



**ARPA FVG**

Agenzia Regionale per la Protezione  
dell'Ambiente del Friuli Venezia Giulia



REGIONE AUTONOMA  
FRIULI VENEZIA GIULIA

## AMBIENTE E SALUTE

# Infarto del miocardio e inquinamento atmosferico

A cura di:

Luca Marchesi (1)  
Simonetta Fuser (1)  
Marco Gani (1)  
Fabio Barbone (2, 3)  
Paolo Collarile (4)  
Diego Serraino (4)  
Loris Zanier (5)

1. Arpa FVG - Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente del Friuli Venezia Giulia, Direzione generale
2. Università degli Studi di Udine  
Dipartimento di Area Medica (DAME)
3. IRCCS Burlo Garofolo, Trieste  
Direzione tecnico-scientifica
4. IRCCS Centro di Riferimento Oncologico, Aviano  
SOC Epidemiologia Oncologica e Registri Tumori del Friuli Venezia Giulia
5. Regione Friuli Venezia Giulia -  
Direzione centrale salute, integrazione  
socio-sanitaria, politiche sociali e famiglia -  
Servizio di Epidemiologia

SINTESI DELL'INDAGINE EPIDEMIOLOGICA AMBIENTALE NELL'AREA  
MONFALCONESE, PARTE SECONDA,

EFFETTI A LUNGO E A BREVE TERMINE DEGLI INQUINANTI ATMOSFERICI  
SULL'INFARTO DEL MIOCARDIO NEL MONFALCONESE

APRILE 2017

# AMBIENTE E SALUTE

## Infarto del miocardio e inquinamento atmosferico

Questo lavoro è una sintesi di un più ampio studio realizzato dall'Osservatorio Ambiente Salute il cui obiettivo è valutare l'impatto dell'inquinamento ambientale con l'insorgenza dell'infarto miocardico acuto (IMA) nella popolazione residente nel Monfalconese.

### Perché uno studio nel Monfalconese

L'inquinamento ambientale e le possibili ricadute sullo stato di salute della popolazione continua a destare una comprensibile preoccupazione nell'opinione pubblica, come anche nei responsabili della salute pubblica e della politica sanitaria.

Sono infatti sempre più frequenti le segnalazioni di presunte aggregazioni spaziali e/o temporali (cluster) di malattie in aree caratterizzate dalla presenza di sorgenti inquinanti, in particolare tra le persone che risiedono o che lavorano in prossimità di tali aree, quali insediamenti industriali, centrali nucleari o inceneritori.

L'area del Monfalconese è caratterizzata dalla presenza di diverse attività industriali attive dal secondo dopoguerra, che hanno esercitato e tuttora esercitano una considerevole pressione sull'ambiente (fig. 1). In particolare, nel Comune di Monfalcone sono presenti una centrale termoelettrica (dal 1963), una rilevante attività portuale, oltre ad altre attività industriali di rilievo (p.es., cantieristica navale, cartiere, industrie metallurgiche). Inoltre, nella zona è presente dal 1961 l'aeroporto regionale del Friuli Venezia Giulia e sono presenti assi viari di rilevanza regionale (S.R. 305), nazionale (S.S 14, S.S. 55) e sovranazionale (autostrada A4 e A34).



Figura 1

### OBIETTIVI DELLO STUDIO

L'indagine intitolata "Infarto del miocardio e effetti a lungo e a breve termine di inquinanti atmosferici misurati nell'area monfalconese" rientra in un più ampio programma di valutazione ambientale ed epidemiologica, che ha già visto la realizzazione di numerosi studi epidemiologici descrittivi dell'intera area del Goriziano, sviluppati con focus particolare sulla centrale termoelettrica di Monfalcone. Tali studi sono realizzati con l'utilizzo dei registri di patologia della Regione Friuli Venezia Giulia (Registro tumori di popolazione regionale, Registro regionale infarti miocardici, utilizzo delle Schede di dimissione ospedaliera e di certificato assistenza al parto) e l'utilizzo delle misure effettuate da Arpa, relative alla concentrazione di particolari inquinanti presenti nella matrice aria.

Lo studio rientra nella programmazione delle attività dell'Osservatorio Ambiente e Salute del Friuli Venezia Giulia, attivato dalla Regione nel 2014 (DGR 532/2014). All'Osservatorio partecipa la Direzione Centrale Salute, Arpa FVG, Università e Enti del Servizio Sanitario Regionale. L'Osservatorio è nodo funzionale della rete epidemiologica Regionale.

Gli obiettivi specifici dell'indagine includono:

- la stima dell'incidenza e della mortalità per infarto miocardico acuto (IMA) nel periodo 2004-2013 nell'area di 14 Comuni dell'hinterland monfalconese attraverso un'indagine di epidemiologia descrittiva, che comprende: (a) un primo confronto esterno tra la popolazione residente nell'area e quella del resto della Regione e (b) un secondo confronto interno all'area di studio, in funzione della variazione dei livelli storici di inquinamento atmosferico da biossido di azoto ( $\text{NO}_2$ ), ozono ( $\text{O}_3$ ), particolato atmosferico ( $\text{PM}_{10}$ ) e biossido di zolfo ( $\text{SO}_2$ );
- la stima relativa del rischio d'avere un IMA (periodo 2009-2013) in funzione della concentrazione atmosferica di  $\text{NO}_2$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{PM}_{10}$  ed  $\text{SO}_2$ , misurata nei 5 giorni antecedenti l'evento di infarto; il rischio è stato stimato attraverso uno studio epidemiologico con disegno case-crossover nel quale gli inquinanti sono considerati come i possibili fattori scatenanti di un infarto che si verifica entro i 5 giorni dall'esposizione.

## Attività e impegno delle Istituzioni nel Monfalconese: i precedenti studi ambientali ed epidemiologici

Per quanto riguarda il monitoraggio ambientale, nell'area del Monfalconese molto è già stato fatto. La matrice aria è stata particolarmente indagata, valutata ed elaborata nel rispetto dell'attuale normativa (D.Lgs 155/2010), anche ai fini della valutazione degli impatti della locale centrale termoelettrica.

Nell'ultimo quinquennio sono stati avviati degli studi per valutare il contributo dei comparti emissivi presenti nel Monfalconese (studi di "Source Apportionment" o "Apporto sorgenti") e per determinare in modo rigoroso l'incidenza percentuale degli stessi rispetto ad una situazione complessiva di impatto ambientale.

Arpa, in collaborazione con ISPRA, ha iniziato già nel 2013 un approfondito studio sui metalli e sui metalloidi (normati e non normati) presenti nelle PM10. La raccolta dei dati ambientali attraverso opportuna strumentazione ha permesso tra l'altro di valutarle in un periodo di inattività della centrale termoelettrica anche gli effettivi contributi delle emissioni dell'impianto in termini di inquinamento ed incidenza ambientale.

Nel 2014 è stato condotto uno studio tramite licheni epifiti, al fine di valutare la loro capacità di accumulo ed evidenziare eventuali scostamenti dai valori di naturalità.

A tutela dei lavoratori della centrale termoelettrica a carbone e della popolazione che vive nelle immediate vicinanze, Arpa ha già avviato un'attività di valutazione dell'impatto radiologico, oltre a svolgere approfondimenti sulla qualità dei suoli/sedimenti e nella valutazione e verifica del rispetto dei limiti di rumorosità.

Fra gli studi finalizzati a descrivere il territorio dal punto di vista epidemiologico sono da ricordare:

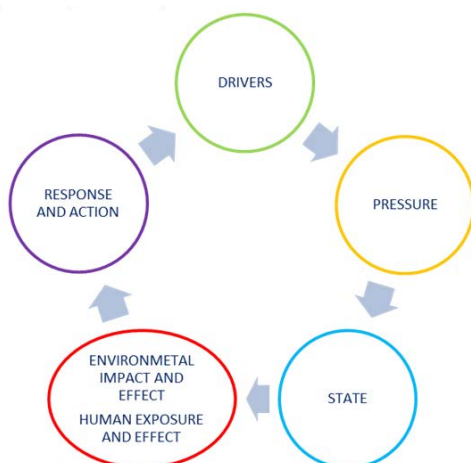
- lo "Studio epidemiologico sull'incidenza dei tumori nelle donne isontine" (2015). In questo lavoro è stata analizzata l'incidenza dei tre principali tumori (polmone, mammella e vescica) nella popolazione femminile, stimando anche l'effetto di potenziali fattori di confondimento o modificatori di effetto. L'analisi ha evidenziato tra le donne un eccesso di tumore alla vescica, senza tuttavia indicare la potenziale causa;
- lo "Studio epidemiologico ambientale. Inquinamento atmosferico e tumori, parte prima" (2016). Si è trattato di uno studio, finalizzato a verificare se esiste una relazione tra l'esposizione residenziale all'inquinamento atmosferico tra il 1995 e il 2009 e le patologie rilevate tramite la lettura e l'elaborazione dei dati contenuti nel registro tumori del FVG. I risultati dello studio hanno indicato l'assenza di eccessi di rischio di tumore per gli uomini e confermato l'eccesso di rischio di tumore della vescica nelle donne pari a 2 casi/anno (circa 30 casi in eccesso in 15 anni). Lo studio ha consentito di formulare l'ipotesi che sia il traffico veicolare ad avere un ruolo preminente nell'inquinamento ambientale e quindi nell'eccesso di tumori evidenziato nelle donne del Monfalconese;
- uno studio del CNR, presentato ad inizio del 2017, finalizzato a valutare il contributo delle emissioni della centrale termoelettrica conclude che l'impianto termoelettrico ha un'influenza molto ridotta sulle concentrazioni di particolato atmosferico attribuendo un maggior contributo al traffico veicolare e al riscaldamento domestico.
- è in via di conclusione l'analisi dello studio pilota di biomonitoraggio umano, finalizzato a misurare particolari microinquinanti (metalli e metalloidi) nella popolazione residente nei quartieri Panzano ed Enel, anche al fine di valutare la fattibilità di un più ampio studio di biomonitoraggio.

### IL FOCUS GROUP DI ARPA FVG

Nel 2016 ARPA ha costituito un focus group dedicato all'area di Monfalcone, le sue pressioni ambientali, tra cui in particolare la "centrale termoelettrica".

Il gruppo di lavoro è composto da personale qualificato e dà supporto tecnico alle attività istituzionali di monitoraggio, controllo e valutazione sui fattori determinanti potenziali rischi per la popolazione.

Come base di lavoro, il gruppo ha applicato una strategia riconosciuta da decenni dalla comunità scientifica internazionale, formulando un modello concettuale di sorveglianza ambientale e sanitaria, unendo i criteri e i principi presenti negli schemi Drivers Pressure Status Impact Response (DPSIR) dell'EEA e nei modelli Drivers Pressure Status Exposure Effect Action (DPSREEA) indicati dall'OMS.



### L'ELABORAZIONE DEL DATO AMBIENTALE

Per la valutazione degli inquinanti presenti nell'aria sono state utilizzate specifiche tecniche di interpolazione matematica partendo dai dati delle stazioni di monitoraggio di Arpa. I livelli di inquinamento sono stati definiti su una griglia regolare di 400x400 m.

L'area di indagine è stata determinata applicando un modello matematico di dispersione degli inquinanti prendendo come riferimento geografico il camino della centrale termoelettrica e come inquinante di riferimento l'ossido di azoto (NO<sub>2</sub>), per la sua natura gassosa e la capacità di disperdersi su ampie aree. Ciò ha permesso di individuare un'area di indagine costituita da 14 Comuni, dei quali 12 in Provincia di Gorizia, 1 in Provincia di Trieste e 2 in Provincia di Udine (fig. 2).

La concentrazione degli inquinanti in aria ricavati sulla griglia 400x400 m sono stati utilizzati per verificare l'esistenza di una associazione tra l'insorgenza di specifiche patologie (tumori, IMA, aborto) e l'esposizione a specifici inquinanti. Per una corretta analisi dei dati ambientali sono stati utilizzati come riferimento sia i valori limite indicati nel D.Lgs. 155/2010, sia i criteri delle linee guida WHO del 2005 (tab. 1).

**LE EMISSIONI**

Le emissioni vengono definite come la parte di inquinante prodotto direttamente dalle attività umane sorgenti di inquinamento e rilasciato nell'aria ambiente (fig. 3).

Le emissioni possono essere misurate con metodi indiretti e diretti.

INEMAR (INventario EMISSIONI ARia) [2] stima indirettamente il carico emissivo per ogni macro-settore industriale. In figura 4 è rappresentata la stima in percentuale della distribuzione degli inquinanti e del relativo carico emissivo per 7 settori, riferiti ai 14 Comuni Monfalconesi considerati nell'indagine epidemiologica ambientale.

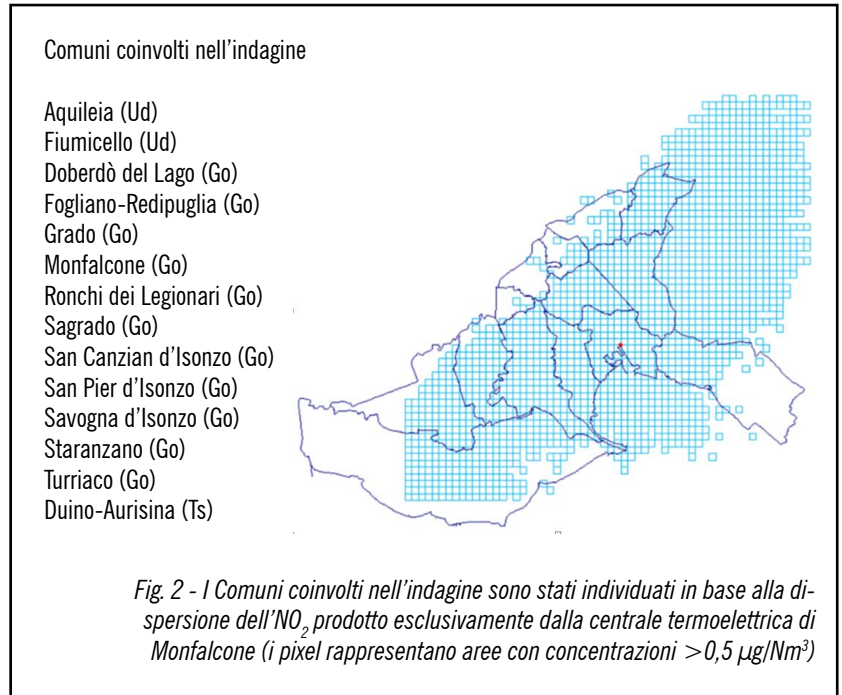
La valutazione delle emissioni per via **diretta** viene effettuata sui camini degli impianti industriali tramite i cosiddetti Sistemi di monitoraggio in continuo delle emissioni (SME).

In figura 5 è riportato un esempio di verifica puntuale dell'andamento delle emissioni di ossidi di azoto associate al gruppo 1 della centrale termoelettrica di Monfalcone dal luglio 2013 al luglio 2016. Il grafico permette di apprezzare l'efficacia dell'impianto di denitrificazione (De-Nox) attivato ad inizio 2016.

**LE IMMISSIONI**

Si definiscono immissioni le concentrazioni di inquinanti presenti nell'atmosfera. Tali inquinanti hanno diversa derivazione e sono sottoposti a processi fisici, chimici e biologici che ne modificano le caratteristiche. La componente immissiva può essere chiamata inquinamento atmosferico e non è sempre direttamente proporzionale alle emissioni.

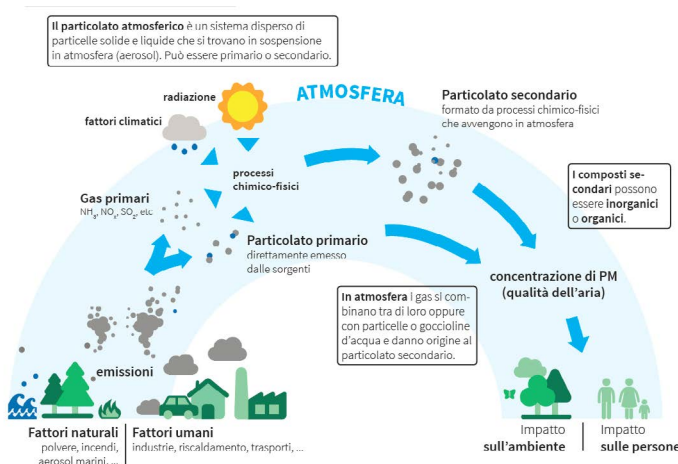
I modelli di dispersione consentono di **stimare** le immissioni degli inquinanti emessi anche da fonti industriali. Un esempio di stima delle immissioni mediante modelli di dispersione, a partire dalla misurazione delle emissioni, è rappresentato in figura 6. Nella figura è rappresentata la dispersione delle emissioni misurate dallo SME (Sistema di Monitoraggio in continuo delle



	D.Lgs. 155/2010		Air Quality Guideline	
	periodo di mediazione dati*	valore limite norma ambientale	periodo di mediazione dati*	valore limite indicazioni OMS
SO <sub>2</sub> valore limite	media 1 ora	350 µg/m <sup>3</sup> non più di 24 volte l'anno	media nei 10 minuti	500 µg/m <sup>3</sup>
	media nelle 24 ore	125 µg/m <sup>3</sup> non più di 3 volte l'anno	media nelle 24 ore	20 µg/m <sup>3</sup>
SO <sub>2</sub> soglia allarme	media 1 ora	500 µg/m <sup>3</sup>	-	-
NO <sub>2</sub> valore limite	media 1 ora	200 µg/m <sup>3</sup> non più di 18 volte l'anno	media 1 ora	200 µg/m <sup>3</sup>
	media annuale	40 µg/m <sup>3</sup>	media annuale	40 µg/m <sup>3</sup>
	1 ora	400 µg/m <sup>3</sup>	-	-
PM10 valore limite	media nelle 24 ore	50 µg/m <sup>3</sup> non più di 35 volte l'anno	media nelle 24 ore	50 µg/m <sup>3</sup> non più di 3 volte l'anno
	media annuale	40 µg/m <sup>3</sup>	media annuale	20 µg/m <sup>3</sup>
O <sub>3</sub> valore limite	media massima giornaliera calcolata su 8 ore	120 µg/m <sup>3</sup> non più di 25 volte l'anno come media su tre anni	media massima giornaliera calcolata su 8 ore	100 µg/m <sup>3</sup>

*Tab. 1 - Confronto tra i limite indicati nel D. Lgs. 155/2010 "Attuazione della direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell'aria ambiente per un'aria più pulita in Europa" e nelle linee guida WHO del 2005 "Air Quality Guideline for particulate, matter ozone, nitrogen, dioxine and sulfur dioxide".*

*\* Il periodo di mediazione dati" è il riferimento temporale relativo al "valore limite" indicato nella colonna più a destra*



*Fig. 3 - Rappresentazione grafica dei flussi di inquinanti prodotti dalle attività umane e loro destino nell'atmosfera*

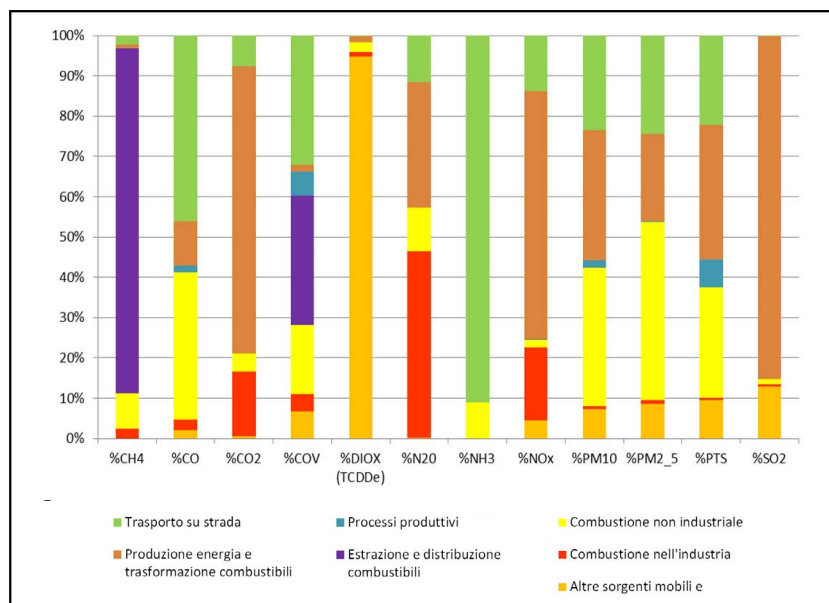
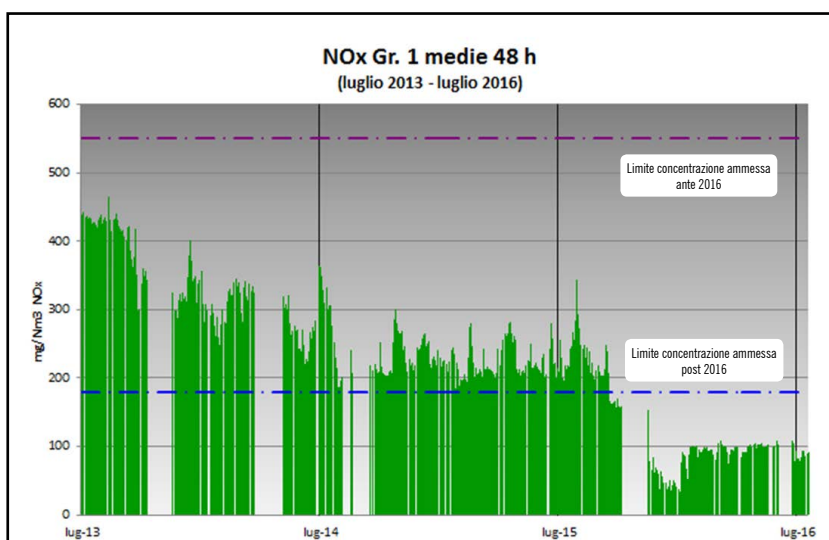


Fig. 4 - Stima in % della distribuzione degli inquinanti e del relativo carico emissivo in 7 macro-settori considerati. Dati riferiti ai 14 Comuni Monfalconesi considerati nell'indagine



Emissioni) nell'anno 2015 al camino della centrale termoelettrica di Monfalcone (altezza >150 m) con i due gruppi in funzione (Gruppo 1 e Gruppo 2). Il valore massimo al suolo delle concentrazioni medie annue di polveri totali sottili (PTS) è di 0,146  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , valore che se riferito al solo PM10 (che è parte del PTS) rappresenta meno dell'8 per mille del valore medio annuale indicato nelle linee guida del WHO, pari a 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

In figura 7 sono riportate le conclusioni dello studio Arianet del 2014 sul PM10 [3]. La mappa sintetizza, in modo congiunto, l'impatto sul territorio; ad ogni comparto emissivo considerato è stato attribuito un colore simbolico; ogni pixel sul dominio di calcolo è colorato in base all'apporto del comparto dominante rispetto agli altri.

Fig. 5 - Andamento delle emissioni di ossidi di azoto associate al gruppo 1 della centrale termoelettrica di Monfalcone. Periodo luglio 2013 - luglio 2016. La linea orizzontale blu indica il limite ammesso di emissione di NOx a partire dal 2016

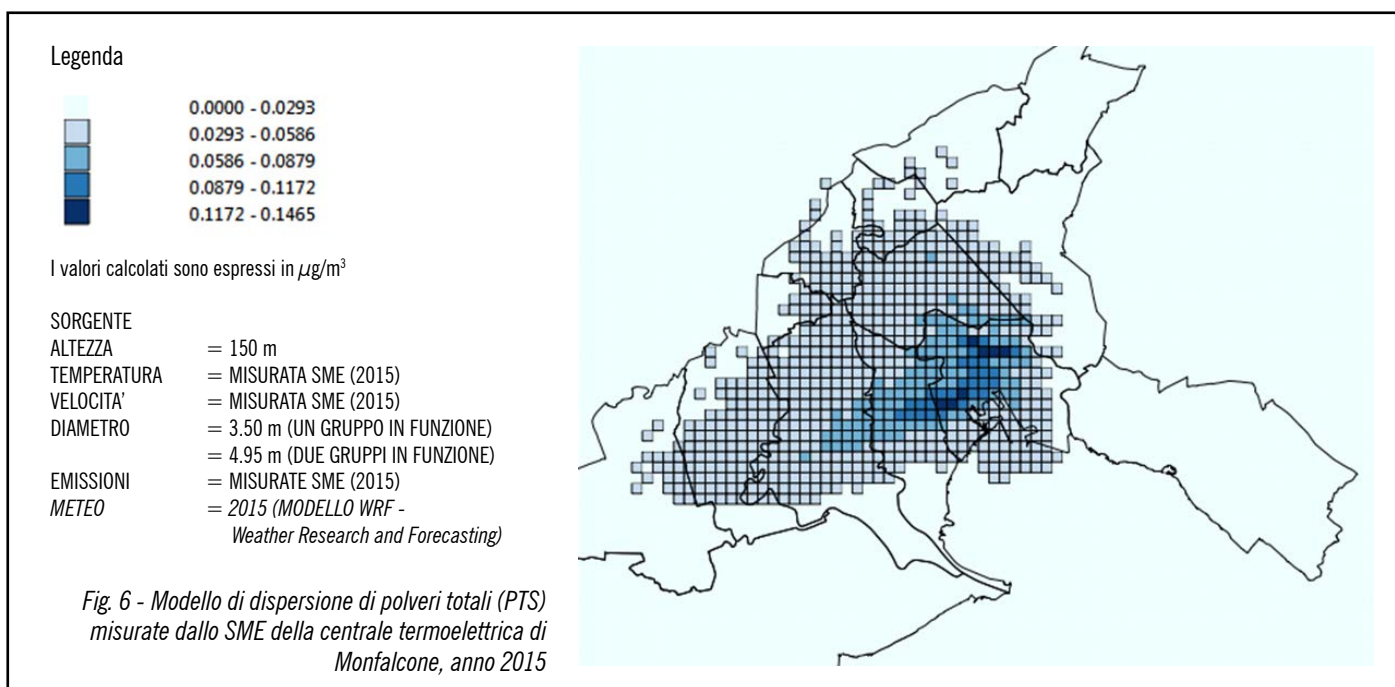


Fig. 6 - Modello di dispersione di polveri totali (PTS) misurate dallo SME della centrale termoelettrica di Monfalcone, anno 2015

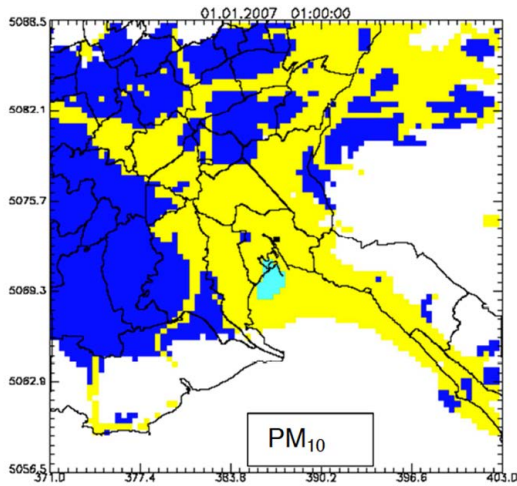
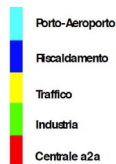
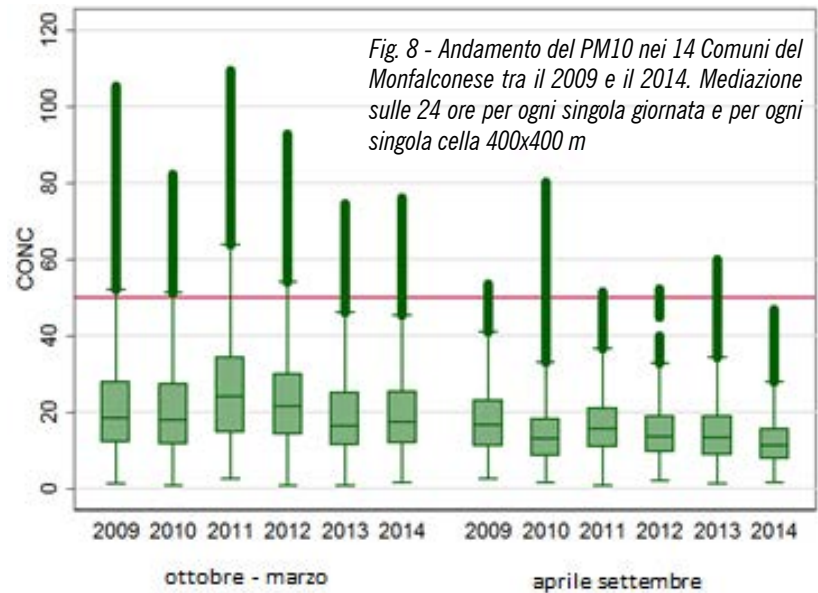


Fig. 7 - Mappa delle aree significative di impatto per il PM<sub>10</sub> – fonte: studio Arianet 2014



La **misura puntuale** delle immissioni viene fatta mediante le stazioni di misura della qualità dell'aria, che valutano le concentrazioni di inquinanti in aria ambiente. Nel box plot di figura 8 è rappresentato il trend del PM<sub>10</sub> nell'area dei 14 Comuni tra il 2009 e il 2014 partendo dai dati relativi al periodo di mediazione sulle 24 ore per ogni singola giornata e per ogni singola cella 400x400 m considerata. Per ogni anno sono rappresentati oltre un milione di dati di concentrazione risultanti dal prodotto giorno x numero celle.

I valori medi sono sempre al disotto dei limiti della normativa. Il box plot evidenzia comunque che ci sono dei valori massimi oltre il limite

indicato dal WHO di 50 µg/m<sup>3</sup>, in particolare nel periodo ottobre–marzo. Il fenomeno potrebbe essere ascrivibile ai frequenti episodi di ristagno atmosferico (anticicloni e avvezioni di aria calda in quota nel periodo autunnale ed invernale) come riscontrato anche nell'analisi dei determinanti meteorologici (ridotto numero di giorni ventilati e al ridotto apporto di precipitazioni). Rispetto al limite giornaliero previsto dal D.Lgs.155/2010, pari a 50 µg/m<sup>3</sup> da non superarsi più di 35 volte/anno, si osserva (tab. 2) che nel periodo 2009-2014 nel Monfalconese le PM<sub>10</sub> non hanno superato il limite di legge, a differenza di altre zone regionali ubicate prevalentemente nella media ed alta pianura.

Areale	Stazione Monitoraggio	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Monfalconese	Gorizia, v. Duca d'Aosta	11	15	21	13	12	18	23
	Doberdò a2a	na	na	na	na	na	5	9
	Fiumicello a2a	na	na	na	na	na	17	23
	Grado a2a	na	na	na	na	na	10	17
	Monfalcone a2a	na	na	na	na	na	13	14
	Monfalcone	1	0	12	9	3	9	12
	Ronchi a2a	na	na	na	na	na	13	18
	Udine, v. S. Osvaldo	na	na	32	18	13	16	26
	San Giovanni al Natisone	na	na	na	na	na	na	25
Media e alta pianura	Brugnera	na	na	66	49	42	28	77
	Castions d. Mura-Bagnaria A.	29	27	28	20	21	23	38
	Udine, v. Cairoli	na	na	30	17	15	22	28
	Torviscosa Edison, v. Marconi	27	25	21	22	33	26	37
	Torviscosa Malisana	29	26	42	21	27	29	39
	Pordenone, v.le Marconi	37	na	49	43	22	na	na
	Morsano al Tagliamento	na	na	na	na	na	14	36
	Pordenone centro	na	na	na	na	na	na	45
	Porcia	47	41	61	52	34	33	58
	Sacile	57	42	57	52	38	na	na
	Sacile 1	na	na	na	na	na	na	60
Udine, v. San Daniele	na	na	na	na	na	na	39	

Tab. 2 - PM<sub>10</sub>, giorni di superamento della soglia di 50 µg/m<sup>3</sup> medi giornalieri in un anno solare (in colore rosso le stazioni con superamento del limite di 35 giorni/anno)

## POPOLAZIONE IN STUDIO

Per poter stimare l'incidenza e mortalità di infarto attraverso i tassi standardizzati, è necessario disporre anche della popolazione residente nella medesima area di studio e nel medesimo periodo. Per gli scopi dell'analisi epidemiologica la popolazione in studio è stata estratta dal Sistema Informativo Sanitario Regionale, unica sorgente informativa corredata degli indirizzi georeferenziati. Sono stati selezionati i cittadini residenti dall'1 Gennaio 2004 al 31 Dicembre 2013 ed è stato calcolato per ogni singolo residente la durata della residenza come misura tempo/persona. Per poter calcolare i tassi standardizzati è stata estratta dal medesimo archivio la popolazione dell'area di confronto, pari alla province di Pordenone, Udine e Gorizia, con l'esclusione dei Comuni coinvolti nello studio.

## METODOLOGIA DELL'INDAGINE SANITARIA

L'associazione tra esposizione a specifici inquinanti atmosferici ed insorgenza di infarto miocardico acuto (IMA) è stata valutata mediante due approcci metodologici.

Un primo approccio di tipo descrittivo ha valutato gli **effetti a lungo termine** dell'esposizione agli inquinanti atmosferici e l'insorgenza di episodi di infarto miocardico acuto avvenuti tra il 1.1.2004 e il 31.12.2013. L'analisi descrittiva è stata focalizzata sul calcolo dei seguenti indicatori per differenti concentrazioni di inquinanti:

- tassi standardizzati d'incidenza considerando solo il primo episodio di infarto miocardico acuto;
- rapporto tra i tassi d'incidenza (Incidence Rate Ratio, IRR);
- rapporto standardizzato d'incidenza (Standardized Incidence Ratio, SIR);
- tassi standardizzati di mortalità per infar-

to miocardico acuto (Age Standardized Rate, ASR);

- rapporto standardizzato di mortalità (Standardized Mortality Ratio, SMR).

Un secondo approccio metodologico è, invece, focalizzato sugli **effetti acuti** dell'esposizione a **breve termine** a determinati inquinanti atmosferici e l'insorgenza di infarto miocardico acuto avvenuti tra il 1.1.2009 e il 31.12.2013. Per la valutazione degli effetti acuti dell'esposizione a breve termine sono stati considerati tutti gli episodi di IMA (primi e successivi episodi) avvenuti ad una persona. Tale analisi è basata su uno studio case-crossover con approccio "time-stratified". Secondo questo approccio il soggetto caso (cioè colui che ha l'evento di infarto miocardico acuto), è controllo di se stesso in tempi diversi rispetto al giorno dell'evento di infarto.

## ESPOSIZIONE AMBIENTALE

Per valutare gli effetti cronici a lungo termine dell'esposizione agli inquinanti atmosferici è stato adottato un modello di dispersione prendendo come anno di riferimento più rappresentativo (in termini di esposizioni medie annue) il 1998. Il modello di dispersione ha fornito le concentrazioni per ogni maglia 400x400 m degli ossidi di azoto ( $\text{NO}_2$ ), delle polveri sottili con diametro minore o uguale a 10 micron (PM10), del benzene ( $\text{C}_6\text{H}_6$ ) (fig. 9) e degli ossidi di zolfo ( $\text{SO}_2$ ) (fig. 10). Ad ogni soggetto sono stati poi associati (in base alla residenza) i valori medi di concentrazione del 1998 espressi in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  per i quattro inquinanti. Sono state oggetto d'analisi le aree definite dal modello al cui interno è risultato esserci almeno un residente in almeno un anno tra il 2004 e il 2013. Successivamente, sono state definite le diverse aree di esposizione e il rischio di infarto miocardico acuto, valutato in base ai terzili e ai quintili di esposizione ad ogni inquinante esaminato. Per valutare gli effetti acuti a breve termine sono stati utilizzati (sempre su matrice 400x400 m) i modelli di interpolazione relativi alla media giornaliera e al valore massimo orario degli ossidi di azoto ( $\text{NO}_2$ ), delle polveri sottili (PM10) e degli ossidi di zolfo ( $\text{SO}_2$ ). Inoltre, solo per l'ozono ( $\text{O}_3$ ) sono stati forniti i modelli di interpolazione, su base giornaliera, del valore massimo della media nelle 8 ore consecutive.

### Case cross over con approccio time-stratified (Lumley & Levy, Environmetrics 2000)

Il case-crossover è definito come un disegno particolare di caso-controllo in cui ogni soggetto con infarto è controllo di se stesso, cioè si confronta l'esposizione della medesima persona durante il giorno dell'IMA e dei 5 giorni precedenti, con l'esposizione in altrettanti giorni di controllo.

L'approccio "time-stratified" valuta l'esposizione negli stessi giorni (giorno controllo) della settimana all'interno dello stesso mese ed anno del giorno caso. Questo approccio permette di controllare i trend temporali di medio-lungo periodo, l'effetto "giorno della settimana" e tutte le caratteristiche del tempo variabili su scala maggiore del mese o costanti.

Il rischio associato all'esposizione è espresso in termini di Odd Ratio (OR): esso approssima il rischio relativo ed è pari al rapporto tra l'odds di malattia tra gli esposti ( $a/c$ ) e l'odds di malattia tra i non esposti ( $b/d$ ).

OR= $ad/bc$

		esposizione		
		+	-	
casi	a	b	totale casi	
	c	d		totale controlli
totale esposti		totale non esposti		

**INCIDENZA E MORTALITÀ DEGLI IMA SULL'INTERA AREA DI STUDIO - ESPOSIZIONI A LUNGO TERMINE**

Una prima analisi ha valutato i tassi standardizzati d'incidenza (ASR) (tab. 3 e di mortalità (ASR) (tab. 4) per l'infarto acuto del miocardio della popolazione nella zona in studio rispetto alla popolazione regionale, sia considerando una coorte fissa che dinamica. Le tabelle indicano che la popolazione residente nell'area in studio presenta un notevole aumento statisticamente significativo dei tassi di incidenza e mortalità di infarto acuto del miocardio standardizzati per età sia nei maschi, sia nelle femmine, ma con particolare riguardo a queste ultime. In particolare il SIR mostra un aumento del 30% del numero di casi incidenti di IMA tra le fem-

mine dell'area in studio, rispetto alle femmine dell'area di confronto della regione FVG; per i maschi, invece, l'aumento nell'area di studio è circa il 10% rispetto ai maschi del resto della regione FVG.

Le spiegazioni di questo importante eccesso di incidenza e mortalità di infarto miocardico acuto rispetto al resto della regione rilevato nel decennio 2004-2013 possono essere molteplici e richiedono un urgente lavoro, distinto dal progetto attuale, da condurre assieme ai responsabili regionali dell'osservatorio delle malattie cardiovascolari.

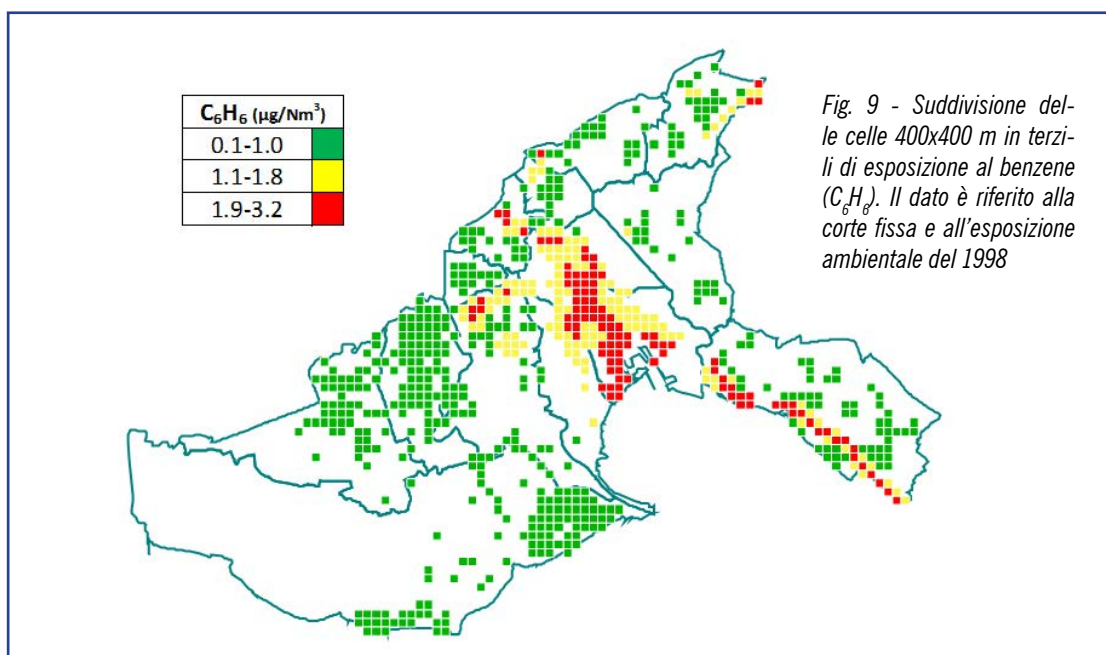
tab. 3	Tassi di incidenza standardizzati per 100.000 abitanti (ASR) nel periodo 2004-2013 (coorte fissa)									Rapporto tra IMA osservati e IMA attesi (SIR) nell'area in studio nel periodo 2004-2013 (coorte fissa)			
	Friuli Venezia Giulia				Area di studio (14 Comuni Monfalconese)				Osservati	Attesi	SIR	95% CI	
Sesso	Casi	PY	ASR	95% CI	Casi	PY	ASR	95% CI					
F	6392	2176436,8	162,5	158,4 - 166,6	852	201818,4	208,2	193,5 - 222,8	852	653,4	130,4	121,6 - 139,2	
M	7830	1977299,4	338,6	330,9 - 346,3	869	177492,9	381,1	354,3 - 407,9	869	791,3	109,8	102,5 - 117,1	

tab. 4	Tassi di mortalità standardizzati per 100.000 abitanti (ASR) nel periodo 2004-2013 (coorte dinamica)									Rapporto tra decessi per IMA osservati e attesi (SMR) nell'area in studio nel periodo 2004-2013 (coorte dinamica)			
	Friuli Venezia Giulia				Area di studio (14 Comuni Monfalconese)				Osservati	Attesi	SMR	95% CI	
Sesso	Casi	PY	ASR	95% CI	Casi	PY	ASR	95% CI					
F	5886	4627339,5	83,9	81,7 - 86,1	973	454331,3	136,5	127,8 - 145,2	973	658,7	147,7	138,4 - 157,0	
M	5319	4365334,3	154,3	150,0 - 158,7	725	434638,6	213,6	196,7 - 230,5	725	615,4	117,8	109,2 - 126,4	

**ESPOSIZIONE AI DIVERSI INQUINANTI ATMOSFERICI ESPOSIZIONI A LUNGO TERMINE**

La seconda parte dell'analisi ha riguardato invece i confronti interni all'area in studio ed era rivolta a identificare eventuali aumenti del rischio di infarto acuto del miocardio in funzione di aumenti dei livelli di esposizione a singoli inquinanti atmosferici. I valori degli inquinanti sono stati trattati sia come variabili continue, espresse per incrementi di concentrazione di  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , sia come variabili ordinali, ovvero in terzili o quintili delle concentrazioni relative degli inquinanti. Complessivamente queste analisi non hanno mostrato un chiaro aumento di rischio di infarto miocardico all'aumentare della concentrazione o della categoria di terzili o quintili di esposizione del singolo inquinante.

Sono state osservate però alcune situazioni di aumento del rischio di infarto acuto del miocardio per specifici agenti (benzene e  $\text{SO}_2$ ) e per sottogruppi di popolazione, anche se tra di loro questi risultati non sembrano coerenti o generalizzabili.



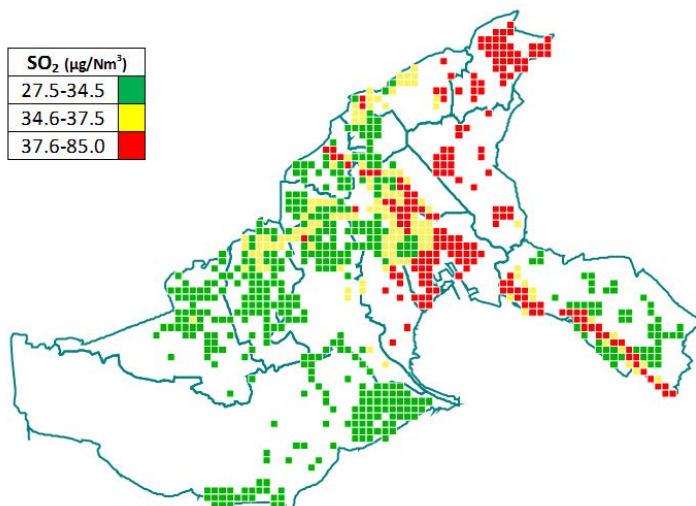


**BENZENE E  
BIOSSIDO DI ZOLFO -  
(TAB. 5)**

Le analisi degli effetti a lungo termine dell'esposizione a benzene mostrano nei maschi, ma non nelle femmine, che i tassi minori di infarto miocardico acuto si trovano ai livelli più bassi di concentrazione di benzene. Tuttavia questa relazione non è supportata da un chiaro trend di aumento dei tassi d'incidenza all'aumentare dell'esposizione al benzene. A partire da questi risultati, quindi, si può affermare che nell'area in studio le evidenze di un aumento dei casi inci-

denti di infarto miocardico acuto all'aumentare della concentrazione di benzene nell'aria siano internamente incoerenti e quindi non supportano un'interpretazione causale. Sia nei maschi che nelle femmine i tassi d'incidenza standardizzati per 100.000 abitanti (ASR) sono più bassi per concentrazioni di biossido di zolfo inferiore ai 30 µg/m<sup>3</sup> e aumentano, anche se in modo non significativo, per ogni 10 µg/m<sup>3</sup> di SO<sub>2</sub>.

Fig. 10 - Suddivisione delle celle 400x400 m in terzili di esposizione al biossido di zolfo (SO<sub>2</sub>). Il dato è riferito alla corte fissa e all'esposizione ambientale del 1998



		Maschi			Femmine		
		Casi	PY	ASR	Casi	PY	ASR
C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	< 1	222	54453,1	331,9	242	59346,1	213,7
	1-1.99999	497	91156,7	413,2	472	105877,6	209,3
	>= 2	150	31883,0	363,6	138	36594,7	198,1
SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	< 30	24	7159,9	272,3	20	7499,7	176,9
	30-39.999	687	138481,5	388,0	650	157777,2	205,8
	>= 40	158	31851,5	371,7	182	36541,6	221,5

Tab. 5 - Tassi di incidenza di infarto miocardico acuto standardizzati per 100.000 abitanti (ASR) per esposizioni a lungo termine (entro 10 anni) a benzene (incremento di 1µg/m<sup>3</sup>, coorte fissa) e SO<sub>2</sub> (incremento di 10 µg/m<sup>3</sup>)

**EFFETTI A BREVE  
TERMINE  
(ENTRO 5 GIORNI)  
DELL'ESPOSIZIONE**

Nelle femmine, ma non nei maschi, è presente un aumento significativo del rischio di infarto miocardico acuto per ogni incremento di 10 µg/m<sup>3</sup> di NO<sub>2</sub>, calcolato come concentrazione media del giorno dell'evento e dei 5 giorni antecedenti (tab. 6, lag 0-5). Per l'intera area d'indagine, nelle femmine il rischio di infarto miocardico acuto raddoppia per esposizioni a concentrazioni di PM10 maggiori di 50 µg/m<sup>3</sup> rispetto ad esposizioni a valori inferiori, calcolate come

media delle concentrazioni nel periodo lag 0-5; nei maschi l'aumento è invece del 50% (tab. 7). Nell'indagine sono state valutate separatamente anche delle sotto-aree. In particolare è stata valutata l'area circolare con raggio di 3.000 m con centro il camino della centrale termoelettrica (fig. 10). In tale area si evidenzia come per le femmine, il rischio di infarto miocardico acuto per valori di PM10 superiori a 50 µg/m<sup>3</sup> sia maggiore di 2-4 volte ri-

tab. 6 - NO <sub>2</sub>		Maschi				Femmine			
lag	Età	Giorno caso - giorni controllo > 10 µg/m <sup>3</sup>	Giorno caso - giorni controllo < 10 µg/m <sup>3</sup>	p-value	OR(a)	Giorno caso - giorni controllo > 10 µg/m <sup>3</sup>	Giorno caso - giorni controllo < 10 µg/m <sup>3</sup>	p-value	OR(a)
lag 0-1	0-85+	216	252	0.887	0.99	210	199	0.655	1.03
	<65	63	75	0.933	1.01	14	15	0.880	1.04
	>=65	153	177	0.818	0.98	196	184	0.616	1.04
lag 2-5	0-85+	206	195	0.833	1.02	177	147	0.216	1.11
	<65	56	54	0.238	0.83	17	8	0.855	1.06
	>=65	150	141	0.334	1,10	160	139	0.216	1,12
lag 0-5	0-85+	175	182	0.740	1.03	151	136	0.285	1.11
	<65	53	44	0.423	0.87	12	7	0.701	1.15
	>=65	122	138	0.390	1.09	139	129	0.258	1.12

Tab. 6 - Rischio (OR), stratificato per genere, d'aver un infarto miocardico acuto per diversi inquinanti e per periodi temporali (Lag) cumulati. Rischio per incrementi di 10 µg/m<sup>3</sup> del valore medio giornaliero di NO<sub>2</sub>

Tabelle 7, 8, 9 - Rischio (OR), stratificato per genere, d'avere un infarto miocardico acuto per diversi inquinanti e per periodi temporali (Lag) cumulati.

Tab. 7 - Rischio (OR) per valori medi giornalieri di PM10 maggiore a  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Tab. 8 - Rischio (OR) per valori medi giornalieri di PM10 maggiore a  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  nell'area entro 3.000 metri dal camino della centrale termoelettrica

Tab. 9 - Rischio (OR) per valori medi giornalieri di PM10 maggiore a  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  nell'area oltre 3.000 metri dal camino della centrale termoelettrica

tab.7 - PM10		Maschi				Femmine			
lag	Età	Giorno caso >50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e giorno ctrl <50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Giorno caso <50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e giorno ctrl >50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	p-value	OR(a)	Giorno caso >50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e giorno ctrl <50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Giorno caso <50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e giorno ctrl >50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	p-value	OR(a)
lag 0-1	0-85+	96	80	0.389	1.21	86	73	0.560	1.15
	<65	32	28	0.647	1.19	3(*)	2(*)	-(*)	-(*)
	>=65	64	52	0.424	1.24	83	71	0.610	1.13
lag 2-5	0-85+	89	60	0.102	1.50	103	51	0.004	1.98(b)
	<65	30	15	0.074	2.24	4(*)	1(*)	-(*)	-(*)
	>=65	59	45	0.400	1.29	99	50	0.007	1.94(b)
lag 0-5	0-85+	49	37	0.362	1.34	66	33	0.022	2.03(b)
	<65	12	12	0.872	1.11	0(*)	1(*)	-(*)	-(*)
	>=65	37	25	0.288	1.49	66	32	0.019	2.07(b)

tab. 8 - PM10 a distanza inferiore a 3.000 m dal camino della centrale termoelettrica

lag 0-1	0-85+	41	29	0.256	1.50	29	19	0.270	1.59
	<65	13	12	0.723	1.26	0(*)	0(*)	-(*)	-(*)
	>=65	28	17	0.197	1.76	29	19	0.270	1.59
lag 2-5	0-85+	24	23	0.942	0.97	50	18	0.004	2.85(b)
	<65	12	5	0.149	3.12	0(*)	0(*)	-(*)	-(*)
	>=65	12	18	0.328	0.53	50	18	0.004	2.85(b)
lag 0-5	0-85+	16	12	0.747	1.21	20	6	0.033	3.79(b)
	<65	8	4	0.238	3.07	0(*)	0(*)	-(*)	-(*)
	>=65	8	8	0.726	0.76	20	6	0.033	3.79(b)

tab. 9 - PM10 a distanza superiore a 3.000 m dal camino della centrale termoelettrica

lag 0-1	0-85+	55	51	0.838	1.06	57	54	0.999	1.00
	<65	19	16	0.938	1.04	3(*)	2(*)	-(*)	-(*)
	>=65	36	35	0.930	1.03	54	52	0.941	0.98
lag 2-5	0-85+	65	37	0.044	1.80(b)	53	33	0.213	1.50
	<65	18	10	0.233	1.97	4(*)	1(*)	-(*)	-(*)
	>=65	47	27	0.104	1.75	49	32	0.283	1.44
lag 0-5	0-85+	33	25	0.407	1.38	46	27	0.145	1.69
	<65	4(*)	8(*)	-(*)	-(*)	0(*)	1(*)	-(*)	-(*)
	>=65	29	17	0.167	1.82	46	26	0.123	1.75

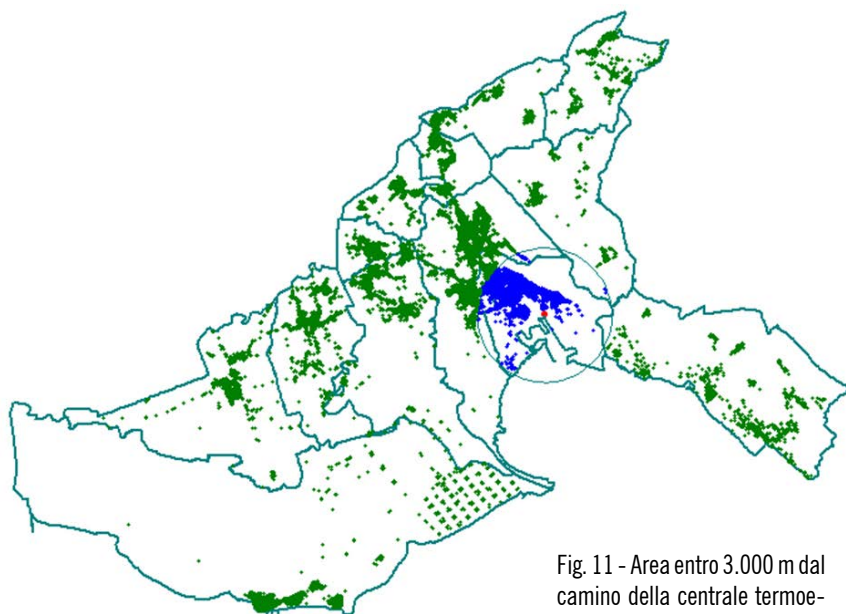


Fig. 11 - Area entro 3.000 m dal camino della centrale termoelettrica di Monfalcone (in blu i residenti entro i 3.000 metri)

spetto a valori di esposizione inferiori a  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (tab. 8).

All'esterno del cerchio 3.000 m di raggio (popolazione in verde in fig. 11) sono stati registrati alcuni aumenti di rischio per esposizioni a valori di PM10 maggiori a  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , ancorché non statisticamente significativi. Ad esempio, per gli uomini residenti oltre i 3.000 metri dal camino della centrale, esposti a concentrazioni maggiori a  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , c'è un aumento di rischio, che non è evidente nell'area entro i 3.000 metri (tab. 9).

## CONSIDERAZIONI E CONCLUSIONI

L'aumento statisticamente significativo di alcuni tassi di incidenza e mortalità di infarto acuto del miocardio nei 14 Comuni del Monfalconese al momento non può essere attribuito complessivamente a una singola causa. I risultati sono talvolta internamente incoerenti e ciò richiede un approfondimento anche al di là delle attività e delle competenze dell'Osservatorio Ambiente Salute. Particolare cautela va posta nell'interpretare i risultati perché basati su dati di recente produzione regionale, non provenienti, a differenza del precedente studio sui tumori, da un Registro di Malattia validato di decennale utilizzo, né certificati da istituzioni esterne accreditate.

Relazioni causali tra gli inquinanti atmosferici e alcuni effetti sulla salute dell'inquinamento atmosferico sono state dimostrate da tempo [1]. Tra gli effetti cardiovascolari, tra cui in particolare l'IMA, sono incluse le associazioni con SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> e polveri.

Questi effetti sono descritti in una recente pubblicazione, la cui lettura si rivela utile anche ad interpretare da un punto di vista biologico i risultati come quelli presentati in questa sintesi [4]. In breve, per effetti di particelle molto fini, gas o metalli di transizione che attraversano l'epitelio polmonare e raggiungono il circolo ematico, si potrebbe determinare instabilità della placca vascolare o l'innescare di disturbi aritmici del cuore. Questi effetti diretti dell'inquinamento atmosferico rappresentano una spiegazione plausibile della rapida (entro poche ore) risposta cardiovascolare. Un meccanismo indiretto mediato dallo stress ossidativo può provocare anche a lungo termine un indebolimento delle difese antiossidanti e un conseguente aumento dell'infiammazione in varie sedi dell'organismo, miocardio compreso.

I risultati dello studio evidenziano nelle femmine, in particolare con età superiore ai 65 anni,

il raddoppio del rischio di IMA entro 5 giorni da un picco di concentrazione di PM<sub>10</sub>>50 µg/m<sup>3</sup>. Ciò non esclude la presenza di effetti anche a più bassi livelli di PM<sub>10</sub> o per altri inquinanti, poiché l'assenza di significatività statistica dipende principalmente dalla numerosità campionaria, non allargabile all'interno della realtà monfalconese. Eventuali approfondimenti sulle cause ambientali dell'IMA in FVG andrebbero estesi a popolazioni di numerosità decisamente maggiore.

La differenza di rischio stimata per l'intera area di studio e per l'area entro i 3.000 m dalla centrale termoelettrica può essere spiegata dalla concomitanza di diversi fattori. In primo luogo possono esserci all'interno di quell'area altri fattori di rischio non indagati, che possono agire come modificatori di effetto, in sinergia con l'inquinante PM<sub>10</sub>, come, ad esempio, le esposizioni occupazionali e l'abitudine al fumo. Tuttavia, vista la particolare metodologia "case crossover" adottata, nella quale lo stesso soggetto viene confrontato con se stesso, è necessario approfondire, oltre ai confondenti relativi allo stile di vita, anche ulteriori modificatori di effetto che probabilmente agiscono come cofattore determinante dell'infarto miocardico acuto.

Per quanto riguarda l'origine del PM<sub>10</sub>, gli studi finora condotti nell'area del Monfalconese indicano che le polveri sono da imputare non alla sola centrale termoelettrica, ma principalmente ad altre e diverse fonti di pressione, caratterizzate sia da emissioni puntuali sia diffuse.

A tale proposito è opportuno che questa informazione venga utilizzata dagli Enti coinvolti nelle attività di controllo ambientale e di prevenzione sanitaria al fine di mettere in atto nuove azioni e decisioni, anche a livello regionale, che consentano di chiarire le concause degli eccessi di patologia riscontrati nell'area monfalconese.

### Bibliografia

[1] WHO Air quality guidelines for particulate matter ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide  
[http://www.who.int/phe/health\\_topics/outdoorair/outdoorair\\_aqg/en/](http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/outdoorair_aqg/en/)

[2] Revisione pubblica dell'inventario emissivo regionale (INEMAR), anno 2010  
[http://cmsarpa.regione.fvg.it/cms/tema/aria/notizie/2014/news/notizia0015\\_2014.html](http://cmsarpa.regione.fvg.it/cms/tema/aria/notizie/2014/news/notizia0015_2014.html)

[3][http://www.a2aenergiefuture.eu/gruppo/export/sites/default/ene/impianti/documenti\\_impiantri/ARIA-NET-R2014.23-MONFALCONE.pdf](http://www.a2aenergiefuture.eu/gruppo/export/sites/default/ene/impianti/documenti_impiantri/ARIA-NET-R2014.23-MONFALCONE.pdf)

[4] Sarno G, Maio S, Simoni M, Baldacci S, Cerrai S, Viegi G e il Gruppo Collaborativo EPIAIR2 Inquinamento atmosferico e salute umana. Ovvero come orientarsi nella lettura e interpretazione di studi ambientali, tossicologici ed epidemiologici. *Epidemiol Prev* 2013; 37 (4-5),

