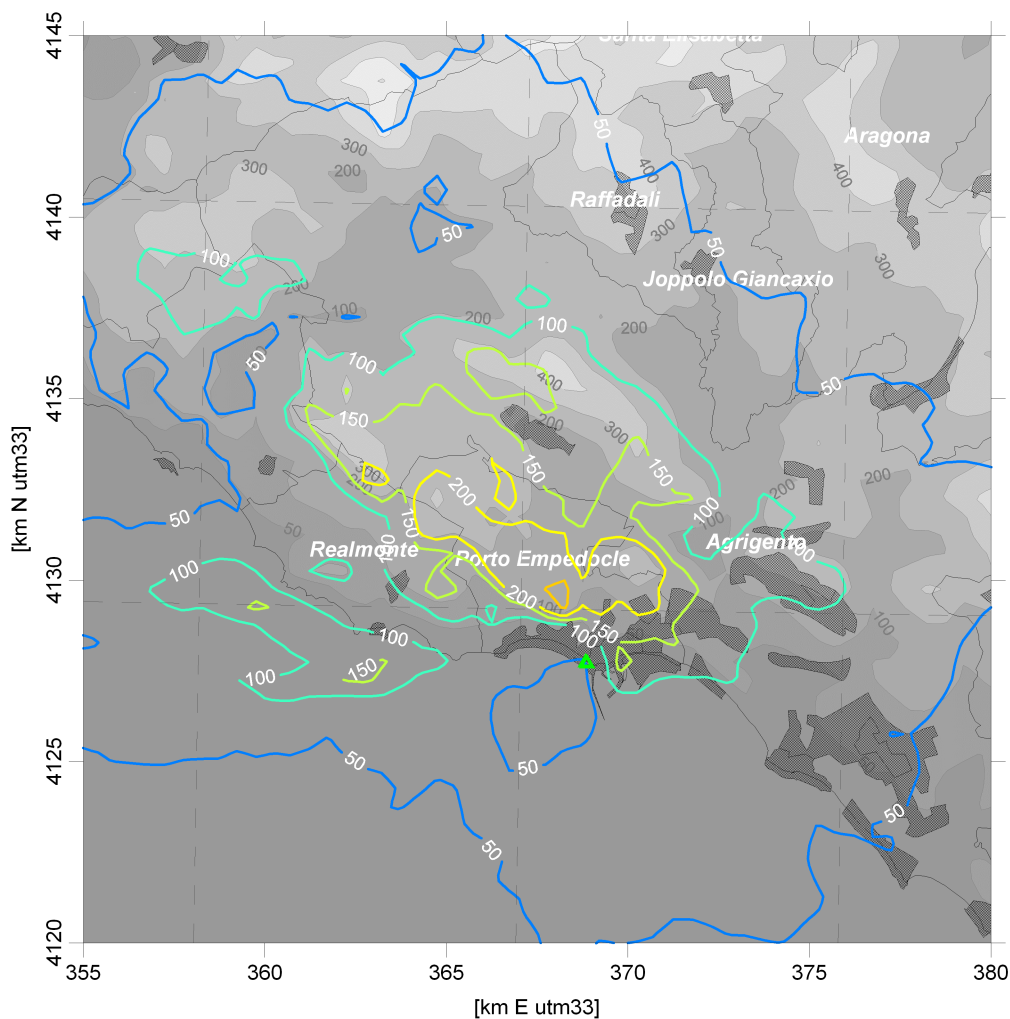


Figura 3.k – Concentrazione oraria di SO₂ superata 24 volte/anno [$\mu\text{g}/\text{m}^3$], valore limite 350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

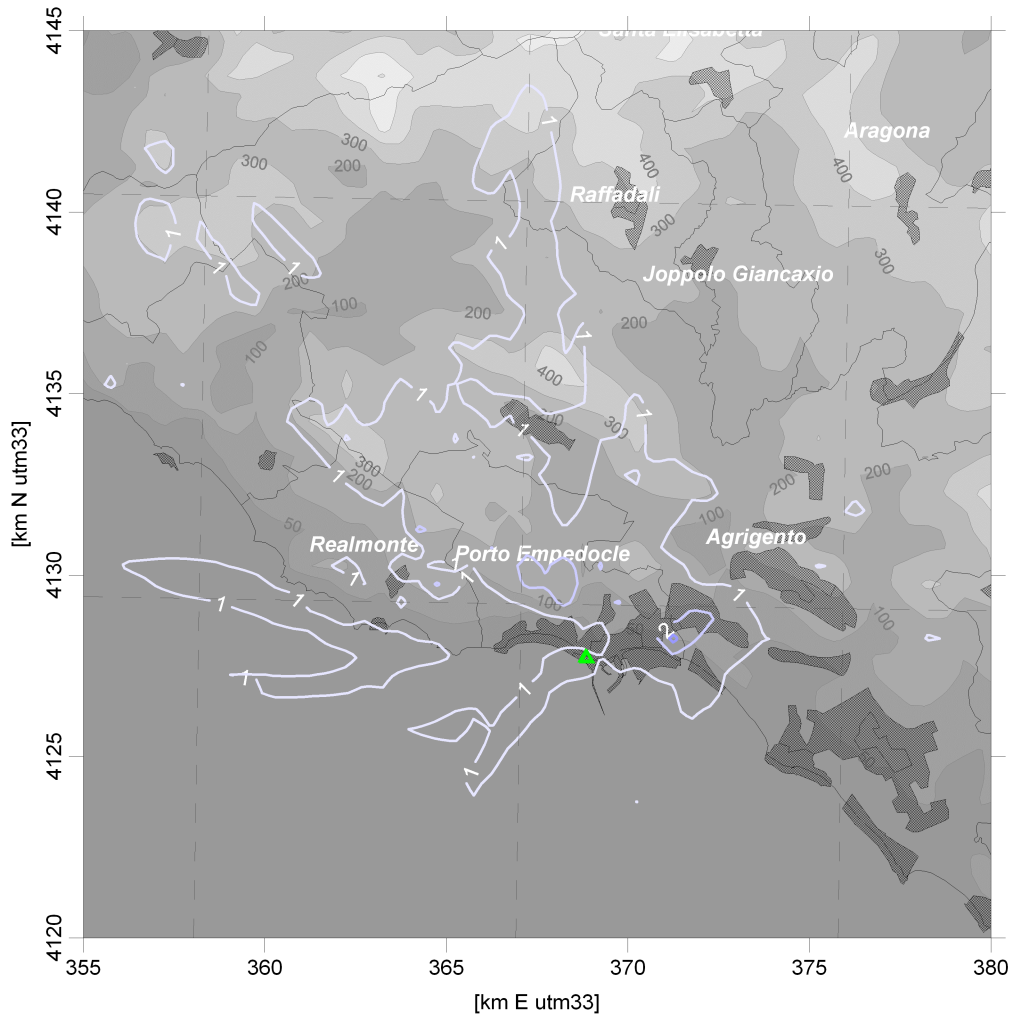


Figura 3.1 – Massimo valore della concentrazione media su 8 ore di CO [$\mu\text{g}/\text{m}^3$], valore limite come massimo della media su 8 ore 10000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

4 CONCLUSIONI

Nell'ambito dell'Autorizzazione Integrata Ambientale della Centrale Termoelettrica di Porto Empedocle, Enel ha richiesto a Cesi la redazione di uno studio in merito alla valutazione degli effetti delle emissioni in atmosfera sullo stato della qualità dell'aria nel comprensorio.

La valutazione modellistica dell'impatto sulla qualità dell'aria delle emissioni convogliate in atmosfera della Centrale, esercita con funzionamento continuo a massimo carico dei due gruppi, è stata condotta mediante l'applicazione del sistema CALMET - CALPUFF (a passo orario e per l'intero anno 2007) finalizzata al confronto con i vigenti Standard di Qualità dell'aria previsti dal DM 60/2002 in relazione a SO₂, NO_x, PM₁₀ e CO.

Le configurazioni emissive assunte sono state le più cautelative, prevedendo l'operatività dell'impianto con livelli di concentrazione di SO₂, NO_x e polveri pari ai valori massimi autorizzati, funzionanti in continuo per l'intero anno.

Il confronto tra gli impatti della Centrale stimati dal modello e gli standard della qualità dell'aria previsti dalla normativa vigente (DM 60/2002) evidenziano un rispetto di tutti i limiti di legge anche nel punto di massimo impatto, con ricadute inferiori ai valori limite per tutti gli inquinanti. Tale risultato è ancor più accettabile in considerazione del fatto che esso sia ottenuto sotto l'assunzione cautelativa di pieno funzionamento alla massima capacità produttiva di entrambi i gruppi di centrale. Il reale funzionamento dell'impianto, in cui sono presenti periodi di inattività di uno o più gruppi e livelli emissivi inferiori al limite, consente di ritenere l'impatto effettivo ancor più limitato.

Per i medesimi SQA, le mappe relative alle linee di isoconcentrazione al suolo, che definiscono l'impatto dell'impianto sul territorio, localizzano l'area di principale ricaduta tra 2 e 5 km a Nord dell'emissione.

5 BIBLIOGRAFIA

Mennella C., 1973. *“Il Clima d’Italia”*. Fratelli Conte Editore s.p.a., Napoli.

Provincia di Agrigento, 2005. *“Rapporto sullo stato dell’ambiente”*. Agrigento, dicembre 2005.

Scire, J.S., F.R. Robe, M.E. Fernau, R.J. Yamartino, 2000a. *“A user’s guide for the CALMET meteorological model”*. Earth Tech Inc., Concord, MA,USA.

Scire, J.S., D.G. Strimaitis, R.J. Yamartino, 2000b. *“A user’s guide for the CALPUFF dispersion model”*. Earth Tech Inc., Concord, MA,USA.