



Consiglio Nazionale delle Ricerche
IFC - Istituto di Fisiologia Clinica



Comune di Venafro



Studio EPIVenafro+7

Luglio 2022

*Accordo di collaborazione scientifica tra IFC-CNR e Comune di Venafro
protocollo n. 334/2020 del 21/01/2020*

*Studio finanziato dalla Regione Molise
Determinazione del Direttore Generale per la Salute N. 60 del 01-08-2019*

***Realizzazione di uno studio di coorte residenziale
basato sulla ricostruzione del profilo di mortalità e morbosità
in associazione con rischi ambientali***

Relazione finale

Luglio 2022

A cura del Gruppo di Lavoro Interdisciplinare:



Istituto di Fisiologia Clinica del CNR, Pisa (IFC-CNR)

Coordinamento scientifico e realizzazione di studi epidemiologici su ambiente e salute

Fabrizio Minichilli – Responsabile Scientifico della convenzione tra IFC-CNR e Comune di Venafro e responsabile dello studio di coorte EPIVenafro+7 ha collaborato alla costruzione della rete degli esperti e al rapporto con le istituzioni locali competenti, alla raccolta dei dati, alla definizione della metodologia epidemiologica e statistica, alla ricostruzione della storia residenziale e sanitaria, alla analisi dei dati, all'attribuzione dell'esposizione e alla parte geografica, alla discussione dei risultati e alla stesura del presente documento;

Liliana Cori – responsabile scientifica della convenzione tra IFC-CNR e Comune di Venafro, ha collaborato alla definizione del protocollo di studio, alla stesura della documentazione su privacy ed etica, alla costruzione della rete degli esperti e al rapporto con le istituzioni locali competenti, alla discussione dei risultati, alle attività di comunicazione;

Elisa Bustaffa – ha collaborato allo studio di coorte residenziale attraverso la costruzione il rapporto con le istituzioni locali competenti, la raccolta dei dati, la ricostruzione della storia residenziale e sanitaria, alle procedure di *record linkage*, alla discussione dei risultati, alle attività di comunicazione, al rapporto e alla stesura del presente documento;

Fabrizio Bianchi – coordinatore dello studio fino a luglio 2020, ha collaborato alla definizione del protocollo di studio, alla costruzione della rete degli esperti e al rapporto con le istituzioni locali competenti, alla discussione dei risultati, alle attività di comunicazione.



Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima del CNR, Lecce (ISAC-CNR)

Modelli di diffusione e mappatura degli inquinanti

Cristina Mangia - ha contribuito alla messa a punto della modellistica meteodiffusiva, alla caratterizzazione meteorologica e di qualità dell'aria. Ha contribuito alla valutazione dell'esposizione ambientale.

Marco Cervino - ha contribuito alla discussione su elaborazione e risultati dell'esposizione ambientale, raccolto e preparato i dati di emissione degli impianti industriali, preparato e partecipato alle attività di comunicazione.

Premessa

La presente relazione finale è suddivisa in tre sezioni. Tutte le attività di ricerca sono state svolte in stretta e continua collaborazione e confronto sia tra i ricercatori afferenti ai vari Istituti sia tra tutte le figure che hanno collaborato e contribuito alla realizzazione del progetto attraverso scambi di opinioni, discussioni e confronti.

Sezione 1 – Studio di coorte EPIVenafro+7, pp. 1-56, a cura di Elisa Bustaffa e Fabrizio Minichilli (Unità di Epidemiologia Ambientale e Registri di Patologia, Istituto di Fisiologia Clinica, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Pisa);

Sezione 2 – La componente ambientale dello studio EPIVenafro+7, pp. 63-124, a cura di Cristina Mangia e Marco Cervino (Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima – Consiglio Nazionale delle Ricerche, Lecce);

Sezione 3 – Attività di comunicazione e rapporto col territorio nello studio EPIVenafro+7, pp. 125-129, a cura di Liliana Cori (Laboratorio di Comunicazione in aree a rischio, Istituto di Fisiologia Clinica, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Pisa).

Il Gruppo di Lavoro ringrazia

il Comune di Venafro, in particolare il Sindaco Avv. Alfredo Ricci, l'Assessore all'Ambiente Dario Ottaviano, il responsabile scientifico della Convenzione tra Comune di Venafro e IFC-CNR Dr. Mario Giovanni Barone, Segretario Generale del Comune di Venafro, il DPO Dr. Gianluca Angelicola, il referente per la privacy Marco Verrengia e l'Ufficio Anagrafe per aver partecipato attivamente fin dall'inizio allo studio EPIVenafro+7 e averne reso possibile la realizzazione;

i Comuni di Venafro, Conca Casale, Filignano, Macchia d'Isernia, Montaquila, Monteroduni, Pozzilli e Sesto Campano, in particolare i Sindaci e gli Uffici Anagrafe per aver fornito i dati anagrafici per lo studio di coorte;

la Regione Molise per aver finanziato lo Studio Epidemiologico EPIVenafro+7;

l'Azienda Sanitaria Regionale del Molise (ASReM), in particolare il Dr. Giorgio di Giovanni, Responsabile S.S.D. Innovazione, piani e progetti e telemedicina e la Dr.ssa Carmen Montanaro, Direttore UOC RENCAM Regionale, Dipartimento Unico Regionale della Prevenzione, per aver fornito i dati sanitari degli otto comuni in studio;

l'Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente Molise (ARPAM), in particolare il Dr. Bernardino Principi, ARPA Servizi Generali, e il Dr. Luigi Pierno, ARPA Inquinamento atmosferico, per la continua disponibilità e dialogo costruttivo;

l'Associazione Onlus Mamme per la Salute e l'Ambiente Venafro, per aver partecipato attivamente fin dall'inizio allo sviluppo dello studio EPIVenafro+7, per aver fornito supporto e continuo confronto e sollecitazioni;

l'Associazione Italiana Medici per l'Ambiente, ISDE Italia, per la costante presenza e supporto al lavoro di studio e presenza sul territorio.

l'Istituto Omnicomprensivo "A. Giordano", in particolare il Dirigente Scolastico Marcellino d'Ambrosa, il Dirigente I.C. Don Giulio Prof. Marco Viti, il Dirigente I.C. Leopoldo Pilla Prof. Pino De Stavola, le studentesse e gli studenti dell'Istituto "A. Giordano", per aver reso possibile le giornate di formazione su ambiente e salute;

il Dr. Massimo Stafoggia, Servizio Sanitario Regione Lazio, per aver fornito le mappe di dispersione degli inquinanti;

il Dr. Nicola Caranci, Agenzia Sanitaria e Sociale Regionale, Regione Emilia Romagna, Bologna, e il Dr. Aldo Rosano, Servizio Statistico Istituto Nazionale per le Analisi delle Politiche Pubbliche Roma, per aver fornito l'indice di deprivazione socio-economica;

la Dr.ssa Cristina Imiotti e la Dr.ssa Rosanna Panini, Istituto di Fisiologia Clinica del CNR Pisa, per il supporto di attività tecniche e di segreteria.

***Realizzazione di uno studio di coorte residenziale
basato sulla ricostruzione del profilo di mortalità e morbosità
in associazione con rischi ambientali***

Executive Summary

Luglio 2022

Executive Summary – Lo studio di coorte EPIVenafro+7

Introduzione - L'area della conca Venafrana è da molti anni caratterizzata dalla presenza di due sorgenti emissive principali (Termovalorizzatore HERAmbiente ed il cementificio Colacem S.p.A) e da una pressione ambientale dovuta ad un intenso traffico, pesante e non. L'impatto ambientale e le osservazioni non sistematiche di addensamenti di malattie e decessi hanno costituito elementi di preoccupazione di gruppi di cittadini e associazioni locali e regionali che nel passato decennio si sono impegnati per la realizzazione di uno studio indipendente su ambiente e salute. La prima indagine descrittiva del 2017 nei comuni di Venafro, Pozzilli e Sesto Campano, metteva in luce risultati, sostanzialmente allineati tra ospedalizzazione e mortalità, indicativi di una criticità a carico delle malattie del sistema circolatorio ed eccessi per le malattie respiratorie in entrambi i sessi solo nel caso dei ricoveri. Per le sole donne, inoltre, emergevano eccessi di mortalità per i tumori nel loro complesso in particolare a carico della mammella. Successivamente alla presentazione pubblica nel 2018 di questi risultati, seguirono numerosi incontri con gli amministratori di Venafro e con gli altri soggetti attivi sul territorio, con i quali fu concordata la stesura di un primo protocollo di massima dello studio da eseguire allargando l'area di studio a Venafro con i 7 comuni limitrofi (Conca Casale, Filignano, Montaquila, Monteroduni, Macchia d'Isernia, Pozzilli, Sesto Campano), da qui il nome del progetto "EPIVenafro+7". Nel 2019 veniva definito il protocollo di studio e intensificato il confronto con le istituzioni locali (Comune di Venafro coordinatore degli altri Comuni) e regionali (Agenzia Sanitaria Regione Molise e Associazione Regionale Protezione Ambiente Molise), e incontri con associazioni locali e regionali, in particolare Mamme per la Salute e l'Ambiente Onlus e Associazione Medici per l'Ambiente Isde-Molise. Il 21-1-2020 prendeva avvio la convenzione tra il Comune di Venafro e l'Istituto di Fisiologia Clinica del Consiglio Nazionale delle Ricerche per realizzare uno studio epidemiologico eziologico, nello specifico uno studio di coorte residenziale retrospettivo basato sulla ricostruzione del profilo di mortalità e morbosità in associazione con rischi ambientali (Studio EPIVenafro+7) associato a due impianti industriali della zona.

Lo studio di coorte - Lo studio di coorte è considerato il disegno epidemiologico più avanzato per analizzare gli effetti a medio-lungo termine sulla salute determinati da potenziali fonti di inquinamento. L'obiettivo principale di questa tipologia di studio in ambiente e salute è quello di valutare il rischio per la salute di una coorte di residenti in un definito periodo di *follow-up* rispetto all'inquinamento dovuto sia a singole fonti sia a più sorgenti considerate complessivamente, tenendo conto di fattori di rischio individuali (l'età, il sesso) e di contesto (la deprivazione socio-economica di area di residenza). Lo studio di coorte, inoltre, ha il vantaggio di stimare sia il tempo in cui ogni soggetto è considerato a rischio di evento sanitario sia le esposizioni, utilizzando misure individuali basate su modelli matematici di diffusione degli inquinanti prodotti dagli impianti oggetto di indagine.

Lo studio EPIVenafro+7 - L'obiettivo dello studio è quello di valutare il rischio sanitario dei residenti esposti alle diverse fonti di inquinamento atmosferico considerate, tenendo conto di fattori di rischio individuali, come l'età, il sesso e lo stato socio-economico. In base alle evidenze scientifiche sugli effetti sulla salute indotti

dall'inquinamento atmosferico sono state selezionate le cause da studiare, rappresentate dalle malattie del sistema nervoso, circolatorio e dell'apparato respiratorio. Sono state, inoltre, prese in esame alcune patologie cancerogene per un'analisi puramente descrittiva. Per poterle analizzare in associazione alle pressioni ambientali del territorio, infatti, avremmo dovuto avere a disposizione dati di incidenza oncologica risalenti ad almeno venti anni fa (corrispondente al tempo di induzione-latenza relativo a questa tipologia di cause). La scelta di questi *outcome* è supportata anche dalle nuove linee guida per la qualità dell'aria, pubblicate dall'Organizzazione Mondiale della Sanità a settembre 2021.

I dati sanitari per le analisi di mortalità e ospedalizzazione sono stati ricavati dal Registro Nominativo delle Cause di Morte e dalle Schede di Dimissione Ospedaliera. I dati del Registro Tumori essendo limitati a pochi anni disponibili (2009-2013) e i Certificati di Assistenza al Parto, necessitando di un lavoro su dati routinari *ad hoc*, non hanno consentito di effettuare le analisi.

La coorte di EPIVenafro+7 è costituita da 29.495 soggetti georeferenziati (ai quali è stata assegnata la coordinata geografica della residenza) degli otto comuni di Filignano, Venafro, Montaquila, Macchia d'Isernia, Conca Casale, Monteroduni, Pozzilli e Sesto Campano per il periodo di *follow-up* 2006-2019. La coorte è aperta e dinamica: per ogni soggetto, infatti, è stata ricostruita la storia residenziale per l'intero periodo in studio considerando i movimenti migratori in uscita ed in entrata nell'area e all'interno dell'area, le nascite e i decessi dei residenti nell'area, avvenuti durante l'intero periodo di *follow-up*. Per ogni soggetto georeferenziato è stata ricostruita anche la storia di esposizione intra-area durante il periodo di studio considerando i movimenti migratori all'interno dell'area. Nel dettaglio, ad ogni indirizzo georeferenziato è stata attribuita la concentrazione di ossidi di azoto (NO_x) (inquinante *proxy* per le esposizioni di tipo industriale) e di PM_{2,5} (inquinamento atmosferico) in quella precisa coordinata (vedi sezione “*Componente ambientale dello Studio EPIVenafro+7*”). Ogni esposizione individuale è stata classificata secondo 4 livelli di esposizione (classe 1 meno esposta (di riferimento); classe 2; classe 3; classe 4 con maggior esposizione) a inquinamento atmosferico, sia per gli NO_x da impianti (classe 1: 0,01-0,27 µg/m³; classe 2: 0,27-0,49 µg/m³; classe 3: 0,49-1,02 µg/m³; classe 4: 1,02-2,45 µg/m³) sia per il PM_{2,5} da inquinamento atmosferico generalizzato (classe 1: 6,8-13,3 µg/m³; classe 2: 13,3-15,1 µg/m³; classe 3: 15,1-17,1 µg/m³; classe 4: 17,1-20,2 µg/m³).

Da notare che il protocollo inizialmente prevedeva lo studio degli esiti sanitari in associazione ai soli impianti del cementificio e del termovalorizzatore. Per dare un quadro più completo relativo all'impatto ambientale e sanitario sul territorio in accordo con le associazioni e le istituzioni si è ritenuto importante inserire come fonte puntuale anche il termovalorizzatore di San Vittore; inoltre è stata effettuata un'analisi epidemiologica (non prevista inizialmente) utilizzando come esposizione all'inquinamento atmosferico da fonti generalizzate la mappa delle concentrazioni di PM_{2,5}.

Sono state effettuate analisi separatamente per associazioni di rischio con le esposizioni agli NO_x e a PM_{2,5}. Per studiare le associazioni di rischio di mortalità/morbidità causa-specifica della coorte con le esposizioni di interesse è stato utilizzato un modello di regressione multipla di Cox tempo-dipendente. L'indicatore di salute utilizzato è il rapporto tra i rischi (*Hazard Ratio* – HR), ovvero il rapporto tra il rischio di morte/ospedalizzazione della popolazione nelle classi più esposte a inquinamento atmosferico, prendendo

come riferimento il rischio di morte/ospedalizzazione della popolazione nella classe a minore esposizione. In particolare, gli HR sono stati aggiustati per classi di età (0-44; 45-54; 55-64; 65-74; 75-84, 85+), vicinanza o meno alle strade selezionate nei metodi e per classi di Indice di Deprivazione socio-economica (ID) (5 classi di ID: bassa, medio-bassa, media, medio-alta, alta); sono corredati sia dall'Intervallo di Confidenza al 95% di probabilità (IC95%) sia dalla forza dell'evidenza empirica a favore dell'ipotesi di associazione tra inquinanti in studio e rischio di mortalità/ospedalizzazione (1-*p*, con valori compresi tra 0 e 1). Per ogni causa di morte e ricovero in studio è stato inoltre calcolato il trend dei rischi di mortalità/ospedalizzazione causa-specifica all'aumentare di 1 µg/m³ di inquinante, corredato dal *p-value*.

I risultati - Per quanto riguarda l'esposizione della popolazione alle emissioni dei principali impianti presenti nell'area in studio (due termovalorizzatori ed un impianto di produzione di cemento), si osserva che l'area più esposta (valori medi annuali della “proxy” NO_x compresi tra 1,02 µg/m³ e 2,45 µg/m³), oltre ad essere caratterizzata da un'estensione geografica limitata (comprendente sia una porzione del territorio comunale di Sesto Campano a sud del cementificio, sia una piccola area al confine tra Pozzilli e Montaquila a nord del termovalorizzatore di Pozzilli), ha al suo interno una popolazione di dimensione ridotta pari a 359 soggetti (1,22% del totale) mentre nell'area 3, identificata da un'area estesa, il numero di soggetti residenti è più elevato ed è pari a 4.820 (16,34% del totale), anche se è da notare che per tale area i valori della “proxy” NO_x da impianti è compreso tra 0,49 e 1,02 µg/m³. Da notare che la mappa della “proxy” NO_x da impianti fornisce indicazioni di un non significativo contributo da parte del termovalorizzatore di San Vittore.

Lo studio di coorte residenziale retrospettivo EPIVenafro+7, per esposizioni alla “proxy” NO_x, ha messo in evidenza eccessi di rischio di mortalità/ospedalizzazione per tutte le cause, in particolare per le malattie del sistema circolatorio tra i soggetti in classe 3 e per alcuni sottogruppi delle malattie cardiovascolari tra quelli più esposti, anche se di debole entità. Le analisi condotte prendendo in considerazione l'esposizione all'inquinamento atmosferico da PM_{2,5}, mostrano che se da un lato tutta la coorte è esposta a valori medi annuali inferiori al limite di legge di 25 µg/m³, dall'altro è esposta a valori superiori al valore ultimo a cui tendere di 5 µg/m³ raccomandato dalle nuove linee guida per la qualità dell'aria, indicate dall'Organizzazione Mondiale della Sanità nell'ultimo report pubblicato a settembre 2021. Le analisi epidemiologiche per l'esposizione a PM_{2,5}, (inquinante che si riferisce a tutte le altre fonti emissive del territorio) si evidenziano eccessi significativi di mortalità/ospedalizzazione per le malattie cardiovascolari in entrambi i sessi e per le malattie del sistema nervoso tra i soli uomini, eccessi di mortalità per le malattie respiratorie tra i soli uomini e per il tumore della mammella tra le sole donne, anche se quest'ultimo è riportato a solo scopo descrittivo.

Conclusioni e raccomandazioni - I risultati per l'esposizione alla “proxy” NO_x derivante da impianti forniscono alcuni segnali per quanto riguarda l'esposizione agli inquinanti emessi nell'area in studio e l'insorgenza di patologie croniche anche se corredati da una significativa incertezza da approfondire con ulteriori studi analitici. Da considerare che gli eccessi ottenuti per le malattie cardiovascolari si osservano solo in classe 3 e non in quella più esposta. In quest'ultima, i pochi eccessi osservati sono affetti da significativa incertezza a causa dell'esigua numerosità degli esposti e di conseguenza al basso numero di casi osservati. L'entità degli eccessi riscontrati non è allarmante ma sicuramente viene messa in luce una situazione che

fornisce una serie di segnali meritevoli di ulteriori approfondimenti includendo stili di vita e altri fattori di rischio individuali.

Nonostante i nostri risultati siano sostanzialmente in linea con la letteratura scientifica, la mole di studi/rassegne sistematiche/metanalisi prodotta ancora negli ultimi anni concorda sul fatto che il $PM_{2,5}$ è l'inquinante che desta più preoccupazione. Da qui si deduce che è necessario approfondire ancora le eventuali associazioni tra l'esposizione ad inquinamento atmosferico ed effetti sulla salute mediante tipologie di studi più accurati cercando anche di scendere nello specifico cercando di caratterizzare la natura del particolato. Anche se lo studio di coorte è uno dei disegni di studio più avanzati, l'incertezza delle stime può essere ridotta sia affinando tale metodologia, migliorando accuratezza e precisione dell'esposizione, sia utilizzando altre metodologie di indagine analitica che l'epidemiologia mette a disposizione e che potrebbero rappresentare strategie da utilizzare in futuro per approfondire gli eccessi di rischio evidenziati dallo studio EPIVenafro+7. In particolare, si raccomandano i seguenti approfondimenti:

- studio di coorte migliorando accuratezza e precisione dell'esposizione con particolare riferimento alla speciazione chimica del particolato e all'utilizzo di matrici di esposizione lavorativa;
- studio di coorte utilizzando come indicatore di salute il CeDAP – per effettuare tale analisi è necessario un lavoro ad hoc che miri al miglioramento del dato routinario per poterlo successivamente utilizzare a scopo epidemiologico;
- studio di coorte utilizzando come indicatore di salute il Registro Tumori – a tal fine è necessaria l'implementazione di tale registro fino all'ottenimento di un adeguato numero di anni in modo da consentire analisi di associazione di rischio tra inquinanti presenti nel territorio e insorgenza di patologie tumorali;
- approfondimento dei risultati su sottogruppi di popolazione in base all'età e alla residenza in sotto-aree al fine di mettere in evidenza eccessi di rischio età/area-specifici;
- studio geografico per identificare addensamenti di casi in aree specifiche del territorio;
- studio campionario su malattie cardiovascolari e respiratorie con questionari e biomonitoraggio umano.

Come ricercatori, riteniamo doveroso richiamare l'attenzione sul fatto che dopo 15 anni dalla pubblicazione delle ultime linee-guida per la qualità dell'aria, i livelli stimati dall'Organizzazione Mondiale della Sanità, in seguito alle varie rassegne commissionate per aggiornare la letteratura scientifica, ai quali tendere si sono considerevolmente abbassati rispetto a quelli precedenti. In particolare le concentrazioni medie annue di $PM_{2,5}$ passano da 10 a $5 \mu g/m^3$, quelle di biossido di azoto da 40 a $10 \mu g/m^3$ e la concentrazione media di ozono nelle 8 ore in alta stagione non deve superare i $60 \mu g/m^3$ (per questo inquinante, non c'erano valori limite raccomandati).

Ciò significa che è ormai più che dimostrato che l'inquinamento atmosferico, anche a livelli molto bassi, è pericoloso e nuoce alla salute. Considerando che il 90% della popolazione mondiale nel 2019 ha vissuto in aree dove non sono stati rispettati neanche i limiti più alti previsti dalle Linee guida precedenti (WHO, 2006),

il lavoro da compiere da parte di politici, decisori e cittadini per la tutela della salute delle popolazioni è notevole e fondamentale.

Concludendo, nonostante si raccomandino gli approfondimenti sopraelencati, in virtù del fatto che tutti i soggetti della coorte sono esposti ad un valore medio annuale di $PM_{2,5}$ superiore ai $5 \mu g/m^3$ indicati dalle nuove linee-guida per la qualità dell'aria per la tutela della salute, si rende necessario perseguire già da ora politiche ambientali che mirino alla riduzione delle concentrazioni degli inquinanti atmosferici in modo da ridurre l'onere sanitario derivante dall'esposizione all'inquinamento atmosferico e, sebbene le nuove linee-guida per la qualità dell'aria non siano legalmente vincolanti, è auspicabile che costituiscano il punto di riferimento per le politiche in tutti i Paesi e in tutti settori.

Executive Summary – La componente ambientale dello Studio EPIVenafro+7

Negli studi di coorte un elemento fondamentale è la ricostruzione dell'esposizione ambientale dei soggetti presi in considerazione nel periodo di studio in esame rispetto a determinati rischi.

Nell'ambito del protocollo di studio del progetto EPIVenafro+7 i rischi sono stati individuati rispetto alle emissioni in atmosfera relativi principalmente a due impianti:

- il termovalorizzatore situato nel comune di Pozzilli;
- il Cementificio Colacem S.p.a. localizzato nel comune di Sesto Campano.

Successivamente, su sollecitazione dell'Associazione "Mamme per la Salute e l'Ambiente Onlus" di Venafro è stato preso in considerazione anche il termovalorizzatore di San Vittore situato in Lazio, ma a ridosso della valle in esame.

Obiettivo dell'attività ambientale è stato quello di ricostruire la distribuzione delle ricadute al suolo degli inquinanti emessi dai tre impianti localizzati in Val Venafro per una valutazione dell'esposizione della popolazione residente nella zona.

L'esposizione alle ricadute industriali e l'individuazione di una sostanza come impronta ("proxy") - Le combustioni che generano fumi caldi in uscita agli impianti in esame producono una articolata miscela di sostanze gassose e particellate (polveri). Pur differenti per composizione e fattore di rischio per la salute, hanno in comune il fatto di essere state convogliate negli stessi camini, di comporre pennacchi soggetti a simili dispersioni, e dunque essere fortemente correlate nella generazione di aree geografiche (spaziali) con differente pressione di esposizione all'inquinamento. Nel presente studio di coorte si è scelto di rappresentare l'esposizione alle emissioni degli impianti industriali utilizzando una sola tipologia di sostanza, gli NO_x, come misura indiretta (*proxy*) della distribuzione spaziale media annua del complesso di sostanze emesse nei fumi degli impianti, per le seguenti motivazioni: gli NO_x sono un'impronta significativa, in termini di emissioni orarie, degli impianti in esame, e dunque forniscono una variabilità spaziale nella mappa di concentrazione media annua sufficiente per una efficace classificazione fra meno e più esposti; la misura al camino di altre sostanze come polveri e SO₂ ha presentato problemi di valori di emissioni validi e utili nell'anno di riferimento. I valori di concentrazione risultanti dalla modellistica vanno prevalentemente se non unicamente interpretati come differenze, nell'area, della pressione ambientale generata dalla complessa composizione dei fumi, con l'individuazione di zone che differiscono tra loro per almeno un ordine di grandezza del valore *proxy*. Limitarsi al confronto fra i valori risultanti con i limiti di legge per l'NO₂ può essere fuorviante rispetto agli scopi dell'indagine.

Simulazioni modellistiche - I modelli di dispersione sono strumenti di calcolo che, attraverso equazioni e algoritmi, permettono di descrivere in modo semplificato i fenomeni assai complessi della dispersione degli inquinanti in atmosfera. A partire dai dati di ingresso di tipo geografico, meteorologico ed emissivo, un modello di dispersione fornisce come risultato finale un campo di concentrazione, cioè una rappresentazione grafica della distribuzione nello spazio della concentrazione di un determinato inquinante.

Considerata la complessità e disomogeneità del territorio è stato utilizzato il sistema WRF- (Weather Research and Forecasting Model), e i modelli CALMET CALPUFF. I dati meteorologici WRF per la meteorologia a scala sinottica per l'anno 2016 sono stati forniti su un dominio centrato sul comune di Venafro di 100 km x 100 km sufficientemente ampio per riprodurre circolazione ad ampia scala, con un passo griglia di 1km. Attraverso le equazioni della dinamica atmosferica e tenendo conto delle caratteristiche orografiche e del suolo il modello riproduce tutti i campi meteorologici sul grigliato di simulazione che vanno ad inizializzare il modello micrometeorologico CALMET.

Per la realizzazione delle simulazioni modellistiche è stata fatta la scelta di considerare un periodo temporale pari ad un intero anno meteorologico. L'esecuzione di simulazioni relative ad un periodo di un anno completo consente di raccogliere una statistica significativa e rappresentativa di tutti i cicli stagionali per la determinazione delle aree di impatto, che possono rappresentare condizioni realistiche con maggiore probabilità. La scelta dell'anno è stata effettuata sulla base di due criteri:

- a) disponibilità simultanea dei dati di emissioni orari dai due impianti Herambiente e Colacem che come detto è limitata agli anni 2016-2020. La scelta di questo criterio, rispetto all'assumere emissioni autorizzate disponibili per gli anni precedenti, è legata alla volontà di riprodurre in modo più realistico la dispersione oraria delle sostanze emesse dai camini;
- b) assenza o ridotte anomalie meteorologiche significative dell'anno, segnalate anche a livello nazionale, dovendo quest'ultimo rappresentare un anno meteorologico tipo per un periodo più lungo.

La scelta è, pertanto, ricaduta sull'anno 2016.

Per ciascuno dei tre impianti in esame, la cemeniteria Colacem, il termovalorizzatore Herambiente e il termovalorizzatore di San Vittore, sono stati ricercati descrizioni funzionali all'identificazione delle emissioni in atmosfera. La descrizione degli impianti, la ricostruzione del funzionamento nel tempo e delle autorizzazioni alle emissioni ricevute, sono riepilogate nell'appendice A.3. Degli impianti Colacem e Herambiente, sono stati utilizzati i dati emissivi registrati ogni mezz'ora al camino principale, per il termovalorizzatore di San Vittore si è utilizzato un dato medio annuo.

Risultati - La figura mostra la mappa delle concentrazioni medie annue al suolo degli NO_x come ricostruite dal modello relativamente alle emissioni dei 3 impianti per l'anno 2016.

È evidente come l'impronta complessiva dei tre impianti sia caratterizzata da una variabilità spaziale principalmente dominata dalla presenza di valli e rilievi (orografia e venti); in secondo luogo sono determinanti le altezze dei camini, la velocità e la temperatura dei fumi.

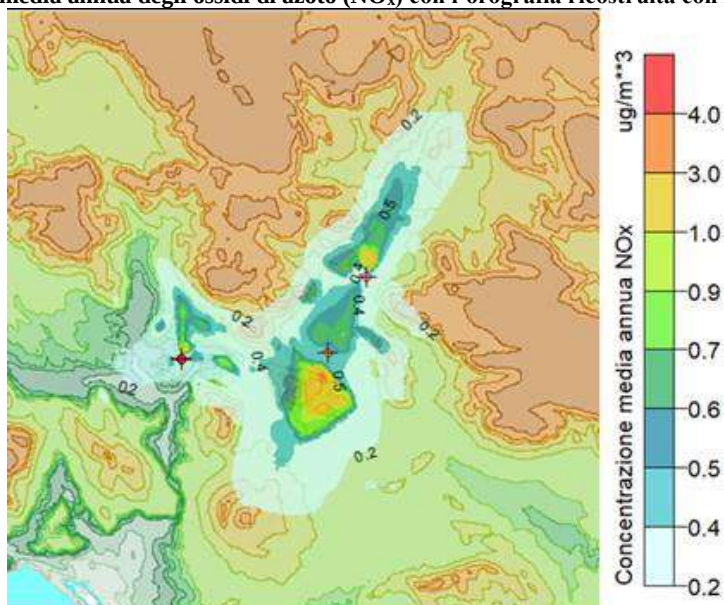
A causa delle disomogeneità orografiche e della complessità meteorologica le concentrazioni degli inquinanti si distribuiscono in media annua lungo l'asse della valle con le aree a maggiore impatto nei dintorni degli impianti e a ridosso dei rilievi orografici confinanti, dove i pennacchi impattano. Le concentrazioni medie massime, stimate dai 3 ai 4 µg/m³, si riscontrano nell'area intorno a Sesto Campano in prossimità del cementificio e nell'area di Montaquila in prossimità del termovalorizzatore di Herambiente. In media annua le ricadute degli inquinanti emessi dal termovalorizzatore di San Vittore prevalentemente investono l'area intorno

l'impianto e lambiscono debolmente la valle in studio (si vedano le mappe dei singoli impianti in Appendice A.4).

Se si osservano le stime effettuate in media oraria (si vedano le mappe in Appendice A.4), ovvero ad ogni ora di funzionamento degli impianti, si può rilevare che i pennacchi dei diversi impianti, seguendo la meteorologia ed in particolare direzione e intensità dei venti, possono investire aree più estese, con ricadute al suolo dell'ordine delle decine di microgrammi al metro cubo d'aria.

Non è possibile effettuare un confronto quantitativo tra le concentrazioni simulate e le misure di NO_x effettuate nelle due stazioni VE1 e VE2 perché le simulazioni non tengono conto dei contributi di tutte le altre sorgenti presenti nell'area e del background di concentrazione, contributi che invece sono presenti nei valori registrati dalle centraline di monitoraggio.

Mappa di concentrazione media annua degli ossidi di azoto (NO_x) con l'orografia ricostruita con il modello.



Considerazioni conclusive - Al fine di ricostruire la diffusione degli inquinanti atmosferici emessi dai tre impianti è stato messo a punto un sistema modellistico costituito da un modello meteorologico, un modello di strato limite e un modello di diffusione a puff lagrangiani. Le attività hanno previsto un'analisi delle emissioni dei tre impianti, una caratterizzazione meteorologica e di qualità dell'aria attraverso dati provenienti da reti di monitoraggio.

- Le emissioni dei tre impianti possono essere di diverso tipo convogliate e superficiali, l'assenza di informazioni dettagliate sulle diverse tipologie di emissioni ha ristretto lo studio alle emissioni da camino.
- I dati orari delle emissioni dei camini relativi a Herambiente e Colacem si riferiscono agli anni 2010-2020 (Herambiente) e 2016-2020 (Colacem). Questo ha ristretto la possibilità di scelta dell'anno di simulazione all'anno 2016 in cui fossero disponibili entrambe le emissioni orarie.
- Il 2016 da un punto di vista meteorologico, si può considerare un anno tipo del periodo dello studio di coorte.

- Un limite dello studio consiste nel non aver potuto utilizzare informazioni omogenee e complete (dati disponibili per tipo di inquinanti) su un più ampio orizzonte temporale delle emissioni degli impianti in modo da meglio comprendere e fare entrare nel protocollo di studio variazioni nel tempo delle emissioni.
- Le mappe della concentrazione media annuale ottenute tramite simulazioni modellistiche mostrano come sebbene in particolari condizioni meteorologiche i pennacchi investano i diversi comuni della valle, le aree in media annuale a maggiore impatto sono nei dintorni degli impianti presso Sesto Campano e ed in particolare intorno ai rilievi.
- In ultimo, i risultati presentati nelle mappe di concentrazione, per la loro complessa relazione con l'articolazione dei rilievi orografici, articolazione che determina differenti comportamenti del vento in punti differenti nell'area considerata, suggeriscono l'adozione di più stazioni meteorologiche nell'area.

Considerazioni sui dati monitorati dalle centraline – In Appendice A.2 si presenta un'analisi dei dati di qualità dell'aria registrati dalle centraline ubicate nel tessuto urbano, che risentono pertanto dalle fonti tipiche di un centro urbano come ad esempio i trasporti ed il riscaldamento domestico. L'analisi dei dati presentata ha solo lo scopo di caratterizzare l'area in cui si è svolto lo studio. Nel paragrafo A.2.2 si riporta una breve analisi relativa all'anno 2016 tendente a valutare relazioni tra i diversi inquinanti al fine di poter individuare possibili fonti emmissive. Sulla base delle misure di PM₁₀, NO₂, monossido di carbonio (CO) e benzo(a)pirene, si possono formulare le seguenti considerazioni:

- l'andamento giornaliero e settimanale dell'NO₂ suggerisce il traffico come fonte prevalente di tale inquinante, alla quale si sommano contributi minori di altre fonti;
- gli andamenti giornalieri, settimanali e stagionali del PM₁₀, differenti da quelli dell'NO₂, presentano invece delle correlazioni maggiori con quelli del CO in particolare nei mesi invernali. Questo suggerisce l'ipotesi di una fonte locale e invernale di entrambi gli inquinanti, da approfondire con specifiche campagne di misura. Gli alti valori di PM₁₀ in estate registrati simultaneamente anche in altre aree della regione suggeriscono come possibile fonte le intrusioni di polvere desertica;
- l'aumento del benzo(a)pirene nei mesi invernali confermerebbe l'ipotesi di una fonte locale legata alla combustione di biomassa. Una conferma di tale ipotesi potrebbe derivare da una caratterizzazione chimico fisica del particolato nei mesi invernali;
- al fine di ridurre le concentrazioni degli inquinanti registrati nel comune di Venafro è necessaria un'attribuzione più robusta alle fonti di emissioni attraverso campagne di misura specifiche nelle diverse stagioni.

Sommario

SEZIONE 1 – Studio di coorte			
1.	Contestualizzazione delle conoscenze preliminari		1
	1.1	Esposizione alle emissioni di termovalorizzatori ed effetti sulla salute	2
	1.2	Esposizione alle emissioni di cementifici ed effetti sulla salute	4
	1.3	Esposizione a inquinamento atmosferico (in particolare PM _{2,5})	5
	1.4	Razionale ed obiettivo	6
2.	Materiali		7
	2.1	I dati anagrafici	7
	2.2	I dati ambientali	8
	2.2.1	Modello di diffusione degli ossidi di azoto (NO _x) degli impianti in studio	8
	2.2.2	Mappe di concentrazione dell'inquinamento atmosferico da PM _{2,5}	11
	2.3	I dati sanitari	13
3.	Metodi		15
	3.1	Disegno di studio	15
	3.1.1	Lo studio di coorte	15
	3.1.2	Definizione e caratterizzazione del dominio, della coorte e follow-up	17
	3.2	Definizione dell'esposizione	17
	3.2.1	Definizione dell'esposizione alle emissioni dei tre impianti (NO _x) e all'inquinamento atmosferico da PM _{2,5}	17
	3.2.2	Definizione delle classi di esposizione a ossidi di azoto (NO _x) da impianti e a inquinamento atmosferico da PM _{2,5}	19
	3.2.3	Definizione dell'esposizione a traffico veicolare intenso	20
	3.2.4	Definizione dell'esposizione a fattori socio-economici	22
	3.3	Definizione degli indicatori di salute	23
	3.4	Il modello statistico per la stima delle associazioni di rischio	25
4.	Risultati		26
	4.1	Dati anagrafici – Ricostruzione della storia residenziale	26
	4.2	Dati sanitari	27
	4.2.1	Registro Nominativo delle Cause di Morte (ReNCaM)	27
	4.2.2	Schede di Dimissione Ospedaliera (SDO)	27
	4.2.3	Certificato di Assistenza al Parto (CeDAP)	27
	4.2.4	Registro Tumori	28
	4.2.5	Guida alla lettura e interpretazione dei risultati sulle associazioni di rischio	28
	4.3	Risultati delle analisi di mortalità	29
	4.3.1	Mortalità – Cause selezionate sulla base delle evidenze scientifiche – NO _x impianti	29
	4.3.2	Mortalità – Cause selezionate a livello puramente descrittivo – NO _x impianti	31
	4.3.3	Mortalità – Cause selezionate sulla base delle evidenze scientifiche – PM _{2,5}	32
	4.3.4	Mortalità – Cause selezionate a livello puramente descrittivo – PM _{2,5}	34
	4.4	Risultati delle analisi di ospedalizzazione	36
	4.4.1	Ospedalizzazione – Cause selezionate sulla base delle evidenze scientifiche – NO _x impianti	36
	4.4.2	Ospedalizzazione – Cause selezionate a livello puramente descrittivo – NO _x impianti	38
	4.4.3	Ospedalizzazione – Cause selezionate sulla base delle evidenze scientifiche – PM _{2,5}	40
	4.4.4	Ospedalizzazione – Cause selezionate a livello puramente descrittivo – PM _{2,5}	42
5.	Discussione		45
6.	Considerazioni finali e sviluppi futuri		53
7.	Bibliografia		56

SEZIONE 2 – La componente ambientale dello studio EPIVenafro+7			
1.	Introduzione		63
	1.1	L'esposizione alle ricadute industriali e l'individuazione di una sostanza come impronta ("proxy")	63
	1.2	Le fasi dello studio	64
2.	Descrizione dell'area		65
3.	Emissioni impianti		68
	3.1	Cementeria Colacem	68
	3.2	Termovalorizzatore Herambiente (ex-Energonut, ora Herambiente)	71
	3.3	Termovalorizzatore San Vittore	73
4.	Sistema modellistico e setup		75
	4.1	Simulazione campi meteorologici	76
	4.2	Simulazioni di dispersione	78
5.	Risultati		79
6.	Considerazioni conclusive		81
7.	Riferimenti e documentazione		82
Appendice A.1 Meteorologia			85
Appendice A.2 Qualità dell'aria a Venafro			89
Appendice A.3 Emissioni impianti			97
Appendice A.4 Mappe di concentrazione			121
SEZIONE 3 – Attività di comunicazione e rapporto col territorio			
Relazione sulle attività di comunicazione e rapporto col territorio nello studio EPIVenafro+7			127

Come nasce lo Studio Epidemiologico EPIVenafro+7

a cura di Fabrizio Bianchi

L'area della conca Venafrana è caratterizzata dalla presenza da molti anni di due sorgenti emissive principali: il Termovalorizzatore HERAmbiente, prima di proprietà Energonut S.p.A., all'interno del nucleo industriale Isernia-Venafro nel Comune di Pozzilli (IS) ed il cementificio Colacem S.p.A. nel comune di Sesto Campano (IS). Inoltre, la valle e la città di Venafro in particolare, subiscono anche la pressione di un intenso traffico, pesante e non, dovuto alla presenza di due arterie principali, la Strada Statale 85 Venafrana (SS85) e la Strada Statale 6 (SS6), che si intersecano con tutte le altre principali strade cittadine in un solo incrocio proprio nel centro di Venafro. In particolare, la SS6 collega l'uscita dell'autostrada A1 di San Vittore al centro di Venafro dove si immette nella SS85 che collega, a sua volta, Venafro con Isernia, per cui i mezzi pesanti che devono raggiungere il capoluogo molisano percorrono obbligatoriamente quel tratto di strada, sottoponendo il centro urbano di Venafro ad una notevole pressione dal punto di vista dell'inquinamento atmosferico da traffico veicolare. Il panorama dello stato della qualità dell'aria in Molise, che emerge dalle relazioni annuali dei dati del monitoraggio effettuato dall'Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente Molise (ARPAM) (<http://www.arpamoliseairquality.it/relazioni-sulla-qualita-dellaria/>), non è infatti privo di alcune criticità. Già dalle prime relazioni di ARPAM, a partire dal 2012, si evince che nella città di Venafro si eccede quasi sempre il numero massimo dei giorni in cui può essere superato il valore limite di PM₁₀ (<http://www.arpamoliseairquality.it/relazioni-sulla-qualita-dellaria/>). L'impatto ambientale e osservazioni non sistematiche di addensamenti di malattie e decessi hanno costituito elementi di preoccupazione di gruppi di cittadini e associazioni locali e regionali che nel passato decennio si sono impegnati per la realizzazione di uno studio indipendente su ambiente e salute. Nel 2017 veniva realizzata una prima indagine descrittiva su mortalità e ricoveri ospedalieri dei residenti nei comuni di Venafro, Pozzilli e Sesto Campano, utilizzando come confronto la popolazione residente molisana, e avvalendosi di dati di fonte Regione Molise e ISTAT (studio realizzato in autonomia dal Dott. Fabrizio Bianchi su incarico di ISDE Molise e per conto dell'Associazione Mamme per la Salute e l'ambiente Onlus di Venafro (<https://www.mammesaluteambiente.it/web/> e <https://www.isde.it/studio-epidemiologico-a-venafro/>)).

L'analisi descrittiva metteva in luce risultati, sostanzialmente allineati tra ospedalizzazione e mortalità, indicativi di una criticità a carico delle malattie del sistema circolatorio e eccessi per le malattie respiratorie in entrambi i sessi solo nel caso dei ricoveri. Per le sole donne, inoltre, emergevano eccessi di mortalità per i tumori nel loro complesso in particolare a carico della mammella.

I risultati furono presentati il 12 novembre 2018 in una assemblea pubblica che vide la partecipazione di cittadini, associazioni e amministratori locali e regionali, incluso il Sindaco di Venafro, e l'evento dette la spinta alla realizzazione di uno studio epidemiologico di coorte residenziale. Seguirono numerosi incontri con gli amministratori di Venafro e con gli altri soggetti attivi sul territorio, con cui fu concordata la stesura di un primo protocollo di massima dello studio da eseguire allargando l'area di studio a Venafro con i 7 comuni limitrofi, da qui il nome del progetto "EpiVenafro+7". Nel 2019 veniva definito il protocollo di studio e intensificato il confronto con le istituzioni locali (Comune di Venafro coordinatore degli altri Comuni) e regionali (Agenzia Sanitaria Regione Molise e Associazione Regionale Protezione Ambiente Molise), e incontri con associazioni locali e regionali, in particolare Mamme per la Salute e l'ambiente Onlus e Associazione Medici per l'Ambiente Isde-Molise.

Il 21-1-2020 veniva firmata la convenzione tra il Comune di Venafro e l'Istituto di Fisiologia Clinica del Consiglio Nazionale delle Ricerche (IFC-CNR) per realizzare uno studio epidemiologico eziologico, nello specifico uno studio di coorte residenziale retrospettivo basato sulla ricostruzione del profilo di mortalità e morbosità in associazione con rischi ambientali (Studio EPIVenafro+7) associato a 2 impianti industriali della zona.



Comune di Venafro



SEZIONE 1 – Studio di coorte

Studio EPIVenafro+7

**Realizzazione di uno studio di coorte residenziale
basato sulla ricostruzione del profilo di mortalità e morbosità
in associazione con rischi ambientali**

Relazione finale

A cura di:

Bustaffa Elisa e Minichilli Fabrizio

Unità di Epidemiologia ambientale e Registri di patologia – Istituto di Fisiologia Clinica – Consiglio Nazionale delle Ricerche di Pisa

1. Contestualizzazione delle conoscenze preliminari

L'inquinamento atmosferico è originato da numerose fonti di emissione, sia naturali sia antropiche; quest'ultime, in particolare, sono diventate ubiquitarie dall'inizio dell'industrializzazione. Il processo di combustione è il fattore principale che contribuisce all'inquinamento atmosferico, in particolare la combustione di combustibili fossili e biomasse per la produzione di energia. Negli ambienti interni, troviamo come sorgenti principali l'uso di combustibili inquinanti in fornelli e cucine non ventilati e la combustione del tabacco. Il trasporto atmosferico a lungo raggio di inquinanti da fonti lontane contribuisce anch'esso all'inquinamento locale, in particolare all'inquinamento atmosferico urbano (WHO, 2021). Alcuni degli inquinanti vengono emessi direttamente dalle fonti di combustione come inquinanti primari (con il carbonio elementare come il costituente principale del particolato – *particulate matter* - PM) mentre alcuni si formano nell'aria come inquinanti secondari (quali nitrati, solfati e carbonio organico) attraverso complessi processi fisico-chimici che coinvolgono precursori gassosi provenienti da fonti di combustione, agricoltura (ammoniacale), altri processi antropici e processi naturali come emissioni biogene (WHO, 2021).

L'inquinamento atmosferico è stato riconosciuto come la più grande minaccia ambientale per la salute umana sulla base del suo notevole contributo nei confronti del carico di malattie. Ciò è particolarmente vero per il PM (sia PM_{2,5}, cioè particelle con diametro aerodinamico uguale o inferiore a 2,5µm, sia PM₁₀, cioè particelle con diametro aerodinamico uguale o inferiore a 10 µm). Anche altri inquinanti atmosferici, tuttavia, comunemente misurati come ozono (O₃), biossido di azoto (NO₂), biossido di zolfo (SO₂) e monossido di carbonio (CO) sono fonte di preoccupazione, così come altri componenti dell'inquinamento atmosferico (WHO, 2021). L'NO₂ è un gas tossico outdoor (traffico) e indoor (cucine a gas). Nell'ambiente outdoor urbano, NO₂ deriva principalmente dall'ossidazione dell'ossido nitrico a inquinante primario del traffico. L'O₃ è un gas altamente reattivo che si forma in seguito alle reazioni chimiche nell'atmosfera e che coinvolgono gli ossidi di azoto (NO_x – NO e NO₂), composti organici volatili ed è mediata dalla radiazione solare. Nelle aree urbane con un'elevata densità di traffico, gli NO_x si trovano a concentrazioni elevate e spesso negativamente associate all'O₃ durante le ore diurne. Le evidenze in letteratura suggeriscono che NO₂ e O₃ possano avere effetti dannosi sulla salute delle persone, interessando la funzionalità respiratoria, le ospedalizzazioni e le morti premature (Malig et al., 2016; Nuvolone et al., 2018; Strickland et al., 2010; Urman et al., 2014).

L'inquinamento atmosferico è quindi il principale fattore di rischio ambientale a livello globale. Le stime dell'Organizzazione Mondiale della Sanità rivelano che circa 7 milioni di decessi, principalmente per malattie non trasmissibili, sono attribuibili agli effetti congiunti dell'inquinamento atmosferico ambientale e domestico (WHO, 2018). Valutazioni globali simili del solo inquinamento

dell'aria ambiente suggeriscono tra 4 milioni e 9 milioni di decessi all'anno e centinaia di milioni di anni di vita sana persi, con il maggior carico di malattie attribuibile osservato nei paesi a basso e medio reddito (Burnett et al., 2018; GBD 2019 Risk Factors Collaborators, 2020; Vohra et al., 2021; WHO, 2018).

Nei prossimi paragrafi verranno descritti i potenziali effetti sulla salute associati all'esposizione alle emissioni sia degli NO_x dalle due tipologie di impianti industriali che insistono nell'area sia del PM_{2,5} proveniente da più fonti (inquinanti proxy dell'inquinamento caratterizzante l'area in studio).

1.1 Esposizione alle emissioni di termovalorizzatori ed effetti sulla salute

Il World Energy Council stima che la produzione globale di rifiuti raddoppierà da 3 a oltre 6 milioni di tonnellate al giorno nel decennio dal 2015 al 2025 (World Energy Council, 2016). Per gestire questa enorme massa di Rifiuti Solidi Urbani (RSU), la termovalorizzazione è diventato il metodo più ampiamente utilizzato, essendo capace di ridurre il volume delle discariche fornendo al contempo energia (Beyene et al., 2018). La combustione degli RSU è il metodo maggiormente consolidato al mondo per quanto riguarda il recupero energetico, rappresentando quasi il 90% del settore della termovalorizzazione (Clean Energy Finance Corporation, 2015; World Energy Council, 2016). La componente combustibile degli RSU è conosciuta come Combustibile Derivato dai Rifiuti (CDR) ed è utilizzata in un processo termico per generare elettricità o calore, gas combustibili e solidi come prodotti principali di recupero (Beyene et al., 2018). Il processo di termovalorizzazione, tuttavia, prevede la combustione di componenti CDR con conseguenti potenziali emissioni di inquinanti organici persistenti come le diossine (Albores et al., 2016) ma può emettere anche concentrazioni di anidride carbonica (CO₂), SO₂, NO_x per unità di elettricità prodotta più elevate rispetto ad altre forme di energia come gas naturali o rinnovabili (O'Brien, 2008). La preoccupazione che può insorgere in merito agli effetti sulla salute delle sostanze emesse è compensata, in una certa misura, dai moderni e ben gestiti termovalorizzatori che emettono concentrazioni di questi inquinanti inferiori rispetto alle concentrazioni emesse dalle centrali elettriche a carbone e a petrolio o all'incenerimento tradizionale di RSU (US EPA, 2016). Nonostante il crescente interesse globale per la termovalorizzazione, le implicazioni per la salute pubblica della combustione di CDR restano poco studiate. Attualmente esiste una sola revisione sistematica della letteratura scientifica sugli impatti sulla salute associati alle emissioni in atmosfera derivanti dai processi di termovalorizzazione (Cole-Hunter et al., 2020). Gli autori di tale rassegna riscontrano che, fino ad oggi, se da una parte l'implementazione delle tecnologie per la termovalorizzazione è in aumento, dall'altra la maggior parte degli studi sanitari sull'incenerimento non affrontano specificamente la combustione dei CDR (dimostrata essere diversa da quella degli RSU a causa delle caratteristiche della composizione dei rifiuti). Gli autori affermano

anche che, complessivamente, le prove disponibili sono limitate, ma suggeriscono che impianti di termovalorizzazione ben progettati e gestiti, che utilizzano CDR, possono contenere i potenziali impatti negativi sulla salute per la minore pericolosità delle emissioni legate a questo tipo di combustione, rispetto alla discarica o all'incenerimento non differenziato e senza produzione di energia. È evidente che il flusso di rifiuti in ingresso può influenzare le emissioni inquinanti: gli impianti alimentati con rifiuti di scarsa qualità possono emettere sostanze tossiche concentrate con gravi rischi potenziali per la salute, come diossine/furani e metalli pesanti; queste sostanze possono rimanere problematiche nelle ceneri come sottoprodotto della combustione. Gli autori inseriscono nella rassegna solo due studi epidemiologici che misurano direttamente gli effetti sulla salute associati ai processi della termovalorizzazione (Lung et al., 2020; Ruggieri et al., 2019). Il primo è uno studio epidemiologico di coorte prima/dopo condotto in Italia su 380 individui residenti nei pressi di un nuovo termovalorizzatore nel quale l'esposizione viene valutata prima e un anno dopo l'inizio delle attività dell'impianto (Ruggieri et al., 2019). In questo studio di biomonitoraggio, le concentrazioni di cromo (ma non di altri metalli pesanti) sono più elevate nelle urine dei partecipanti esposti alle emissioni del termovalorizzatore rispetto ai partecipanti non esposti (Ruggieri et al., 2019). Tale risultato, tuttavia, è applicabile sia nell'anno di riferimento sia nel *follow-up*, per cui il risultato non può essere direttamente attribuito al funzionamento dell'impianto di termovalorizzazione. È interessante notare che le concentrazioni di altri metalli pesanti sono più elevate nei soggetti di controllo, e quindi sono state attribuite ad altre fonti di esposizione personale come l'assunzione di pesce (arsenico) e il fumo di tabacco (cadmio) (Ruggieri et al., 2019). Secondo questo studio, pertanto, risiedere vicino ad un impianto di termovalorizzazione non è associato a una più elevata esposizione a metalli pesanti. Il secondo studio, uno studio di coorte di nascita condotto a Taiwan, analizza lo sviluppo sociale dell'infanzia nei bambini residenti in prossimità di un inceneritore (Lung et al., 2020). Lo studio su quasi 20.000 soggetti (per i quali circa il 5% è considerato esposto), riporta un effetto negativo transitorio sullo sviluppo sociale dell'infanzia, per i bambini residenti entro 3 km da un inceneritore di RSU, sebbene questo effetto è evidente a sei mesi ma non a 18 mesi. Una limitazione di questo studio è rappresentata dalla valutazione approssimativa dell'esposizione dei soggetti che può potenzialmente portare a un'errata classificazione dell'esposizione: infatti, la valutazione dell'esposizione ("se ci fossero inceneritori entro 3 km dal loro luogo di residenza") e la segnalazione degli esiti sanitari sono sia grossolani sia soggettivi, essendo entrambi auto-riferiti dai genitori (Lung et al., 2020). Complessivamente, quindi, le evidenze sugli effetti sulla salute delle emissioni dovute ai termovalorizzatori sono scarse e limitate ma secondo gli autori della rassegna, è necessaria una valutazione rigorosa delle caratteristiche tecnologiche degli impianti e della tipologia di rifiuti utilizzata così come è necessario il monitoraggio e il controllo ambientale sia in fase di

progettazione sia successivamente, durante la conduzione dell'impianto. In particolare gli studi di modellizzazione dovrebbero essere basati su solide assunzioni (ad es. sui dati di emissione, sui dati atmosferici, sui dati reali di popolazione). Deve inoltre essere data grande attenzione ai dati sanitari utilizzati e alle ipotesi formulate per le dosi di riferimento, le funzioni di concentrazione-risposta, la durata e la frequenza dell'esposizione.

1.2 Esposizione alle emissioni di cementifici ed effetti sulla salute

Il cemento è considerato uno dei materiali da costruzione più importanti al mondo e le emissioni derivanti dalla produzione di questo materiale rappresentano circa il 5% delle emissioni globali di CO₂ (Hendriks et al., 2004). L'esposizione alle sostanze emesse dai cementifici può indurre effetti sulla salute sia dei lavoratori sia della popolazione generale. Durante la produzione ed il trasporto del cemento, vengono rilasciate nell'ambiente sostanze gassose e particolato. I lavoratori nei cementifici possono quindi essere esposti a gas e polveri derivanti dalle reazioni chimiche, come NO_x, SO₂, CO, CO₂, dibenzo-p-diossine policlorurate e dibenzofurani (PCDD/Fs), bifenili policlorurati (PCBs) così come piccole quantità di composti organici, ammoniaca, cloro e acido cloridrico (Chinyama, 2011; Leone et al., 2016; Mosca et al., 2014; Zou et al., 2018). Secondo quanto riportato in letteratura, i principali esiti associati all'esposizione occupazionale nei cementifici sono rappresentati dalle patologie respiratorie (Fell et al., 2010; Fell and Nordby, 2017; Nordby et al., 2016), mentre le evidenze di un'associazione causale tra l'esposizione occupazionale nei cementifici e il rischio di cancro sono inconsistenti (Cohen et al., 2014).

Le persone che vivono in prossimità di un cementificio sono esposte alle emissioni di quest'ultimo che possono essere rappresentate da carbone, gas, petrolio, fanghi di depurazione, materiali di scarto liquidi e solidi e coke di petrolio utilizzati come fonti di energia per i cementifici (Chinyama, 2011). Le emissioni di un cementificio, quindi, sono eterogenee e includono metalli, PCDD/F, idrocarburi policiclici aromatici e altre sostanze (Conesa et al., 2008; Lv et al., 2016; Zemba et al., 2011). L'impatto delle emissioni di un cementificio sulle comunità limitrofe dipende anche dai sistemi di filtraggio e di abbattimento, dalla direzione del vento e dalla configurazione geografica dell'area. Una recente revisione sistematica (Raffetti et al., 2019) ha raccolto le evidenze degli ultimi 20 anni circa gli effetti delle emissioni dei cementifici sulla popolazione generale, analizzando 24 studi, 9 dei quali in Europa e in particolare 3 in Italia (Bertoldi et al., 2012; Giordano et al., 2012; Marcon et al., 2014). La rassegna, complessivamente, mette in evidenza associazioni positive tra l'esposizione a cementifici e sintomi respiratori, enfisema, diminuzione della funzione polmonare e mortalità per patologie respiratorie. Sono stati riscontrati anche un eccesso di rischio di incidenza di cancro e di mortalità, principalmente cancro del tratto respiratorio, e un'associazione con rischio di parto

premature, mentre i risultati per le patologie cardiovascolari sono inconsistenti (Raffetti et al., 2019). Questi risultati, comunque, supportano l'ipotesi biologica secondo la quale l'esposizione alla polvere di cemento e ad altri inquinanti possono avere un'attività tossica sulle vie respiratorie, riducendo la funzione polmonare dinamica, aumentando il rischio di sintomi respiratori e patologie con possibili effetti cancerogeni (Raffetti et al., 2019). Le emissioni dei cementifici, inoltre, possono contaminare il suolo, entrare nella catena alimentare e causare intossicazioni attraverso la dieta (Schuhmacher et al., 2004). In quasi tutti gli studi della rassegna l'esposizione è stata valutata utilizzando la distanza della residenza del soggetto dall'impianto e non utilizzando misure di concentrazioni di inquinanti atmosferici o modelli di dispersione delle emissioni dell'impianto in atmosfera. Un recente studio condotto in Italia, sul cementificio di Pederobba (Treviso), pubblicato successivamente alla rassegna sistematica, ha invece utilizzato una modellistica di dispersione degli inquinanti atmosferici emessi dal cementificio utilizzando come *proxy* significativo per caratterizzare l'impatto del cementificio l'NO₂ che, comunque rappresenta una delle sostanze più significative emesse dal processo industriale per la produzione del cemento (Ferroni et al., 2021). Gli autori rilevano alcuni eccessi di mortalità e ricoveri ospedalieri, soprattutto tra le donne di Pederobba rispetto ai comuni confinanti, per le malattie del sistema circolatorio per le quali la letteratura scientifica riporta evidenze inadeguate.

1.3 Esposizione a inquinamento atmosferico (in particolare PM_{2,5})

Come anticipato all'inizio del paragrafo, è ormai riconosciuto da anni che l'inquinamento atmosferico rappresenta la principale minaccia ambientale per la salute delle popolazioni interessate (European Environment Agency, 2020). Considerando che gran parte delle popolazioni vive in contesti urbani e che in essi e in aree limitrofe si concentra la maggior parte delle attività antropiche potenzialmente inquinanti, la preoccupazione per i possibili effetti ambientali sulla salute è diffusa in queste aree e in particolare intorno ad impianti industriali. L'ambiente urbano, infatti, è tipicamente caratterizzato da molteplici *stressors* ambientali che in alcuni casi agiscono sinergicamente provocando danni alla salute (European Environment Agency, 2020). Il carico di malattie associate all'esposizione all'inquinamento atmosferico è ampio e in crescita; questo è dovuto sia all'aumento delle esposizioni nei paesi a basso e medio reddito così come alla rapida e crescente prevalenza di malattie non trasmissibili in tutto il mondo a causa dell'invecchiamento della popolazione e dei cambiamenti nello stile di vita (WHO, 2021).

Ad oggi, le evidenze della letteratura scientifica forniscono l'esistenza di una relazione di tipo causale tra l'esposizione ad inquinamento atmosferico da PM_{2,5} e mortalità per tutte le cause, così come infezioni acute del tratto respiratorio inferiore, malattie polmonari croniche ostruttive, malattie

ischemiche del cuore, cancro del polmone e ictus (Chen and Hoek, 2020; Cohen et al., 2014; Orellano et al., 2020; WHO, 2018). Un numero crescente di evidenze suggerisce anche associazioni causali con diabete di tipo II ed effetti sulla mortalità neonatale, dal basso peso alla nascita ad una riduzione del tempo di gestazione (GBD 2019 Risk Factors Collaborators, 2020). L'NO₂, è associato a mortalità per tutte le cause, malattie respiratorie, malattie polmonari croniche ostruttive, infezioni acute delle basse vie respiratorie (Huangfu and Atkinson, 2020).

L'esposizione all'inquinamento atmosferico può far aumentare l'incidenza e la mortalità di un maggior numero di patologie rispetto a quelle attualmente conosciute come l'Alzheimer e altre patologie di origine neurologica (Peters et al., 2019). Sebbene permanga una certa incertezza sull'esatto carico di malattia, è chiaro che il carico globale di malattie associate all'inquinamento atmosferico ha un impatto enorme sulla salute umana: si stima che l'esposizione all'inquinamento atmosferico causi milioni di morti e anni di vita sana persi e che sia in competizione con altri importanti rischi per la salute globale come una dieta malsana e il fumo di tabacco tant'è che è stato tra i primi cinque fattori di rischio su 87 nella valutazione globale (GBD 2019 Risk Factors Collaborators, 2020). L'inquinamento atmosferico è ad oggi riconosciuto come la più grande minaccia ambientale per la salute e il benessere umano (WHO, 2021).

1.4 Razionale e obiettivo

L'interesse allo studio degli effetti in termini di salute dell'inquinamento prodotto dalle sorgenti insistenti sul territorio è motivato dalla:

- significativa percezione di pericolo ambientale e di rischio che la popolazione ha acquisito nell'arco temporale in studio, in particolare per le popolazioni residenti nei dintorni degli impianti, spesso collocati in aree industriali limitrofe a quelle residenziali;
- attenzione mediatica e necessità di informare le popolazioni su eventuali rischi sanitari connessi alle principali fonti di inquinamento presenti nell'area in studio;
- necessità di ampliare la conoscenza degli effetti per la salute delle esposizioni alla tipologia di sorgenti insistenti sul territorio;
- consapevolezza che numerosi inquinanti atmosferici, anche se a basse dosi, sono fattori di rischio per la salute.

L'obiettivo principale dello studio è quello di valutare il rischio sanitario dei residenti esposti alle diverse fonti di inquinamento atmosferico considerate, tenendo conto di fattori di rischio individuali, come l'età, il sesso e lo stato socio-economico.

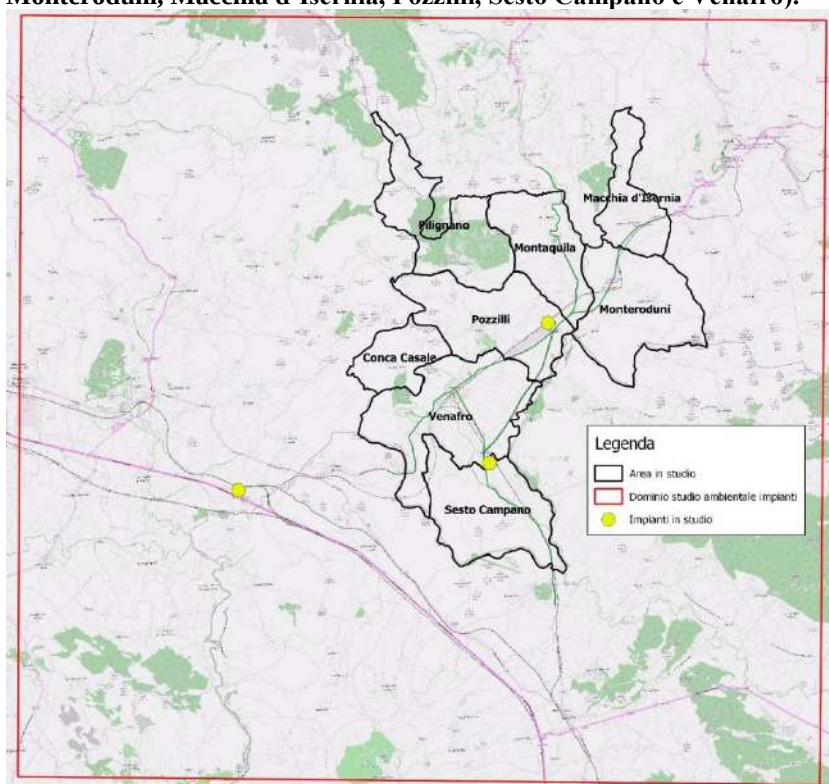
2. Materiali

In questo studio tutte le procedure di *record linkage* tra le varie tipologie di dato (anagrafico, sanitario e ambientale) sono state effettuate garantendo l'assoluto anonimato, secondo precise regole nella gestione dei sistemi informativi regionali, e nel pieno rispetto della normativa vigente sulla privacy, Regolamento Generale sulla Protezione dei Dati (*General Data Protection Regulation* - GDPR), Regolamento Europeo 2016/679). I dati anagrafici e sanitari sono stati pseudonimizzati attraverso la stessa procedura in modo da poter effettuare le procedure di *record linkage* e ottenere così il dataset finale contenente l'informazione anagrafica e sanitaria.

2.1 I dati anagrafici

Nonostante il primo studio sia stato realizzato nei tre comuni di Pozzilli, Sesto Campano e Venafro, considerati i risultati, l'orografia del territorio, la dislocazione degli impianti ritenuti potenzialmente più impattanti per i quali è stato possibile effettuare uno studio ambientale, la posizione delle strade a maggiore percorrenza e la reperibilità dei dati di diversa natura, il dominio dello studio epidemiologico è stato ampliato di altri 5 comuni (Conca Casale, Filignano, Montaquila, Monteroduni e Macchia d'Isernia) (Figura 1).

Figura 1. Dominio di studio rappresentato dagli 8 comuni molisani, Conca Casale, Filignano, Montaquila, Monteroduni, Macchia d'Isernia, Pozzilli, Sesto Campano e Venafro).



Ai fini della ricostruzione della storia residenziale di tutta la coorte, sono stati richiesti, a tutti gli Uffici Anagrafe degli 8 comuni, da parte del Comune capofila del Progetto EPIVenafro+7, ovvero il Comune di Venafro, i dati anagrafici relativi ai residenti nell'area in studio per il periodo 2006-2019. I dati, richiesti sottoforma di Liste Anagrafiche Comunali (LAC), per ogni anno in studio e contenenti dati personali come il sesso, la data di nascita, gli indirizzi di residenza e il relativo periodo di residenza, sono stati elaborati da IFC-CNR *in loco* a Venafro per essere pseudonimizzati al fine di garantire il trattamento del dato sensibile secondo la normativa vigente.

La Tabella 1 riporta la popolazione residente al 01/01/2019 (fonte ISTAT) per comune e sesso, con la popolazione residente nel comune di Venafro che rappresenta circa la metà dell'intera popolazione dell'area di studio (Tabella 1).

Tabella 1. Popolazione residente negli otto comuni in studio al 01/01/2019, per sesso e totale (fonte ISTAT).

Codice comune	Denominazione	Uomini		Donne		Totale	
		n	%	n	%	n	%
94018	Conca Casale	89	0,8	89	0,8	178	0,8
94019	Filignano	313	2,9	298	2,7	611	2,8
94025	Macchia d'Isernia	585	5,4	509	4,6	1.094	4,9
94028	Montaquila	1.230	11,3	1.158	10,4	2.388	10,8
94030	Monteroduni	1.028	9,4	1.106	9,9	2.134	9,7
94038	Pozzilli	1.123	10,3	1.137	10,2	2.260	10,2
94050	Sesto Campano	1.108	10,1	1.171	10,5	2.279	10,3
94052	Venafro	5.455	49,9	5.707	51,1	11.162	50,5
	Totale area di studio	10.931	100,0	11.175	100,0	22.106	100,0

2.2 I dati ambientali

Lo studio di coorte EpiVenafro+7 ha basato la stima dell'esposizione all'inquinamento atmosferico sia da fonti puntuali sia da quelle generalizzate sui dati delle distribuzioni della concentrazione media annuale al suolo degli inquinanti emessi dalle diverse fonti di inquinamento in studio.

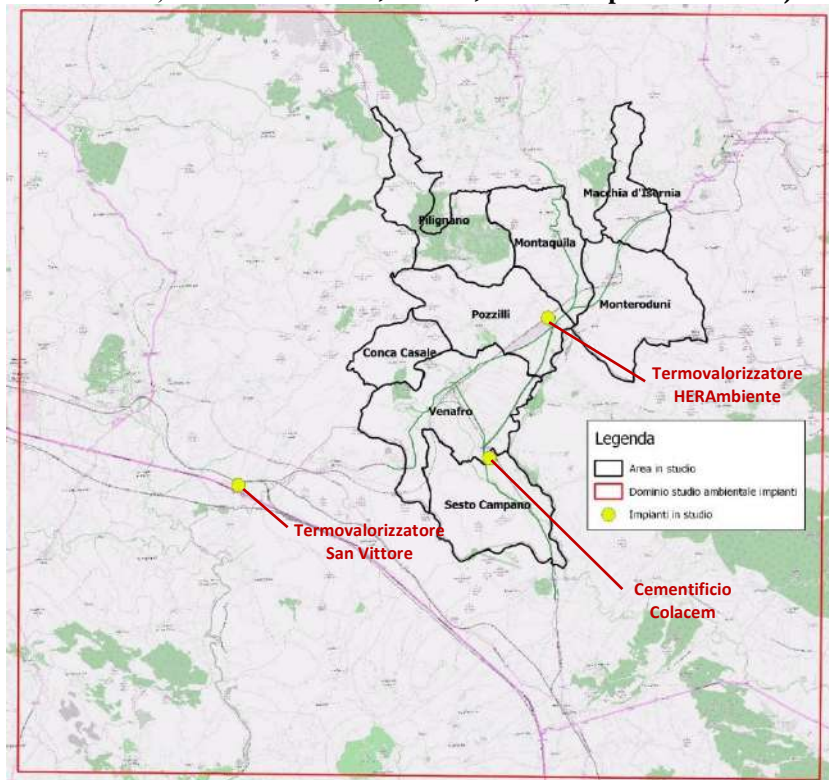
2.2.1 Modello di diffusione degli ossidi di azoto (NO_x) degli impianti in studio

In quest'area geografica insistono, come già accennato precedentemente nell'introduzione, i seguenti impianti (Figura 2):

- il termovalorizzatore situato nel comune di Pozzilli, classificato sia come Impianto Alimentato da Fonti Rinnovabili (IAFR) sia come impianto di co-incenerimento, attivo dal 2005. L'impianto ha ottenuto l'Autorizzazione Integrata Ambientale rilasciata dalla Regione Molise con D.D. n. 15 del 14/07/2015;

- il Cementificio Colacem S.p.a. localizzato nel comune di Sesto Campano con attività sia di produzione di materiale edile sia di co-incenerimento, attivo dal 2000. L'impianto ha ottenuto l'Autorizzazione Integrata Ambientale con D. D. n. 16 del 21.07.2015 rilasciata dalla Regione Molise;
- il termovalorizzatore di San Vittore, attivo dal 2002, ha ottenuto la prima Autorizzazione Integrata Ambientale con Decreto Commissariale n. 72 del 25 luglio 2007. Questo impianto non era previsto inizialmente nel protocollo di studio ma poiché la popolazione era interessata a sapere se tale impianto potesse in qualche modo contribuire alle emissioni insistenti sul territorio e quindi sullo stato di salute della popolazione, è stato inserito anche quest'ultimo tra le sorgenti in esame.

Figura 2. Dominio di studio rappresentato dagli 8 comuni molisani (Conca Casale, Filignano, Montaquila, Monteroduni, Macchia d'Isernia, Pozzilli, Sesto Campano e Venafro) e dagli impianti presenti nell'area.



Per ogni fonte di inquinamento definita come rilevante è necessario quantificare l'impatto sull'ambiente attraverso mappe di concentrazione degli inquinanti (es. $PM_{2,5}$, NO_x , SO_2 , ...) che rappresentano misure proxy di esposizione. La distribuzione degli inquinanti aerodispersi viene stimata attraverso modelli statistici che considerano come variabili di input la meteorologia, i dati monitorati dalle centraline, i dati di inquinamento rilevati al camino delle sorgenti (sistemi di monitoraggio ambientale in continuo e campagne di monitoraggio da parte degli organi competenti),

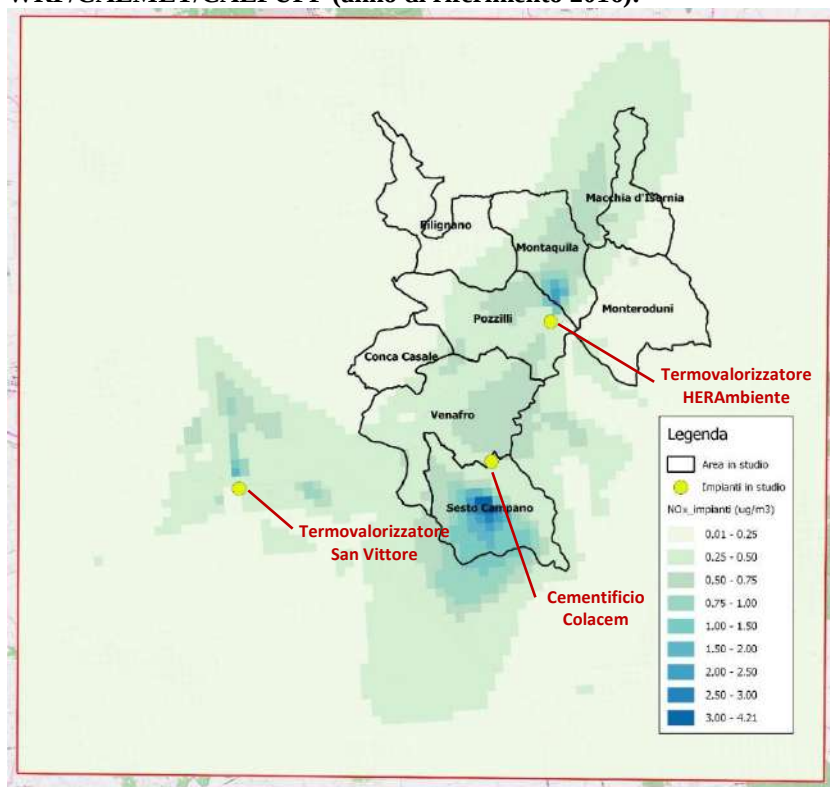
dati di inventario delle emissioni atmosferiche, l'utilizzo e l'orografia del territorio. Le mappe sono definite (ove possibile) in diversi periodi di attività delle sorgenti emissive. Di solito sono rappresentate da una griglia di punti di passo di centinaia di metri, per ciascuno dei quali è riportato il livello di concentrazione dell'inquinante in studio.

Gli NO_x sono una famiglia di gas velenosi altamente reattivi e si formano quando il carburante viene bruciato ad alte temperature. L'inquinamento da NO_x è emesso da automobili, camion e vari veicoli non stradali nonché da fonti industriali come centrali elettriche, caldaie industriali, forni per cemento e turbine. Gli NO_x sono stati scelti come *proxy* rappresentativi delle emissioni da sorgenti di tipo industriale che insistono nell'area. L'Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima del CNR (*Institute of Atmospheric Sciences and Climate – ISAC-CNR*), attraverso la catena modellistica WRF/CALMET/CALPUFF ha stimato la distribuzione della concentrazione media annuale al suolo degli NO_x derivante dalla somma delle emissioni in atmosfera delle tre principali sorgenti presenti nell'area in studio. Tale stima è stata effettuata considerando come dati di input:

- i dati meteorologici (vento, temperatura, pressione ecc.);
- i dati di emissioni orarie al camino per l'anno 2016;
- l'uso e l'orografia del territorio.

La mappa di diffusione degli NO_x è disponibile per un'area di circa 45x43 Km² con passo di 1 Km (Figura 3).

Figura 3. Mappa di dispersione sul territorio degli ossidi di azoto (NO_x) (inquinante proxy dei tre impianti presenti nell'area in studio) sviluppata dall'Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima del CNR, con catena modellistica WRF/CALMET/CALPUFF (anno di riferimento 2016).



La Tabella 2 riporta i valori descrittivi della distribuzione di NO_x nell'area in studio.

Tabella 2. Valori descrittivi della distribuzione degli ossidi di azoto (NO_x) (in µg/m³) nell'area in studio.

Variabile	Media	DS	25° p	50° p	75° p	90° p	95° p	Min	Max
NO _x	0,19	0,23	0,07	0,14	0,24	0,41	0,54	0,01	4,21

Note – DS: Deviazione Standard; p: percentile; Min: Minimo; Max: Massimo.

Maggiori dettagli sulla definizione del dominio di studio ambientale e sulla modellistica utilizzata sono riportati nella Sezione 2 “La componente ambientale di EPIVenafro+7” a cura della Dr.ssa Cristina Mangia e del Dr. Marco Cervino (pp. 63-124).

2.2.2 Mappe di concentrazione dell'inquinamento atmosferico da PM_{2,5}

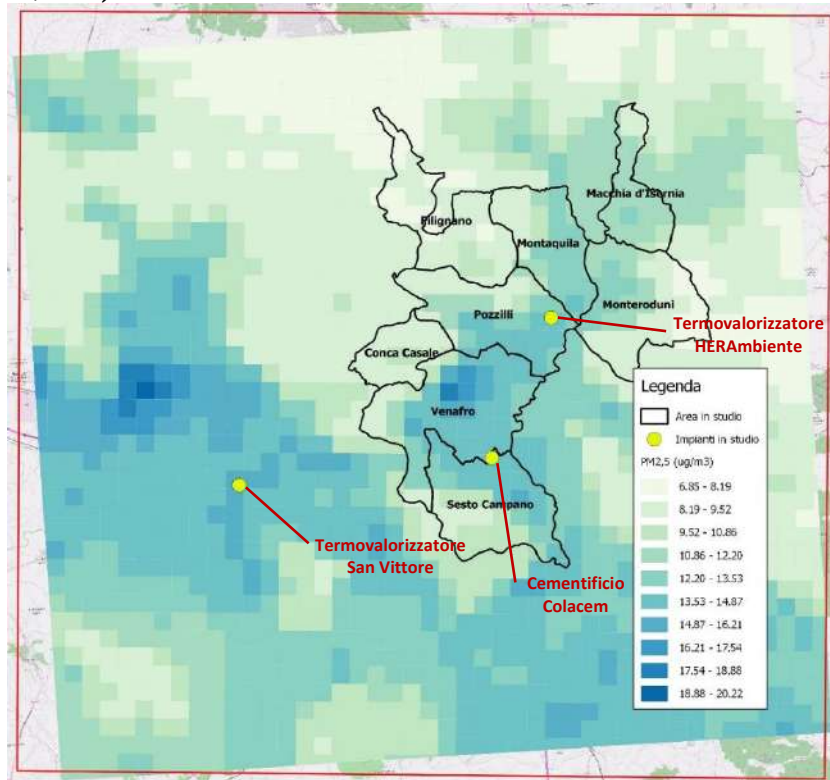
In Italia la principale fonte di inquinamento atmosferico urbano è rappresentata dagli scarichi del traffico veicolare (in particolare i motori diesel) al quale si aggiungono anche la combustione delle biomasse (legno e pellet usati per il riscaldamento), responsabile di un aumento della concentrazione di polveri, l'agricoltura e gli allevamenti di bestiame, per le emissioni di ammoniaca, che per reazione chimica nell'atmosfera si trasforma in particolato secondario, e le emissioni industriali. Al fine di considerare il complesso dell'inquinamento dovuto a più fonti emmissive, e non solo a quelle di tipo

industriale, sono state utilizzate delle mappe di concentrazione degli inquinanti stimate da uno studio di Stafoggia et al. (2020). Questo studio (Stafoggia et al., 2020) ha stimato i valori medi giornalieri di PM₁₀, PM_{2,5}, NO₂ e O₃ su una griglia di 1 km² per il periodo 2016-2019 utilizzando un approccio di *machine learning* con metodologia *random forest*; tale approccio prevede l'utilizzo di procedure flessibili e automatizzate per la previsione di una variabile target sulla base di osservazioni passate, svelando allo stesso tempo i modelli sottostanti nei dati e affrontando complesse interazioni tra variabili predittive (Liaw and Wiener, 2002). Gli autori hanno implementato il modello con i) dati meteorologici, ii) dati relativi all'utilizzo del suolo, iii) dati di monitoraggio del particolato derivati da tutti i siti disponibili di monitoraggio forniti dall'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca sull'Ambiente (ISPRA) e iv) dati satellitari di profondità ottica degli aerosol che misura il grado in cui le particelle sospese influenzano la trasmissione della luce per assorbimento o dispersione ed è, pertanto, una misura indiretta delle particelle presenti nella colonna d'aria in un dato tempo (Stafoggia et al., 2020). Per tutti gli inquinanti target, dalle stime delle medie giornaliere è stato possibile stimare le concentrazioni medie al suolo del periodo 2016-2019 per ogni cella di 1 km² compresa nel dominio di studio. Tra i diversi inquinanti stimati da Stafoggia et al. (2020) è stato deciso di considerare il PM_{2,5} come rappresentativo per lo studio delle esposizioni di tipo multi-sorgente per i seguenti motivi:

- è rappresentativo di un inquinamento dipendente da più fonti e quindi più sensibile e meno specifico nello studio delle patologie ambiente-correlate;
- è definito polvere toracica che penetra nel tratto tracheobronchiale e può quindi entrare nel circolo sanguigno inducendo effetti sul sistema respiratorio e cardiovascolare. È infatti noto che i principali inquinanti atmosferici antropogenici hanno proprietà fortemente ossidanti e che l'esposizione a questi inquinanti inneschi reazioni infiammatorie polmonari e sistemiche acute e croniche, anche in soggetti giovani e sani (Glencross et al., 2020). Le persone che vivono in un'area con livelli elevati di inquinanti atmosferici sono infatti a maggior rischio di infezioni respiratorie (Grigg, 2018);
- il modello di Stafoggia et al. (2020) per il PM_{2,5} produce stime più attendibili rispetto a quelle per l'NO₂;
- la correlazione tra gli inquinanti PM_{2,5} e NO₂ è alta ($\rho=0,83$; $p<0,001$); questo si traduce nel fatto che se venissero usati gli NO₂ si avrebbero risultati molto simili a livello di distribuzione spaziale.

Nella Figura 4 è riportata la distribuzione spaziale delle concentrazioni delle medie di PM_{2,5} per il periodo 2016-2019 per celle di 1 km² comprese nell'area in studio.

Figura 4. Concentrazioni medie annuali al suolo del particolato PM_{2,5} (in µg/m³) nell'area in studio (Stafoggia et al., 2020).



La Tabella 3 riporta i valori descrittivi della distribuzione di PM_{2,5}.

Tabella 3. Valori descrittivi della distribuzione del particolato PM_{2,5} (in µg/m³) nell'area in studio.

Variabile	Media	DS	25° p	50° p	75° p	90° p	95° p	Min	Max
PM _{2,5}	11,19	2,55	8,77	11,19	13,50	14,39	14,89	6,84	20,21

Note – DS: Deviazione Standard; p: percentile; Min: Minimo; Max: Massimo.

2.3 I dati sanitari

I dati sanitari sono stati forniti in forma pseudonimizzata dall'Agenzia Regionale per la Sanità del Molise (ASReM). In particolare, sono stati forniti:

- i dati di mortalità per il periodo 2006-2019, fonte Registro Nominativo Cause Morte (ReNCaM);
- i dati di ospedalizzazione per il periodo 2006-2019 considerando come fonte le SDO della Regione Molise (ricoveri dei residenti avvenuti dentro e fuori regione). Al fine di stimare solo nuovi ricoveri (casi incidenti), per ogni patologia in studio è stato selezionato il primo ricovero

avvenuto durante il periodo di *follow-up* impiegando i dati del sistema informatico ospedaliero regionale (inclusa la mobilità extra-regionale).

Ai soggetti inclusi nella coorte, in generale, sono stati associati, attraverso un codice pseudonimizzato, i primi ricoveri per ogni patologia in studio e l'evento morte (se avvenuto). L'età alla diagnosi è stata calcolata per differenza tra la data di ricovero e la data di nascita.

- CERTificato Di Assistenza al Parto (CeDAP) per il periodo 2006-2019;
- dati del registro tumori per il periodo 2009-2013.

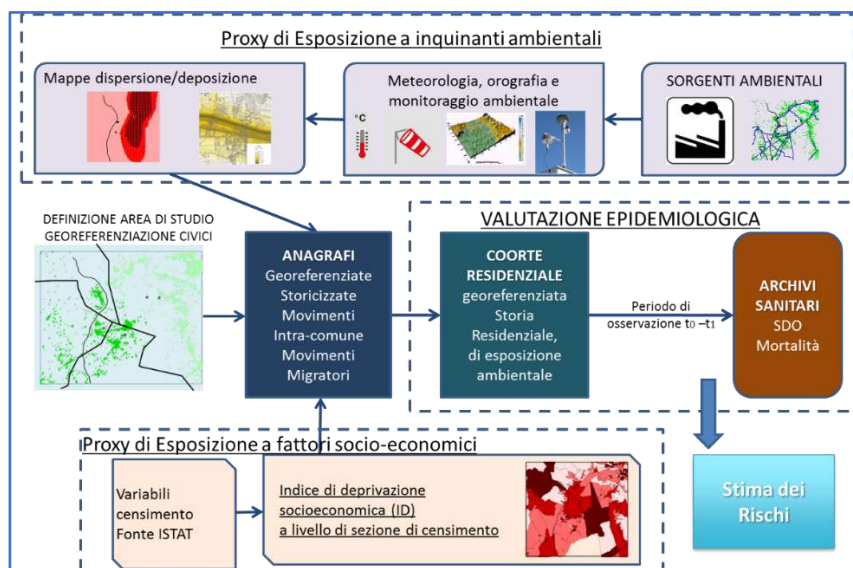
3. Metodi

3.1 Disegno di studio

3.1.1 Lo studio di coorte

Lo studio di coorte è considerato il disegno epidemiologico più avanzato per analizzare gli effetti a medio-lungo termine sulla salute determinati da potenziali fonti di inquinamento (Figura 5).

Figura 5. Schema di uno studio di coorte residenziale retrospettivo.



L'obiettivo principale di uno studio di coorte in ambiente e salute è quello di valutare il rischio per la salute di una coorte di residenti in un definito periodo di *follow-up* rispetto all'inquinamento dovuto sia a singole fonti sia a più sorgenti considerate complessivamente, tenendo conto di fattori di rischio individuali (l'età, il sesso) e di contesto (la deprivazione socio-economica di area di residenza).

Prima del 2010 la maggior parte degli studi era di tipo descrittivo ecologico. Tale approccio, avendo limiti nella definizione dell'esposizione ed essendo affetto da *bias* ecologico, non permette di evidenziare associazioni di rischio ma solo di generare ipotesi di associazione da approfondire mediante studi analitici tra cui quello di coorte. L'approccio di coorte utilizza, a differenza degli studi ecologici, il dato individuale riducendo il *bias* ecologico. Negli studi ecologici non viene, infatti, considerato il tempo a rischio dei soggetti e vengono utilizzate misure poco precise e accurate dell'esposizione ai fattori in studio, come ad esempio la residenza in un'area costituita da uno o gruppi di comuni definita come area di esposizione. Nello studio di coorte, invece, viene stimato il tempo in cui ogni soggetto è considerato a rischio di evento sanitario (anni-persona) e le esposizioni sono stimate utilizzando misure individuali basate su modelli matematici di diffusione degli inquinanti prodotti dagli impianti oggetto di indagine. Nello studio epidemiologico di seguito presentato è stato

utilizzato un approccio retrospettivo di coorte residenziale. La componente retrospettiva dello studio prende in considerazione un'esposizione avvenuta da una determinata data passata e la coorte è definita e osservata da quella stessa data, andando a registrare gli anni-persona e gli eventi in studio fino alla fine del *follow-up* che di solito dipende dalla disponibilità dei dati, anagrafici e sanitari. Uno studio retrospettivo di coorte residenziale è basato sia su dati raccolti dai sistemi informativi correnti (anagrafi comunali e degli assistiti, flussi sanitari come archivi di mortalità, Schede di Dimissione Ospedaliera - SDO) sia su dati di registri di patologia, ove disponibili. L'utilizzo di dati già raccolti rappresenta indubbiamente un vantaggio economico, ma comporta un dispendio di risorse lavorative nella gestione di dati raccolti per altre finalità, in quanto è necessario valutare la completezza, la validità, l'accuratezza e la qualità del dato al fine di ovviare ad errori sistematici di selezione della coorte, di misclassificazione dell'esposizione e dell'evento sanitario. L'approccio retrospettivo è basato sulla ricostruzione della storia residenziale di tutti gli individui e sul loro *follow-up* anagrafico. La geolocalizzazione dei soggetti (attraverso la georeferenziazione, cioè l'assegnazione delle coordinate geografiche, degli indirizzi di residenza) e la disponibilità di mappe (di diffusione e/o di dispersione di determinati inquinanti) per la caratterizzazione ambientale del territorio consentono di ricostruire la storia dell'esposizione ambientale alle diverse fonti di inquinamento.

Un aspetto fondamentale dello studio epidemiologico è proprio la definizione dell'esposizione che deve essere più precisa e accurata possibile. Misure imprecise e poco accurate sono affette da rischio di misclassificazione dell'esposizione che porta, prevalentemente, ad una sottostima dei rischi sulla salute. L'attribuzione di esposizioni individuali basate su modelli di diffusione di inquinanti (considerati come dei validi *proxy* di esposizione) migliora la misura in termini di precisione rispetto all'utilizzo di misure aggregate (aree amministrative) e di misure regolari come la distanza. Per poter ottenere misure individuali è necessario posizionare i soggetti della coorte sul territorio in studio attraverso tecniche di georeferenziazione che utilizzano sistemi di informazione geografica. La distanza tra ogni soggetto georeferenziato e ogni fonte di inquinamento in studio, di tipo lineare (strade, ecc) e puntuale (industrie, inceneritori, discariche, ecc), è la misura di base per poter attribuire un grado di esposizione individuale con sufficiente validità. Per poter migliorare la validità è necessario attribuire esposizioni basate su modelli di diffusione degli inquinanti.

Nel progetto EPIVenafro+7, la misura dell'esposizione è di tipo individuale ed è basata su un modello di diffusione di un inquinante, identificato come *proxy* delle fonti di inquinamento considerate nell'area in studio. Questo studio, inoltre, ha l'aspetto positivo di avere ricostruito la storia, sia di esposizione ad ogni sorgente di inquinamento atmosferico considerata, sia sanitaria di ogni soggetto della coorte. Lo studio ha valutato gli effetti a medio-lungo termine associabili ad esposizioni di medio-lungo periodo. Tali effetti sono stati studiati utilizzando l'ospedalizzazione da fonte SDO e la

mortalità da fonte Registro Regionale. Le stime di rischio associate alle emissioni degli impianti rilevanti considerati nel territorio, oggetto di studio tengono conto di fattori socioeconomici. Lo studio ha valutato anche l'effetto del $PM_{2,5}$ stimato nel complesso dell'area in studio, stimato attraverso modelli di regressione con l'utilizzo di dati territoriali e satellitari. L'approccio di coorte utilizzato consente di fornire stime di rischio valide e di conseguenza utili nel processo decisionale.

3.1.2 Definizione e caratterizzazione del dominio, della coorte e follow-up

La coorte è rappresentata da tutti i soggetti che sono stati residenti negli 8 comuni in studio almeno per un periodo di 6 mesi durante il periodo di *follow-up* (2006-2019).

Gli indirizzi di residenza dei soggetti inclusi nello studio sono stati georeferenziati attraverso la piattaforma GPSVisualizer (<https://www.gpsvisualizer.com/>). Per ogni soggetto è stata ricostruita la storia residenziale attraverso un *follow-up* aperto e dinamico, avendo cioè considerato: i) i movimenti migratori in uscita ed in entrata nell'area, ii) i movimenti migratori all'interno dell'area e iii) le nascite e i decessi dei residenti nell'area, avvenuti durante l'intero periodo di *follow-up* 2006-2019.

3.2 Definizione dell'esposizione

3.2.1 Definizione dell'esposizione alle emissioni dei tre impianti (NO_x) e all'inquinamento atmosferico da $PM_{2,5}$

Per ogni soggetto georeferenziato è stata ricostruita la storia di esposizione intra-area durante il periodo di *follow-up* considerando i movimenti migratori all'interno dell'area. Nel dettaglio, ad ogni indirizzo georeferenziato è stata attribuita la concentrazione di NO_x e di $PM_{2,5}$ in quella precisa coordinata fornita dalle mappe mostrate nelle Figure 6 e 7.

Figura 6. Distribuzione degli indirizzi di residenza secondo la distribuzione degli ossidi di azoto (NO_x) (inquinante proxy dei tre impianti presenti nell'area in studio) sviluppata dall'Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima del CNR, con catena modellistica WRF/CALMET/CALPUFF (anno di riferimento 2016).

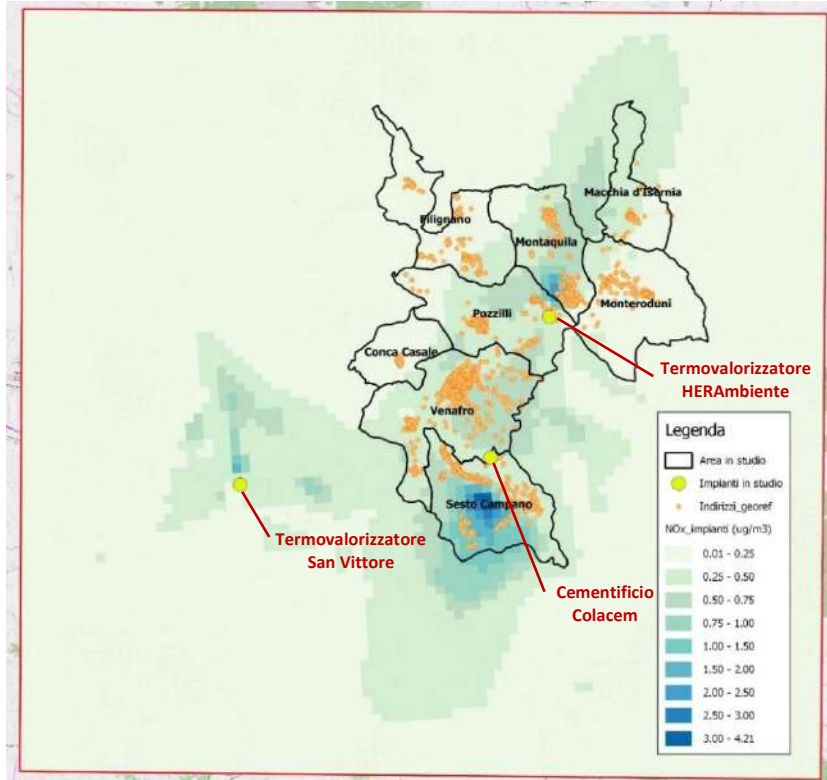
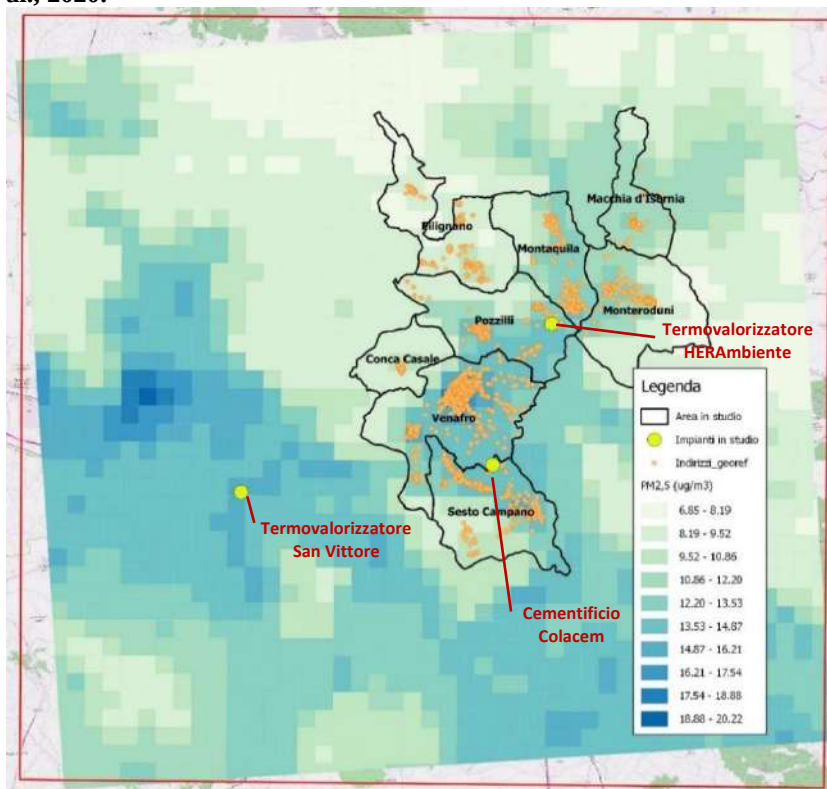


Figura 7. Distribuzione degli indirizzi di residenza secondo la distribuzione del particolato $\text{PM}_{2.5}$ di Stafoggia et al., 2020.



3.2.2 Definizione delle classi di esposizione a ossidi di azoto (NO_x) da impianti e a inquinamento atmosferico da $\text{PM}_{2,5}$

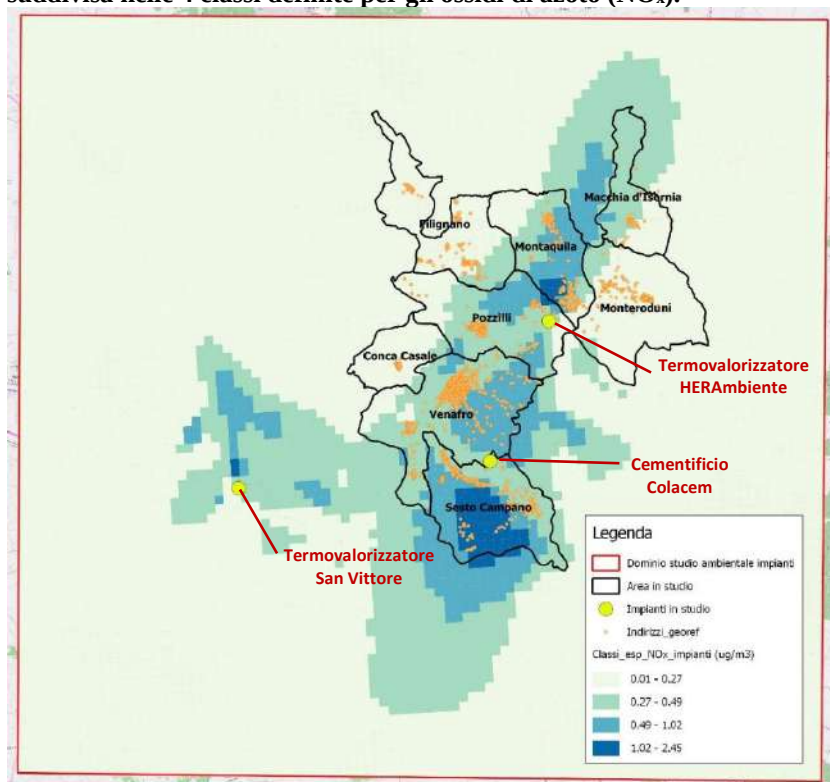
Ogni esposizione individuale è stata classificata secondo 4 livelli di esposizione a inquinamento atmosferico, sia per gli NO_x da impianti sia per il $\text{PM}_{2,5}$.

Per gli NO_x , i livelli di esposizione sono stati definiti sulla base della distribuzione delle esposizioni individuali di NO_x utilizzando la metodologia “*natural break*”. Tale metodo raggruppa in classi i dati di esposizione individuale cercando di ridurre al minimo la deviazione media di ciascuna classe dalla media della classe, massimizzando la deviazione di ciascuna classe dalla media delle altre classi; in parole più tecniche il metodo identifica i livelli che minimizzano la varianza all'interno delle classi e massimizzano quella tra le classi (Jenks, 1967).

In particolare, le 4 classi di esposizione sono state definite secondo i seguenti livelli (Figura 8):

- classe 1 (classe meno esposta di riferimento): 0,01-0,27 $\mu\text{g}/\text{m}^3$;
- classe 2: 0,27-0,49 $\mu\text{g}/\text{m}^3$;
- classe 3: 0,49-1,02 $\mu\text{g}/\text{m}^3$;
- classe 4 (classe con maggiore esposizione): 1,02-2,45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

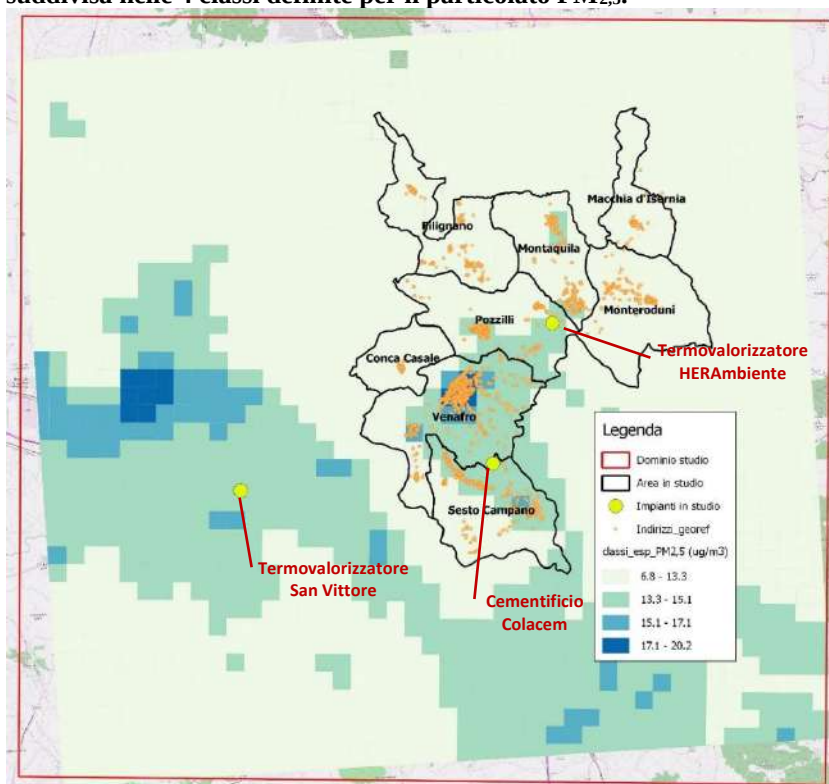
Figura 8. Attribuzione della classe di esposizione alla coorte residenziale attraverso la mappa di dispersione suddivisa nelle 4 classi definite per gli ossidi di azoto (NO_x).



Per il PM_{2,5}, i livelli di esposizione sono stati definiti sulla base dei quartili calcolati sulla distribuzione delle esposizioni individuali a PM_{2,5}. In particolare, le 4 classi di esposizione sono state così definite (Figura 9):

- classe 1 (classe meno esposta di riferimento): 6,8-13,3 µg/m³;
- classe 2: 13,3-15,1 µg/m³;
- classe 3: 15,1-17,1 µg/m³;
- classe 4 ((classe con maggiore esposizione): 17,1-20,2 µg/m³.

Figura 9. Attribuzione della classe di esposizione alla coorte residenziale attraverso la mappa di concentrazione suddivisa nelle 4 classi definite per il particolato PM_{2,5}.



3.2.3 Definizione dell'esposizione a traffico veicolare intenso

Nel caso di mancanza di disponibilità di mappe di diffusione è possibile utilizzare la distanza dalle sorgenti come *proxy* di esposizione ambientale. Questo metodo è stato utilizzato per definire una esposizione della popolazione in studio al traffico veicolare che, sull'intera area in studio e in particolare sulla città di Venafro, esercita una significativa pressione ambientale. Per le principali strade statali che insistono sul territorio è stato calcolato un buffer di 200 m (100 m a destra e a sinistra della linea di mezzzeria) (Figura 10). L'appartenenza o meno dei soggetti della coorte al buffer è stata utilizzata come esposizione al traffico veicolare delle principali strade del territorio (Figura 11).

Figura 10. Le principali strade che insistono nell'area in studio, con un buffer di 100 m a destra e a sinistra della linea di mezzzeria.

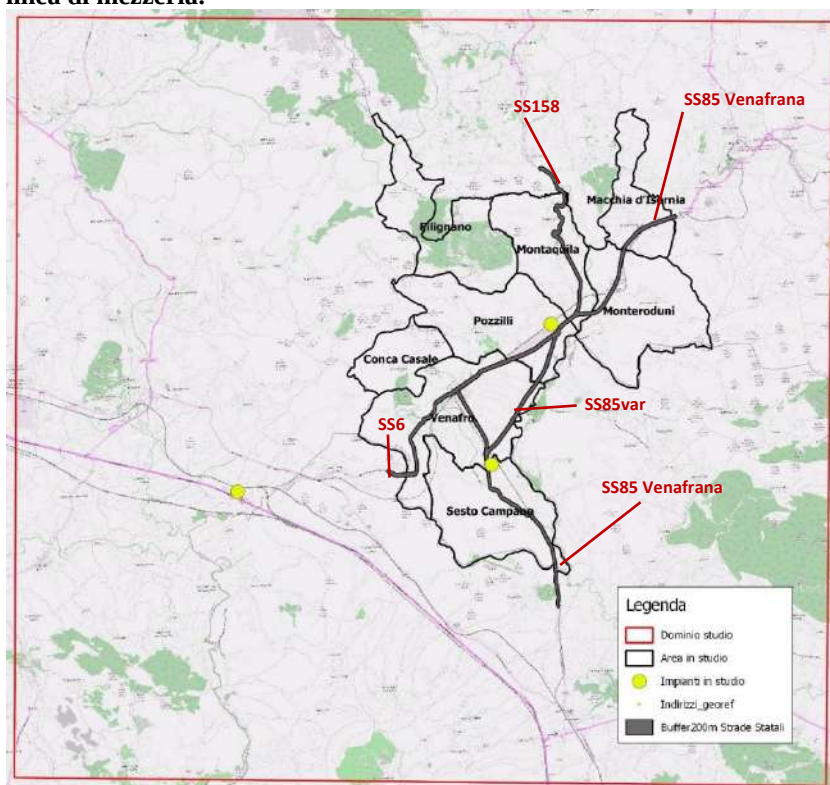
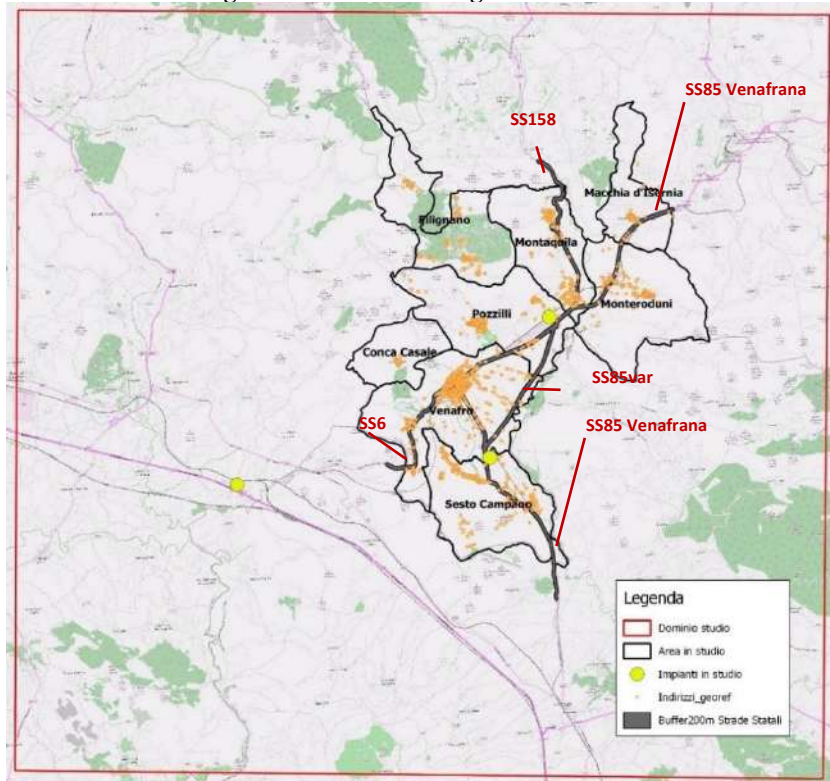


Figura 11. Le principali strade che insistono nell'area in studio con un buffer di 100 m a destra e a sinistra della linea di mezzzeria e georeferenziazione degli indirizzi di residenza dell'area in studio.



3.2.4 Definizione dell'esposizione a fattori socio-economici

Lo stato socio economico, essendo riportato in letteratura come associato sia all'esito sanitario sia ai fattori ambientali è stato considerato come un confondente della relazione in studio. La misura indiretta dei fattori socio-economici è di solito definita attraverso un Indicatore di Deprivazione socio-economica (ID) calcolato a livello di sezione di censimento utilizzando variabili del censimento della popolazione di fonte ISTAT. Dal sito dell'ISTAT sono state recuperate le mappe dei confini amministrativi degli 8 comuni in studio suddivise in sezioni di censimento al 2011. Per ogni sezione di censimento è stato calcolato l'ID sulla base della metodologia di Rosano et al. (2020) (Rosano et al., 2020). L'ID è calcolato sulla base di 5 variabili del censimento della popolazione del 2011:

- percentuale di popolazione con istruzione pari o inferiore alla licenza elementare (mancato raggiungimento obbligo scolastico);
- percentuale di popolazione attiva disoccupata o in cerca di prima occupazione;
- percentuale di abitazioni occupate in affitto;
- percentuale di famiglie monogenitoriali con figli dipendenti conviventi;
- densità abitativa (numero di occupanti per 100 m²).

L'ID è una variabile continua e rappresenta la distribuzione degli scarti della deprivazione socioeconomica di ogni sezione di censimento dell'area in studio rispetto alla deprivazione media regionale. Successivamente ad ogni soggetto è stato attribuito il valore di ID della sezione di censimento all'interno della quale ricade la coordinata geografica della prima residenza. La distribuzione degli ID della coorte è stata suddivisa in 5 classi di deprivazione (alta, medio-alta, media, medio-bassa, bassa) secondo i livelli definiti dai quintili della distribuzione (Figura 12).

REGIONE MOLISE GIUNTA REGIONALE
Protocollo Arrivo N. 139330/2022 del 16-08-2022
Allegato 3 - Copia Documento



23

Tabella 4. Cause in studio selezionate sulla base delle evidenze scientifiche e relativi codici della Classificazione Internazionale delle Malattie, IX (International Classification of Disease, 9th revision – ICD9) e X (ICD10) revisione.

CAUSE IN STUDIO	Codice ICD9	Codice ICD10
TUTTE LE CAUSE NATURALI	1-799	A00-R99
MALATTIE DEL SISTEMA NERVOSO	320-359	G00-G99
MALATTIE DEL SISTEMA CIRCOLATORIO	390-459	I00-I99
Malattie cardiache	390-429	I00-I52
Malattie ischemiche del cuore	410-414	I20-I25
<i>Infarto miocardico acuto</i>	410	I21
Malattie cerebrovascolari	430-438	I60-I69
MALATTIE DELL'APPARATO RESPIRATORIO	460-519	J00-J99
Malattie respiratorie acute	460-466; 480-487	J00-J06; J10-J18; J20-J22
Malattie croniche delle basse vie respiratorie (<i>eccetto asma</i>)	490-492; 494,496	J40-J44; J47
Asma	493	J45, J46

Per quanto riguarda le cause di tipo cancerogeno, deve essere sottolineato che per essere considerate correttamente come indicatori di salute associabili ai fattori ambientali in studio, sarebbe necessario avere a disposizione dati (anagrafici, sanitari e ambientali) per almeno un ventennio, poiché sono cause caratterizzate da tempi di induzione-latenza lunghi, di almeno venti anni. Nel caso dello studio EPIVenafro+7, non è possibile reperire i dati corrispondenti a questa ampia finestra temporale, per cui, le cause riportate in Tabella 5, dato che costituiscono comunque una fonte di interesse locale, verranno analizzate esclusivamente a scopo descrittivo, cioè per evidenziare eventuali segnali di rischio da approfondire con studi mirati. Le analisi relative al diabete e ai disturbi della ghiandola tiroidea sono anch'esse a titolo descrittivo in quanto per essere analizzate in modo accurato sarebbe necessario reperire i dati sulle prescrizioni farmaceutiche che in questa fase di studio non erano disponibili.

Tabella 5. Cause in studio selezionate sulla base dell'interesse locale e riportare a solo scopo descrittivo, con i relativi codici della Classificazione Internazionale delle Malattie, IX (International Classification of Disease, 9th revision – ICD9) e X (ICD10) revisione.

CAUSE IN STUDIO	Codice ICD9	Codice ICD10
TUMORI MALIGNI	140-208	C00-C97
Tumori maligni del fegato e dei dotti biliari intraepatici	155	C22
Tumori maligni della trachea, dei bronchi e del polmone	162	C33, C34
Tumori maligni del connettivo e di altri tessuti molli	171	C49
Tumori maligni della mammella della donna e nell'uomo	174,175	C50
Tumori maligni del sistema nervoso centrale	191-192	C70-C72
Tumori maligni del tessuto linfatico ed emopoietico	200-208	C81-C96
<i>Linfoma non-Hodgkin</i>	200,202	C82-C85
<i>Leucemie</i>	204-208	C91-C95
DISTURBI DELLA GHIANDOLA TIROIDEA	240-246	E00-E07
DIABETE	250	E10-E14

3.4 Il modello statistico per la stima delle associazioni di rischio

Lo studio è suddiviso in due analisi considerate separatamente: analisi delle associazioni di rischio con le esposizioni agli NO_x da impianti e una seconda analisi considerando l'esposizione a PM_{2,5}. Per studiare le associazioni di rischio di mortalità/morbosità causa-specifica della coorte con le esposizioni di interesse è stato usato un modello di regressione multipla di Cox tempo-dipendente. Con tale modello le associazioni di rischio sono state calcolate considerando riferimenti interni all'area in studio, cioè gli indicatori di associazione di rischio sono stati calcolati come rapporto tra rischi (*Hazard Ratio* – HR) ovvero il rapporto tra il rischio di morte/ospedalizzazione della popolazione nelle classi più esposte a inquinamento atmosferico, prendendo come riferimento il rischio di morte/ospedalizzazione della popolazione nella classe a minore esposizione. Le associazioni di rischio tra inquinanti e indicatori di salute in studio sono state fornite depurando dall'effetto dell'età, della vicinanza alle strade principali del territorio e dalla deprivazione socio-economica. Nel dettaglio gli HR sono stati aggiustati per classi di età (0-44; 45-54; 55-64; 65-74; 75-84, 85+), vicinanza o meno alle strade selezionate nei metodi e per classi di ID (bassa, medio-bassa, media, medio-alta, alta). Gli HR sono corredati, sia dall'Intervallo di Confidenza al 95% di probabilità (IC95%) sia dalla forza dell'evidenza empirica a favore dell'ipotesi di associazione tra inquinanti in studio e rischio di mortalità/opsedalizzazione (1-*p*, con valori compresi tra 0 e 1). In altre parole, l'indicatore 1-*p* rappresenta una misura in termini di probabilità di quanto è credibile l'ipotesi di associazione di rischio stimata: maggiore è 1-*p* maggiore sarà la forza dell'evidenza di una ipotesi di rischio di salute associato all'esposizione in studio (Biggeri et al., 2022). Per ogni causa di morte e ricovero in studio è stato inoltre calcolato il trend dei rischi di mortalità/ospedalizzazione causa-specifica all'aumentare di 1 µg/m³ di inquinante, corredato dal *p-value*. Le analisi sono state eseguite separatamente per sesso utilizzando STATA v.13 [StataCorp. 2013. Stata Statistical Software: Release 13. College Station, TX: StataCorp LP].

4. Risultati

4.1 Dati anagrafici – Ricostruzione storia residenziale

Ad ogni comune era stato richiesto di fornire le LAC per il periodo di *follow-up* (2006-2019). Non tutti i comuni hanno potuto fornire le LAC e hanno inviato più file separati, quali Nati, Morti, Emigrati, Immigrati, Cambi di residenza e Residenti attuali; alcuni comuni, inoltre, non hanno fornito i dati relativi a tutti gli anni del *follow-up* (Tabella 6).

Tabella 6. Tipo di dato fornito per comune e relativo periodo di riferimento.

Comune	LAC/No LAC	Periodo	Metodologia ricostruzione storia residenziale
Filignano	LAC	2006-2020	Procedura automatica (tramite <i>query</i>)
Venafro		2006-2020	
Montaquila		2008-2020	
Macchia d'Isernia		2009-2020	
Conca Casale	No LAC	2006-2020	Inizialmente procedura automatica e successivamente procedura manuale
Monteroduni		2006-2020	
Pozzilli		2006-2020	
Sesto Campano		2006-2020	

Nel caso dei comuni che hanno fornito le LAC, la storia residenziale è stata semplicemente ottenuta con un processo automatico (una *query*) col quale è stato definito un data set finale contenente, oltre a tutti i dati presenti nel file iniziale, due campi aggiuntivi che identificano l'anno di inizio e l'anno di fine residenza del soggetto in quell'indirizzo.

Nel caso dei comuni che, invece, non hanno fornito le LAC, ma più file, a parte alcune *query* iniziali automatiche, la ricostruzione della storia residenziale è avvenuta manualmente. Il procedimento è lungo e impegnativo e, in questo caso specifico, ci sono voluti all'incirca 5 mesi per completare la ricostruzione della storia residenziale di tutti gli otto comuni. Durante questa fase è comune perdere una minima percentuale di soggetti a causa di alcuni “problemi fisiologici” tipici di ogni anagrafe, per esempio soggetti che nelle LAC non hanno indirizzo, soggetti per i quali si conosce la data di iscrizione ma non le date del cambio residenza, soggetti che presentano solo la data di nascita/immigrazione ma non l'indirizzo ecc. Non appena terminata la procedura di controllo della completezza e della qualità del dato e aver corretto eventuali problematiche anagrafiche relative al codice fiscale, è stata effettuata la pseudonimizzazione in modo da creare un codice univoco per ogni individuo così da poter eliminare ogni dato sensibile dal dataset. Successivamente, con il supporto dell'amministrazione comunale di Venafro, sono stati georeferenziati tutti gli indirizzi presenti nel dataset relativo alla ricostruzione della storia residenziale. La coorte residenziale ricostruita è aperta e dinamica, avendo considerato: i movimenti migratori in uscita ed in entrata nell'area, i movimenti migratori in uscita e in entrata nell'area, i movimenti migratori avvenuti all'interno dell'area, le

nascite e i decessi dei residenti nell'area, avvenuti durante l'intero periodo di *follow-up*. I soggetti che fanno parte della coorte sono 29.495 (soggetti univoci) per un totale di 317.792 anni persona.

4.2 Dati sanitari

4.2.1 Registro Nominativo Cause di Morte (ReNCaM)

Per quanto riguarda i dati del ReNCaM (periodo 2006-2019), tutti i comuni hanno fornito i dati per il periodo di *follow-up* tranne Monteroduni che ha inviato i dati a partire dal 2010. I data set erano caratterizzati da una parte di CF mancanti che sono stati poi recuperati così come sono state successivamente corrette varie incongruenze. Una volta sistemato il dataset, al momento del *linkage* con le LAC, è emersa la problematica per cui alcuni soggetti non si linkavano alle LAC o erano caratterizzati da errori dovuti alla compilazione manuale del ReNCaM (CF doppi, incongruenze di sesso, data nascita/morte e comune di residenza). Una volta corretti anche questi errori sono state estratte solo le cause di interesse definite nel paragrafo 2.3 (A00-R99; N=3,049 soggetti ReNCaM) ed è stato effettuato il *linkage* con l'anagrafe ottenendo un dataset di 2.708 soggetti, per cui, rispetto al dataset di partenza, è stato perso il 4,9 dei soggetti. In studi di questo tipo, una perdita fino al 10% è considerata fisiologica ed accettabile.

4.2.2 Schede di Dimissione Ospedaliera (SDO)

Le SDO, sia attive sia passive (extra-regionali) sono state fornite da tutti i comuni per il periodo 2006-2019. Ad un primo controllo, la qualità di questi dati sembrava soddisfacente ma anche in questo caso erano presenti errori nei CF, nel sesso ecc., come spesso accade in archivi di dati routinari. Una volta corretti gli errori ed estratto tramite procedura automatica il primo ricovero, è stato ottenuto un dataset di 16.371 soggetti. Linkando il dataset all'anagrafe sono stati ottenuti 14.688 (90% circa dei 16.371 soggetti iniziali) col primo ricovero per cause naturali. A differenza di quanto avviene per il ReNCaM, in questo caso si perde il 10% dei dati. Deve essere precisato che queste tipologie di errori nei vari dataset si riscontrano sempre in studi di questo tipo e sono errori fisiologici sia delle anagrafi sia degli archivi sanitari. Nonostante la perdita di circa il 10% rispetto ai dati iniziali per le SDO, la numerosità ci consente di effettuare le analisi statistiche con un'adeguata attendibilità.

4.2.3 Certificato Di Assistenza al Parto (CeDAP)

In seguito al controllo di qualità e completezza del dato, è stata riscontrata una qualità carente del database che, in questa fase, non ha consentito di effettuare le analisi del CeDAP (in particolare non è stato possibile utilizzare il campo che consente il *linkage* in modo univoco tra il dato della madre e quello del bambino).

4.2.4 Registro tumori

Il registro tumori fornito copre un periodo di studio limitato (2009-2013) rispetto a quello prefissato nello studio (2006-2019); i dati a disposizione non sono, quindi, rappresentativi della situazione attuale (avremmo inoltre bisogno di un set di dati di almeno 20 anni) e, sapendo che i tumori selezionati saranno descritti al fine di fornire un profilo di salute aggiornato, è stato deciso di non considerare i dati del registro tumori. La descrizione dei tumori in studio verrà effettuata tramite i dati delle SDO che comunque sono in grado di fornire una valida descrizione.

4.2.5 Guida alla lettura e interpretazione dei risultati sulle associazioni di rischio

Nei prossimi due paragrafi verranno illustrati i risultati delle analisi di mortalità e di ospedalizzazione, suddivisi a loro volta, per inquinante e in base alle cause, quelle supportate dalle evidenze scientifiche e quelle analizzate a puro scopo descrittivo.

Prima di passare alla descrizione dei risultati, si riporta di seguito una piccola guida all'interpretazione, in modo da rendere la lettura più semplice:

- gli HR basati su meno di 3 casi non sono stati riportati sia per motivi di *privacy* sia per l'alta imprecisione delle stime;
- sono stati commentati solo quei risultati significativi che si riferiscono alle classi 3 e 4 di esposizione a inquinamento atmosferico in virtù del fatto che queste rappresentano le classi maggiormente esposte all'inquinamento atmosferico da NO_x o da PM_{2,5};
- per non appesantire ulteriormente la lettura, si precisa che i commenti ad eventuali eccessi di rischio osservati nelle classi più esposte vengono riportati facendo sempre riferimento alla classe di esposizione al livello più basso di inquinamento atmosferico, cioè la classe di riferimento (classe 1);
- i risultati non sono stati commentati riferendosi a un'erronea classificazione dei risultati “statisticamente significativi con $1-p > 0,95$ ” e “non significativi con $1-p < 0,95$ ” ma sono stati commentati riportando il valore osservato di probabilità ($1-p$ come definito nel paragrafo 3.4) in accordo con la recente letteratura scientifica che raccomanda di andare oltre il concetto di significatività statistica e di riportare anche le associazioni di rischio che nonostante non siano statisticamente significative possono essere indicative di criticità da approfondire con studi più potenti in grado di ridurre l'incertezza (Wasserstein et al., 2019). Considerato questo, è stato ritenuto opportuno commentare i risultati più significativi in termini di forza dell'associazione di rischio (HR), forza dell'evidenza empirica a favore dell'ipotesi di associazione di rischio ($1-p$) e grado di precisione della stima (IC95%).

I risultati vengono quindi descritti riportando:

- la numerosità - numero dei soggetti sui quali si basa la stima del rischio;
- il valore di HR - un valore di HR superiore ad 1 indica un rischio maggiore (un valore inferiore a 1 indica un rischio minore) rispetto alla classe di riferimento;
- l'intervallo di confidenza al 95% di probabilità - poiché stiamo parlando di stime, rappresenta l'intervallo all'interno del quale si confida, con una probabilità del 95%, di trovare il valore esatto di rischio;
- il valore 1-*p*, ovvero la forza dell'evidenza empirica a favore dell'ipotesi di un'associazione di rischio; ad esempio un valore di 1-*p*=0,95 significa che la forza dell'evidenza a favore di un'associazione tra esposizione e rischio di evento sanitario è del 95% (all'aumentare di 1-*p* aumenta la forza dell'evidenza).

4.3 Risultati delle analisi di mortalità

4.3.1 Mortalità - Cause selezionate sulla base delle evidenze scientifiche – NO_x impianti

Dai risultati delle analisi di mortalità in associazione ad NO_x da impianti, in classe 3 si osserva, per tutte le cause naturali, un eccesso di rischio in entrambi i sessi; in particolare tra gli uomini pari al 15% con una forza dell'evidenza empirica a favore di un eccesso di rischio pari all'87,6%, e nelle donne è del 16% con una forza dell'evidenza pari al 90,5% (U - n=249; HR=1,15; IC95% 0,96-1,38; 1-*p*=0,876; D - n=273; HR=1,16; IC95% 0,97-1,38; 1-*p*=0,905) (Tabella 7). Si osserva, inoltre, un trend di aumento del rischio di mortalità tra gli uomini pari al 21% per incrementi di 1 µg/m³ di NO_x con una probabilità a favore dell'ipotesi di aumento del rischio pari all'84,5% (HR_{trend}=1,21; 1-*p*=0,845) (Tabella 7). Da notare che per l'area a più alta esposizione, tra gli uomini non si osservano eccessi di rischio degni di nota mentre per le donne c'è una tendenza ad una diminuzione del rischio anche se basato su un numero ridotto di casi (n=13; HR=0,65; IC95% 0,37-1,14; 1-*p*=869).

Per le malattie del sistema circolatorio, si osserva un eccesso di mortalità in entrambi i sessi in classe 3; in particolare tra gli uomini l'eccesso di rischio è del 37%, con una probabilità del 97,7% e tra le donne è del 27% con una probabilità del 95,6% (U: n=118; HR=1,37; IC95% 1,04-1,79; 1-*p*=0,977; D: n=160; HR=1,27; IC95% 1,01-1,60; 1-*p*=0,956) (Tabella 7). Da notare che per l'area a più alta esposizione non si osservano eccessi di rischio degni di nota (Tabella 7).

Si riporta anche un trend di aumento del rischio di mortalità tra gli uomini pari al 40% per incrementi di 1 µg/m³ di NO_x (HR_{trend}=1,40; 1-*p*=0,919) (Tabella 7).

Per le malattie cardiache, sia in classe 3 sia in classe 4, si osservano eccessi di mortalità in entrambi i sessi (Tabella 7). In classe 3, tra gli uomini, si osserva un eccesso di mortalità del 32% con una probabilità dell'88,3% (n=71; HR=1,32; IC95% 0,93-1,87; 1-*p*=0,883) mentre tra le donne l'eccesso

di rischio è del 49% con una forza dell'evidenza in tale eccesso pari al 98,9% (n=101; HR=1,49; IC95% 1,10-2,04; 1-p=0,989) (Tabella 7). Tra gli uomini in classe 4 si osserva un eccesso di mortalità del 95% con una probabilità del 94,6% anche se la stima è imprecisa in quanto basata su pochi casi (n=10; HR=1,95; IC95% 0,99-3,85; 1-p=0,946) mentre tra le donne non si osservano eccessi di mortalità (n=6; HR=0,94; IC95% 0,41-2,18; 1-p=0,114) (Tabella 7). Si riporta un trend di aumento del rischio di mortalità tra gli uomini pari al 51% per incrementi unitari di NO_x con una forza dell'evidenza del 92,2% (HR_{trend}=1,51; 1-p=0,922) (Tabella 7).

Per le malattie cerebrovascolari si osserva un eccesso di mortalità in entrambi i sessi per la classe 3 di esposizione. Gli uomini presentano un eccesso di rischio del 150% con una probabilità del 99,9% (n=38; HR=2,50; IC95% 1,44-4,35; 1-p=0,999) mentre tra le donne si osserva un eccesso di mortalità pari al 41% meno marcato e con una forza nell'evidenziare tale rischio più ridotta pari all'88,5% (n=49; HR=1,41; IC95% 0,92-2,17; 1-p=0,885) (Tabella 7).

Tabella 7. Risultati delle analisi di mortalità per le cause scelte a priori sulla base delle evidenze scientifiche per periodo di esposizione agli ossidi di azoto (NO_x), sesso e classe di esposizione agli NO_x (periodo 2006-2019, aggiustate per classi di età e indice di deprivazione socio-economico).

Causa (cod. ICD-X)	Classe esp.	UOMINI				DONNE			
		n	HR	1-p	IC95%	n	HR	1-p	IC95%
Tutte le cause naturali (A00-R99)	1 (rif.)	267				293			
	2	803	1,13	0,888	0,97-1,31	787	1,03	0,328	0,89-1,19
	3	249	1,15	0,876	0,96-1,38	273	1,16	0,905	0,97-1,38
	4	23	1,19	0,572	0,77-1,84	13	0,65	0,869	0,37-1,14
	HR _{trend}		1,21	0,845	0,93-1,58		0,95	0,299	0,72-1,25
Malattie del sistema nervoso (G00-G99)	1 (rif.)	7				12			
	2	34	2,02	0,883	0,84-4,88	26	1,15	0,295	0,55-2,42
	3	7	1,33	0,392	0,45-3,97	7	0,84	0,277	0,31-2,24
	4	<3				<3			
	HR _{trend}		n.c.				n.c.		
Malattie del sistema circolatorio (I00-I99)	1 (rif.)	113				151			
	2	334	1,18	0,835	0,94-1,48	407	1,07	0,483	0,87-1,31
	3	118	1,37	0,977	1,04-1,79	160	1,27	0,956	1,01-1,60
	4	11	1,35	0,654	0,72-2,54	8	0,68	0,700	0,33-1,40
	HR _{trend}		1,40	0,919	0,96-2,05		0,96	0,187	0,66-1,38
Malattie cardiache (I00-I52)	1 (rif.)	68				79			
	2	225	1,28	0,905	0,96-1,72	265	1,33	0,963	1,02-1,75
	3	71	1,32	0,883	0,93-1,87	101	1,49	0,989	1,10-2,04
	4	10	1,95	0,946	0,99-3,85	6	0,94	0,114	0,41-2,18
	HR _{trend}		1,51	0,922	0,95-2,39		1,18	0,554	0,77-1,83
Malattie ischemiche del cuore (I20-I25)	1 (rif.)	24				23			
	2	66	0,99	0,032	0,60-1,64	66	1,10	0,286	0,66-1,84
	3	18	0,90	0,256	0,47-1,71	25	1,01	0,035	0,56-1,85
	4	3	1,69	0,593	0,49-5,79	<3			
	HR _{trend}		1,40	0,542	0,57-3,41		n.c.		
Infarto miocardico acuto (I21)	1 (rif.)	10				10			
	2	22	0,73	0,542	0,32-1,67	23	0,81	0,393	0,36-1,81
	3	6	0,52	0,774	0,18-1,51	6	0,56	0,714	0,19-1,63
	4	<3				<3			
	HR _{trend}		n.c.				n.c.		
Malattie cerebrovascolari (I60-I69)	1 (rif.)	21				42			
	2	75	1,60	0,924	0,95-2,68	113	1,08	0,293	0,74-1,57
	3	38	2,50	0,999	1,44-4,35	49	1,41	0,885	0,92-2,17
	4	<3				<3			
	HR _{trend}		n.c.				n.c.		

Malattie dell'apparato respiratorio (J00-J99)	1 (rif.)	32				22			
	2	78	0,93	0,238	0,60-1,46	46	0,90	0,304	0,52-1,55
	3	19	0,74	0,674	0,41-1,34	16	1,01	0,033	0,52-1,99
	4	<3				<3			
	HR _{trend}		n.c.				n.c.		
<i>Malattie respiratorie acute (J00-J06; J10-J18; J20-J22)</i>	1 (rif.)	10				4			
	2	27	1,11	0,205	0,50-2,47	14	1,34	0,380	0,42-4,26
	3	5	0,73	0,415	0,24-2,23	8	2,31	0,815	0,67-8,00
	4	<3				<3			
	HR _{trend}		n.c.				n.c.		
<i>Malattie croniche delle basse vie respiratorie (eccetto asma-9) (J40-J44; J47)</i>	1 (rif.)	9				11			
	2	27	1,19	0,331	0,53-2,69	12	0,51	0,843	0,20-1,30
	3	7	0,92	0,134	0,33-2,55	<3			
	4	<3				<3			
	HR _{trend}		n.c.				n.c.		
<i>Asma (J45-J46)</i>	1 (rif.)	<3				<3			
	2	<3				<3			
	3	<3				<3			
	4	<3				<3			
	HR _{trend}		n.c.				n.c.		

Legenda: ICD-X: International Classification of Diseases, X revision; U: uomini; D: donne; n: numerosità; HR: Hazard Ratio; IC95%: Intervallo di Confidenza al 95% di probabilità; 1-p: forza dell'evidenza a favore di un eccesso/difetto di rischio di mortalità; HR_{trend}: trend del rischio per l'aumento di 1 µg/m³ di NO_x; 1 (rif.): classe di esposizione 1, riferimento (0,01-0,27 µg/m³); 2: classe di esposizione 2 (0,27-0,49 µg/m³); classe di esposizione 3 (0,49-1,02 µg/m³); classe di esposizione 4 (1,02-2,47 µg/m³); n.c.: non calcolato.

4.3.2 Mortalità - Cause selezionate a livello puramente descrittivo – NO_x impianti

Per quanto riguarda le cause selezionate di interesse locale, per le quali le analisi sono state condotte esclusivamente a scopo puramente descrittivo, per il diabete, si osserva, tra gli uomini in classe 3, un eccesso di rischio del 152% con una forza nell'evidenza dell'ipotesi di eccesso di rischio pari al 90,1% anche se la stima è imprecisa considerata l'esigua numerosità dei casi (n=11; HR=2,52; IC95% 0,84-7,55; 1-p=0,901) (Tabella 8).

Complessivamente, si fa notare che per tutte le patologie il numero di casi osservati nell'area a più alta esposizione è inferiore a 3 (Tabella 8).

Tabella 8. Risultati delle analisi di mortalità per le cause selezionate a livello puramente descrittivo per periodo di esposizione agli ossidi di azoto (NO_x), sesso e classe di esposizione agli NO_x (periodo 2006-2019, aggiustate per classi di età e indice di deprivazione socio-economico).

Causa (cod. ICD-X)	Classe esp.	UOMINI				DONNE			
		n	HR	1-p	IC95%	n	HR	1-p	IC95%
Tumori maligni (C00-C97)	1 (rif.)	79				57			
	2	239	1,06	0,299	0,80-1,39	178	1,01	0,072	0,73-1,40
	3	62	0,89	0,501	0,62-1,26	45	0,94	0,250	0,62-1,41
	4	8	1,40	0,625	0,66-2,96	<3			
	HR _{trend}		1,19	0,495	0,71-2,00		0,57	0,857	0,26-1,21
Tumori maligni del fegato e dei dotti biliari intraepatici (C22)	1 (rif.)	<3				3			
	2	14	3,64	0,891	0,75-17,69	5	0,77	0,243	0,15-4,07
	3	<3				<3			
	4	<3				<3			
	HR _{trend}	n.c.				n.c.			
Tumori maligni della trachea dei bronchi e del polmone (C33-C34)	1 (rif.)	20				5			
	2	48	0,78	0,614	0,44-1,37	18	1,12	0,170	0,39-3,20
	3	17	1,06	0,138	0,53-2,11	7	1,59	0,543	0,47-5,36
	4	<3				<3			
	HR _{trend}	n.c.				n.c.			

Tumori maligni del connettivo e di altri tessuti molli (C49)	1 (rif.)	<3				<3			
	2	<3					3	0	
	3	<3				<3			
	4	<3				<3			
	HR _{trend}	n.c.				n.c.			
Tumori maligni della mammella della donna e nell'uomo (C50)	1 (rif.)	<3				6			
	2	<3				40	2,08	0,885	0,84-5,19
	3	<3				8	1,48	0,512	0,49-4,47
	4	<3				<3			
	HR _{trend}	n.c.				n.c.			
Tumori maligni del sistema nervoso centrale (C70-C72)	1 (rif.)	<3				<3			
	2	10	1,23	0,205	0,26-5,72	8	2,03	0,586	0,37-11,06
	3	3	1,05	0,043	0,16-6,74	<3			
	4	<3				<3			
	HR _{trend}	n.c.				n.c.			
Tumori maligni del tessuto linfatico ed emopoietico (C81-C96)	1 (rif.)	8				13			
	2	25	1,22	0,349	0,51-2,93	16	0,37	0,983	0,17-0,84
	3	5	0,66	0,506	0,20-2,16	5	0,39	0,913	0,13-1,15
	4	<3				<3			
	HR _{trend}	n.c.				n.c.			
Linfoma non-Hodgkin (C82-C85)	1 (rif.)	<3				5			
	2	6	3,76	0,749	0,39-36,13	5	0,39	0,835	0,1-1,48
	3	<3				<3			
	4	<3				<3			
	HR _{trend}	n.c.				n.c.			
Leucemie (C91-C95)	1 (rif.)	3				7			
	2	9	0,98	0,027	0,24-3,92	7	0,27	0,970	0,08-0,88
	3	3	0,83	0,166	0,15-4,58	<3			
	4	<3				<3			
	HR _{trend}	n.c.				n.c.			
Disturbi della ghiandola tiroidea (E00-E07)	1 (rif.)	<3				<3			
	2	<3				<3			
	3	<3				<3			
	4	<3				<3			
	HR _{trend}	n.c.				n.c.			
Diabete (E10-E14)	1 (rif.)	5				13			
	2	17	1,24	0,310	0,44-3,50	27	0,76	0,546	0,37-1,56
	3	11	2,52	0,901	0,84-7,55	6	0,59	0,697	0,21-1,61
	4	<3				<3			
	HR _{trend}	n.c.				n.c.			

Legenda: ICD-X: International Classification of Diseases, X revision; U: uomini; D: donne; n: numerosità; HR: Hazard Ratio; IC95%: Intervallo di Confidenza al 95% di probabilità; 1-p: forza dell'evidenza a favore di un eccesso/difetto di rischio di mortalità; HR_{trend}: trend del rischio per l'aumento di 1 µg/m³ di NOx; 1 (rif.): classe di esposizione 1, riferimento (0,01-0,27 µg/m³); 2: classe di esposizione 2 (0,27-0,49 µg/m³); classe di esposizione 3 (0,49-1,02 µg/m³); classe di esposizione 4 (1,02-2,47 µg/m³); n.c.: non calcolato.

4.3.3 Mortalità - Cause selezionate sulla base delle evidenze scientifiche – PM_{2,5}

Considerando le analisi di mortalità per le cause selezionate a priori per esposizioni al PM_{2,5} (Tabella 9), si osserva un eccesso di rischio nella classe 3 per entrambi i sessi per tutte le cause. In particolare tra gli uomini l'eccesso è pari al 20% con una confidenza nell'evidenziare tale ipotesi di rischio pari al 96,6% e tra le donne è del 12% con una probabilità più ridotta pari all'82,3% (U - n=275; HR=1,20; IC95% 1,01-1,41; 1-p=0,966; D - n=300; HR=1,12; IC95% 0,95-1,31; 1-p=0,823). Da notare che per l'area a più alta esposizione non si osservano eccessi di rischio tra gli uomini e si osserva una diminuzione di rischio tra le donne (U - n=253; HR=0,96; IC95% 0,80-1,15; 1-p=0,338; D - n=212; HR=0,80; IC95% 0,67-0,97; 1-p=0,983) (Tabella 9). Tra le donne, inoltre, si osserva un trend del rischio

che diminuisce del 3% per aumenti unitari di $PM_{2,5}$ con una forza dell'evidenza pari al 97,6% ($HR_{trend}=0,97$; $1-p=0,976$) (Tabella 9).

Per le malattie del sistema nervoso si osserva un eccesso di rischio per gli uomini in classe 3 pari al 134% con una probabilità dell'evidenza empirica a favore di un eccesso di rischio pari al 95,2%, anche se tale eccesso risulta essere molto impreciso dato che la casistica è esigua ($n=14$; $HR=2,34$; $IC95\% 1,01-5,45$; $1-p=0,952$) mentre nelle femmine l'eccesso di rischio è del 32% con una probabilità dell'evidenza molto bassa pari al 52% e con una bassa precisione della stima dovuta ad una bassa numerosità ($n=12$; $HR=1,32$; $IC95\% 0,61-2,86$; $1-p=0,520$) (Tabella 9). In entrambi i generi non si evidenziano eccessi di rischio nella classe più esposta (Tabella 9).

Per le malattie del sistema circolatorio si osserva un eccesso di mortalità tra gli uomini della classe 3 del 22% con una forza dell'evidenza a favore di un eccesso di rischio pari all'86,8% ($n=115$; $HR=1,22$; $IC95\% 0,94-1,57$; $1-p=0,868$) mentre tra le donne non si osservano eccessi di rischio di mortalità (Tabella 9). Per l'area a maggior esposizione, inoltre, tra gli uomini non si osserva alcun eccesso di rischio mentre tra le donne si osserva una riduzione del rischio del 21% con una forza dell'evidenza pari al 92,1% ($n=103$; $HR=0,79$; $IC95\% 0,61-1,03$; $1-p=0,921$) (Tabella 9).

Per le malattie cardiache si osserva un eccesso di rischio tra gli uomini in classe 3 del 29% con una forza dell'evidenza a favore di un'ipotesi di associazione di rischio pari all'89,3% ($n=78$; $HR=1,29$; $IC95\% 0,95-1,77$; $1-p=0,893$) mentre tra le donne l'eccesso è più basso, pari al 16%, con una forza dell'evidenza scarsa, pari al 70,1% ($n=93$; $HR=1,16$; $IC95\% 0,87-1,55$; $1-p=0,701$) (Tabella 9). Non si evidenziano eccessi di rischio di mortalità nella classe a più alta esposizione (Tabella 9).

Per le malattie respiratorie acute si osserva un eccesso di rischio tra gli uomini in classe 4 pari al 133% con una forza dell'evidenza dell'89,3% anche se tale stima ha un'elevata variabilità (a causa del basso numero di casi) ($n=11$; $HR=2,33$; $IC95\% 0,83-6,54$; $1-p=0,893$) (Tabella 9).

Tabella 9. Risultati delle analisi di mortalità per le cause scelte a priori sulla base delle evidenze scientifiche per periodo di esposizione al particolato ($PM_{2,5}$), sesso e classe di esposizione al $PM_{2,5}$ (periodo 2006-2019, aggiustate per classi di età e indice di deprivazione socio-economico).

Causa (cod. ICD-X)	Classe esp.	UOMINI				DONNE			
		n	HR	1-p	IC95%	n	HR	1-p	IC95%
Tutte le cause naturali (A00-R99)	1 (rif.)	420				467			
	2	394	1,08	0,711	0,93-1,26	387	0,99	0,108	0,86-1,15
	3	275	1,20	0,966	1,01-1,41	300	1,12	0,823	0,95-1,31
	4	253	0,96	0,338	0,80-1,15	212	0,80	0,983	0,67-0,96
	HR_{trend}		1,00	0,303	0,97-1,02		0,97	0,976	0,95-1,00
Malattie del sistema nervoso (G00-G99)	1 (rif.)	12				19			
	2	17	1,67	0,785	0,74-3,75	11	0,87	0,256	0,38-1,98
	3	14	2,34	0,952	1,01-5,45	12	1,32	0,520	0,61-2,86
	4	6	0,94	0,091	0,32-2,79	5	0,56	0,714	0,19-1,63
	HR_{trend}		1,03	0,313	0,90-1,17		0,95	0,584	0,84-1,07
Malattie del sistema circolatorio (I00-I99)	1 (rif.)	183				252			
	2	183	1,23	0,930	0,98-1,54	225	1,05	0,357	0,86-1,27
	3	115	1,22	0,868	0,94-1,57	146	1,06	0,378	0,85-1,32

	4	95	0,89	0,593	0,67-1,18	103	0,79	0,921	0,61-1,03
	HR _{trend}		0,99	0,551	0,95-1,02		0,97	0,939	0,94-1,00
Malattie cardiache (I00-I52)	1 (rif.)	117				147			
	2	116	1,14	0,650	0,87-1,50	150	1,15	0,738	0,90-1,47
	3	78	1,29	0,893	0,95-1,77	93	1,16	0,701	0,87-1,55
	4	63	0,90	0,446	0,64-1,27	61	0,86	0,616	0,61-1,21
	HR _{trend}		0,98	0,692	0,94-1,02		0,97	0,786	0,94-1,01
Malattie ischemiche del cuore (I20-I25)	1	31				33			
	2	37	1,41	0,801	0,83-2,38	37	1,20	0,530	0,73-1,99
	3	20	1,15	0,341	0,62-2,11	27	1,40	0,753	0,79-2,47
	4	23	1,18	0,391	0,63-2,20	17	1,04	0,082	0,53-2,02
	HR _{trend}		0,97	0,493	0,9-1,05		0,99	0,222	0,91-1,07
Infarto miocardico acuto (I21)	1 (rif.)	11				13			
	2	13	1,24	0,374	0,52-2,99	9	0,75	0,467	0,31-1,84
	3	8	1,20	0,276	0,44-3,23	12	1,40	0,557	0,59-3,34
	4	8	1,11	0,158	0,39-3,15	5	0,53	0,730	0,17-1,63
	HR _{trend}		0,99	0,161	0,86-1,13		0,93	0,762	0,82-1,05
Malattie cerebrovascolari (I60-I69)	1 (rif.)	39				68			
	2	51	1,92	0,994	1,20-3,06	61	1,11	0,412	0,76-1,61
	3	25	1,23	0,556	0,72-2,11	42	1,10	0,335	0,72-1,66
	4	19	0,89	0,279	0,48-1,66	35	0,92	0,296	0,58-1,44
	HR _{trend}		1,01	0,287	0,94-1,09		1,00	0,124	0,94-1,05
Malattie dell'apparato respiratorio (J00-J99)	1 (rif.)	44				33			
	2	30	0,79	0,650	0,48-1,30	20	0,78	0,576	0,43-1,43
	3	26	1,16	0,417	0,68-1,98	17	1,11	0,255	0,59-2,10
	4	30	1,20	0,487	0,69-2,07	15	1,08	0,176	0,53-2,21
	HR _{trend}		1,02	0,360	0,95-1,10		1,01	0,083	0,91-1,10
Malattie respiratorie acute (J00-J06; J10-J18; J20-J22)	1 (rif.)	14				7			
	2	9	0,71	0,544	0,29-1,75	9	1,38	0,457	0,48-3,95
	3	8	1,58	0,640	0,59-4,21	4	1,27	0,282	0,35-4,64
	4	11	2,33	0,893	0,83-6,54	6	1,69	0,602	0,5-5,690
	HR _{trend}		1,04	0,421	0,9-1,20		1,07	0,558	0,91-1,25
Malattie croniche delle basse vie respiratorie (eccetto asma) (J40-J44; J47)	1 (rif.)	15				13			
	2	7	0,56	0,776	0,22-1,42	<3			
	3	11	1,28	0,432	0,55-2,99	7	1,13	0,183	0,40-3,23
	4	11	1,01	0,027	0,43-2,42	3	0,51	0,639	0,12-2,16
	HR _{trend}		1,04	0,484	0,92-1,17	nc			
Asma (J46)	1 (rif.)	<3				<3			
	2	<3				<3			
	3	<3				<3			
	4	<3				<3			
	HR _{trend}	nc				nc			

Legenda: ICD-X: International Classification of Diseases, X revision; U: uomini; D: donne; n: numerosità; HR: Hazard Ratio; IC95%: Intervallo di Confidenza al 95% di probabilità; 1-p: forza dell'evidenza a favore di un eccesso/difetto di rischio di mortalità; HR_{trend}: trend del rischio per l'aumento di 1 µg/m³ di PM_{2,5}; 1 (rif.): classe di esposizione 1, riferimento (6,8-13,3 µg/m³); 2: classe di esposizione 2 (13,3-15,1 µg/m³); classe di esposizione 3 (15,1-17,1 µg/m³); classe di esposizione 4 (17,1-20,2 µg/m³); n.c.: non calcolato.

4.3.4 Mortalità - Cause selezionate a livello puramente descrittivo – PM_{2,5}

Considerando la mortalità per le cause di interesse locale, analizzate a livello puramente descrittivo, per tutti i tumori maligni, tra gli uomini in classe 3, si osserva un eccesso di rischio del 23% con una forza dell'evidenza limitata pari al 80,8% (n=84; HR=1,23; IC95% 0,90-1,66; 1-p=0,808) (Tabella 10). Tra le donne della stessa classe si osserva un eccesso di rischio del 29% con una forza

dell'evidenza dell'85,9% (n=78; HR=1,29; IC95% 0,92-1,81; 1-p=0,859) (Tabella 10). Da notare che per la classe 4 non si osservano eccessi di rischio significativi (Tabella 10).

Per i tumori del fegato e dei dotti biliari intraepatici si osserva un eccesso di rischio tra gli uomini della classe a più alta esposizione del 358% anche se tale stima è fortemente imprecisa in quanto basata su pochi casi (n=6; HR=4,58; IC95% 0,88-23,87; 1-p=0,989); tra le donne, invece, non si evidenziano eccessi di mortalità (Tabella 10).

Per il tumore della mammella si osserva un eccesso di rischio di mortalità tra le donne della classe 3 del 119% con una forza dell'evidenza del 94,1% (n=18; HR=2,19; IC95% 0,97-4,92; 1-p=0,941). Nella classe 4 non si osservano eccessi di rischio degno di nota (Tabella 10).

Per i tumori del sistema linfatico ed emopoietico si osserva un eccesso di rischio tra i soli uomini pari al 145% con una forza dell'evidenza del 95,5% anche se la stima è imprecisa data la limitata numerosità dei casi osservati (n=15; HR=2,45; IC95% 1,02-5,89; 1-p=0,955) (Tabella 10). Per gli uomini della classe a più elevata esposizione non si osserva alcun eccesso di rischio di mortalità mentre tra le donne si osserva un difetto di rischio del 71% anche se la stima è molto variabile data l'esigua numerosità dei casi (n=4; HR=0,29; IC95% 0,09-0,98; 1-p=0,954) (Tabella 10).

Tabella 10. Risultati delle analisi di mortalità per le cause selezionate a livello puramente descrittivo per periodo di esposizione al particolato (PM_{2,5}), sesso e classe di esposizione al PM_{2,5} (periodo 2006-2019, aggiustate per classi di età e indice di deprivazione socio-economico).

Causa (cod. ICD-X)	Classe esp.	UOMINI				DONNE			
		n	HR	1-p	IC95%	n	HR	1-p	IC95%
Tumori maligni (C00-C97)	1 (rif.)	118				87			
	2	102	0,91	0,473	0,68-1,21	64	0,80	0,804	0,56-1,12
	3	84	1,23	0,808	0,90-1,66	78	1,29	0,859	0,92-1,81
	4	84	1,07	0,324	0,78-1,48	52	0,77	0,819	0,52-1,13
	HR _{trend}		1,01	0,494	0,97-1,06		0,98	0,556	0,93-1,03
Tumori maligni del fegato e dei dotti biliari intraepatici (C22)	1 (rif.)	4				4			
	2	5	2,07	0,630	0,42-10,11	<3			
	3	3	1,85	0,560	0,39-8,77	<3			
	4	6	4,58	0,929	0,88-23,87	3	1,51	0,315	0,2-11,17
	HR _{trend}		1,18	0,834	0,93-1,49	n.c.			
Tumori maligni della trachea dei bronchi e del polmone (C33, C34)	1 (rif.)	24				10			
	2	32	1,55	0,851	0,86-2,80	6	0,58	0,690	0,2-1,67
	3	13	0,86	0,314	0,42-1,78	7	1,16	0,219	0,4-3,41
	4	16	0,93	0,153	0,45-1,93	7	0,96	0,053	0,31-2,97
	HR _{trend}		0,99	0,246	0,90-1,08		1,06	0,546	0,9-1,25
Tumori maligni del connettivo e di altri tessuti molli (C49)	1 (rif.)	<3				<3			
	2	<3				<3			
	3	<3				<3			
	4	<3				<3			
	HR _{trend}	n.c.				n.c.			
Tumori maligni della mammella della donna e nell'uomo (C50)	1 (rif.)	<3				11			
	2	<3				13	1,25	0,387	0,53-2,94
	3	<3				18	2,19	0,941	0,97-4,92
	4	<3				13	1,32	0,449	0,53-3,24
	HR _{trend}	n.c.					1,05	0,546	0,93-1,18
	1 (rif.)	5				3			

Tumori maligni del sistema nervoso centrale (C70-C72)	2	<3				<3			
	3	5	2,04	0,685	0,51-8,18	5	3,32	0,869	0,70-15,78
	4	3	0,68	0,371	0,14-3,27	<3			
	HR _{trend}	n.c.				n.c.			
Tumori maligni del tessuto linfatico ed emopoietico (C81-C96)	1 (rif.)	10				15			
	2	7	0,82	0,302	0,29-2,28	9	0,64	0,666	0,26-1,57
	3	15	2,45	0,955	1,02-5,89	6	0,52	0,782	0,19-1,47
	4	6	0,87	0,196	0,28-2,66	4	0,29	0,954	0,09-0,98
	HR _{trend}		1,09	0,739	0,94-1,25		0,85	0,976	0,74-0,98
Linfoma non-Hodgkin (C82-C85)	1 (rif.)	<3				5			
	2	3	6,64	0,847	0,49-89,08	3	0,84	0,177	0,17-4,01
	3	3	6,60	0,885	0,63-68,95	<3			
	4	<3				<3			
	HR _{trend}	n.c.				n.c.			
Leucemie (C91-C95)	1 (rif.)	5				9			
	2	4	0,80	0,244	0,20-3,21	3	0,32	0,889	0,08-1,30
	3	3	0,80	0,228	0,17-3,71	<3			
	4	3	0,62	0,443	0,13-3,01	<3			
	HR _{trend}		1,04	0,311	0,84-1,29	n.c.			
Disturbi della ghiandola tiroidea (E00-E07)	1 (rif.)	<3				<3			
	2	<3				<3			
	3	<3				<3			
	4	<3				<3			
	HR _{trend}	n.c.				n.c.			
Diabete (E10-E14)	1 (rif.)	9				14			
	2	12	1,50	0,617	0,60-3,72	14	1,23	0,379	0,55-2,74
	3	7	1,44	0,498	0,50-4,15	11	1,43	0,589	0,61-3,38
	4	6	0,96	0,053	0,31-2,97	7	0,91	0,151	0,32-2,52
	HR _{trend}		1,02	0,220	0,89-1,17		0,93	0,755	0,82-1,05

Legenda: ICD-X: International Classification of Diseases, X revision; U: uomini; D: donne; n: numerosità; HR: Hazard Ratio; IC95%: Intervallo di Confidenza al 95% di probabilità; 1-p: forza dell'evidenza a favore di un eccesso/difetto di rischio di mortalità; HR_{trend}: trend del rischio per l'aumento di 1 µg/m³ di PM_{2,5}; 1 (rif.): classe di esposizione 1, riferimento (6,8-13,3 µg/m³); 2: classe di esposizione 2 (13,3-15,1 µg/m³); classe di esposizione 3 (15,1-17,1 µg/m³); classe di esposizione 4 (17,1-20,2 µg/m³); n.c.: non calcolato.

4.4 Risultati delle analisi di ospedalizzazione

4.4.1 Ospedalizzazione - Cause selezionate sulla base delle evidenze scientifiche – NO_x impianti

Dai risultati delle analisi di ospedalizzazione per le tutte le cause naturali, tra le donne in classe 4 si osserva un difetto di rischio del 20% (n=61; HR=0,80; IC95% 0,62-1,04; 1-p=0,907); si osserva, inoltre, un trend del rischio in diminuzione dell'11% all'aumentare di 1 µg/m³ di NO_x (HR_{trend}=0,89 IC95% 0,77-1,01 1-p=0,924) (Tabella 11).

Per le malattie del sistema circolatorio si osserva un eccesso di rischio in entrambi i sessi della classe 3; in particolare, tra gli uomini è pari al 12% con una forza dell'evidenza a favore di un'associazione di rischio pari all'87,1% e tra le donne è del 14% con una probabilità del 90% (U - n=409; HR=1,12; IC95% 0,97-1,29; 1-p=0,871; D - n=343; HR=1,14; IC95% 0,98-1,33; 1-p=0,900) (Tabella 11). Da notare che per la classe 4 non si osservano eccessi di rischio significativi (Tabella 11).

Per le malattie ischemiche, tra gli uomini della classe 3 si osserva un eccesso di rischio del 24% con una forza dell'evidenza del 90,1% (n=139; HR=1,24; IC95% 0,96-1,61; 1-p=0,901) (Tabella 11).

Considerando la classe 4 si stima, tra le sole donne, un eccesso del 104% con una confidenza in favore di tale eccesso pari al 96,1% anche sedati gli esigui casi, la stima è da ritenersi imprecisa ($n=10$; $HR=2,04$; $IC95\% 1,04-4,02$; $1-p=0,961$) (Tabella 11).

Per l'infarto miocardico acuto, si osserva, tra i soli uomini in classe 3, un eccesso di rischio del 46% con una forza dell'evidenza del 94,6% ($n=65$; $HR=1,46$; $IC95\% 0,99-2,16$; $1-p=0,946$) (Tabella 11). Considerando la classe a più alta esposizione, si stima, tra le sole donne, un eccesso del 148%, anche se impreciso in quanto basato su pochi casi ($n=6$; $HR=2,48$; $IC95\% 1,00-6,12$; $1-p=0,951$) (Tabella 11).

Per le malattie cerebrovascolari, nella classe 3 si osserva un eccesso di rischio del 19% tra gli uomini con una forza dell'evidenza pari all'84,9% ($n=158$; $HR=1,19$; $IC95\% 0,94-1,50$; $1-p=0,849$) (Tabella 11). Tra le donne l'eccesso è del 16% ma con una minore probabilità (77,9%) nel supportare l'ipotesi di eccesso di rischio ($n=145$; $HR=1,16$; $IC95\% 0,91-1,48$; $1-p=0,779$). Da notare che per l'area a più alta esposizione non si osservano eccessi di rischio rispetto all'area di riferimento (Tabella 11).

Per le malattie dell'apparato respiratorio, nell'area a più alta esposizione si osserva un eccesso di rischio del 43% tra gli uomini, anche se con una probabilità nel supportare tale ipotesi di rischio pari all'85,4% ($n=19$; $HR=1,43$; $IC95\% 0,88-2,31$; $1-p=0,854$) (Tabella 11). Per le donne non si osservano eccessi di ospedalizzazione (Tabella 11).

Per le malattie polmonari croniche in entrambi i sessi si osservano eccessi per la classe più esposta anche se tali stime risultano imprecise in quanto basate su pochi casi (U - $n=5$; $HR=2,27$; $IC95\% 0,86-6,00$; $1-p=0,903$; D - $n=3$; $HR=2,37$; $IC95\% 0,70-8,04$; $1-p=0,934$) (Tabella 11).

Tabella 11. Risultati delle analisi di ospedalizzazione per le cause scelte a priori sulla base delle evidenze scientifiche per periodo di esposizione agli ossidi di azoto (NO_x), sesso e classe di esposizione agli NO_x (periodo 2006-2019, aggiustate per classi di età e indice di deprivazione socio-economico).

Causa (cod. ICD-IX)	Classe esp.	UOMINI				DONNE			
		n	HR	1-p	IC95%	n	HR	1-p	IC95%
Tutte le cause naturali (1-799)	1 (rif.)	1.188				1.389			
	2	4.309	0,99	0,199	0,93-1,06	5.303	1,02	0,449	0,96-1,09
	3	1.062	0,93	0,919	0,85-1,01	1.297	1,03	0,520	0,95-1,12
	4	79	0,89	0,694	0,70-1,12	61	0,80	0,907	0,62-1,04
	HR _{trend}		0,88	0,932	0,76-1,01		0,89	0,924	0,77-1,01
Malattie del sistema nervoso (320-359)	1 (rif.)	94				124			
	2	425	1,24	0,923	0,98-1,58	494	1,06	0,410	0,86-1,31
	3	103	1,20	0,773	0,89-1,61	117	1,01	0,070	0,77-1,32
	4	4	0,67	0,556	0,25-1,85	7	1,03	0,063	0,48-2,23
	HR _{trend}		1,09	0,279	0,69-1,70		0,94	0,205	0,60-1,47
Malattie del sistema circolatorio (390-459)	1 (rif.)	418				369			
	2	15	1,15	0,984	1,03-1,30	1.339	1,23	0,999	1,09-1,39
	3	409	1,12	0,871	0,97-1,29	343	1,14	0,900	0,98-1,33
	4	26	0,87	0,498	0,58-1,30	21	0,93	0,266	0,59-1,44
	HR _{trend}		1,07	0,457	0,86-1,33		0,96	0,291	0,75-1,21
Malattie cardiache	1 (rif.)	280				233			

(390-429)	2	965	1,02	0,249	0,89-1,18	795	1,10	0,751	0,94-1,28
	3	262	1,03	0,281	0,86-1,23	204	1,04	0,302	0,85-1,27
	4	19	0,99	0,018	0,62-1,59	17	1,26	0,632	0,76-2,07
	HR _{trend}		1,01	0,044	0,76-1,34		0,97	0,125	0,71-1,34
Malattie ischemiche del cuore (410-414)	1 (rif.)	121				76			
	2	466	1,09	0,582	0,88-1,35	248	0,97	0,147	0,74-1,29
	3	139	1,24	0,901	0,96-1,61	69	0,95	0,245	0,67-1,34
	4	9	1,12	0,249	0,56-2,22	10	2,04	0,961	1,04-4,02
	HR _{trend}		1,19	0,611	0,80-1,76		1,42	0,835	0,87-2,34
Infarto miocardico acuto (410)	1 (rif.)	51				32			
	2	194	1,12	0,499	0,81-1,56	81	0,76	0,776	0,49-1,18
	3	65	1,46	0,946	0,99-2,16	29	0,88	0,349	0,52-1,51
	4	<3				6	2,48	0,951	1,00-6,12
	HR _{trend}	nc					1,70	0,848	0,82-3,53
Malattie cerebrovascolari (430-438)	1 (rif.)	147				147			
	2	569	1,18	0,909	0,97-1,44	569	1,27	0,984	1,04-1,54
	3	158	1,19	0,849	0,94-1,50	145	1,16	0,779	0,91-1,48
	4	8	0,78	0,493	0,38-1,61	9	0,98	0,049	0,50-1,93
	HR _{trend}		1,07	0,284	0,74-1,55		0,89	0,454	0,61-1,3
Malattie dell'apparato respiratorio (460-519)	1 (rif.)	196				176			
	2	815	1,18	0,948	1,00-1,39	623	0,99	0,111	0,82-1,18
	3	192	1,07	0,456	0,87-1,32	152	0,98	0,117	0,78-1,24
	4	19	1,43	0,854	0,88-2,31	6	0,63	0,728	0,28-1,43
	HR _{trend}		1,13	0,555	0,83-1,53		0,80	0,728	0,53-1,19
Malattie respiratorie acute (460-466; 480-487)	1 (rif.)	76				69			
	2	282	1,08	0,423	0,82-1,42	188	0,73	0,960	0,54-0,99
	3	71	1,06	0,269	0,75-1,49	50	0,81	0,702	0,55-1,20
	4	8	1,59	0,779	0,76-3,35	<3			
	HR _{trend}		1,15	0,422	0,70-1,91		0,46	0,948	0,21-1,01
Malattie croniche delle basse vie respiratorie (eccetto asma) (490-492; 494; 496)	1 (rif.)	31				26			
	2	131	1,34	0,830	0,88-2,03	75	0,91	0,306	0,56-1,47
	3	31	1,11	0,298	0,66-1,86	25	1,21	0,487	0,68-2,15
	4	5	2,27	0,903	0,86-6,00	3	2,37	0,834	0,70-8,04
	HR _{trend}		1,43	0,688	0,71-2,86		1,58	0,72	0,69-3,64
Asma (495)	1 (rif.)	6				5			
	2	14	0,55	0,750	0,20-1,52	17	0,68	0,529	0,23-1,96
	3	8	1,09	0,113	0,34-3,52	4	0,82	0,228	0,21-3,22
	4	<3				<3			
	HR _{trend}	nc				nc			

Legenda: ICD-IX: International Classification of Diseases, IX revision; U: uomini; D: donne; n: numerosità; HR: Hazard Ratio; IC95%: Intervallo di Confidenza al 95% di probabilità; 1-p: forza dell'evidenza a favore di un eccesso/difetto di rischio di ospedalizzazione; HR_{trend}: trend del rischio per l'aumento di 1 µg/m³ di NO_x; 1 (rif.): classe di esposizione 1, riferimento (0,01-0,27 µg/m³); 2: classe di esposizione 2 (0,27-0,49 µg/m³); classe di esposizione 3 (0,49-1,02 µg/m³); classe di esposizione 4 (1,02-2,47 µg/m³); n.c.: non calcolato.

4.4.2 Ospedalizzazione - Cause selezionate a livello puramente descrittivo – NO_x impianti

Considerando le analisi dei ricoveri per le patologie di interesse locale effettuate esclusivamente a scopo descrittivo, in classe 4 si osserva, per tutti i tumori maligni, un eccesso di rischio del 166% tra i soli uomini con una confidenza a favore dell'ipotesi di associazione pari al 93,9% (n=16 HR=1,66 IC95% 0,98-2,81 1-p=0,939) (Tabella 12).

Per le malattie della ghiandola tiroidea, tra i soli uomini nella classe 3 si riporta un difetto di rischio di ospedalizzazione del 52% con una forza dell'evidenza a favore dell'ipotesi del 95,5% anche se la

stima risulta essere poco precisa perché basata su pochi casi (n=13 HR=0,48 IC95% 0,24-0,95 1-p=0,955) (Tabella 12).

Nell'area a più alta esposizione si osserva un eccesso di rischio del 115% tra le donne con una probabilità pari all'94,1%, anche se la stima risulta essere imprecisa in quanto basata su pochi casi (n=7 HR=2,15 IC95% 0,97-4,76 p=0,941) (Tabella 12).

Tabella 12. Risultati delle analisi di ospedalizzazione per le cause selezionate a livello puramente descrittivo per periodo di esposizione agli ossidi di azoto (NO_x), sesso e classe di esposizione agli NO_x (periodo 2006-2019, aggiustate per classi di età e indice di deprivazione socio-economico).

Causa (cod. ICD-IX)	Classe esp.	UOMINI				DONNE			
		n	HR	1-p	IC95%	n	HR	1-p	IC95%
Tumori maligni (140-208)	1 (rif.)	143				164			
	2	567	1,16	0,859	0,95-1,41	513	0,85	0,906	0,70-1,03
	3	115	0,86	0,741	0,67-1,12	121	0,85	0,815	0,66-1,08
	4	16	1,66	0,939	0,98-2,81	3	0,34	0,936	0,11-1,07
	HR _{trend}		1,18	0,626	0,82-1,71		0,52	0,991	0,32-0,85
Tumori maligni del fegato e dei dotti intraepatici (155)	1 (rif.)	5				<3		1	
	2	24	1,60	0,623	0,56-4,58	7	3,64	0,741	0,39-34,38
	3	<3				<3			
	4	<3				<3			
	HR _{trend}	n.c.				n.c.			
Tumori maligni della trachea dei bronchi e del polmone (162)	1 (rif.)	11				7			
	2	42	1,05	0,115	0,53-2,11	15	0,54	0,764	0,19-1,50
	3	16	1,46	0,640	0,65-3,30	4	0,51	0,690	0,14-1,89
	4	<3				<3			
	HR _{trend}	n.c.				n.c.			
Tumori maligni del connettivo e di altri tessuti molli (171)	1 (rif.)	<3				<3			
	2	6	1,07	0,056	0,18-6,22	3	0,14	0,949	0,02-1,01
	3	<3				<3			
	4	<3				<3			
	HR _{trend}	n.c.				n.c.			
Tumori maligni della mammella della donna e nell'uomo (174, 175)	1 (rif.)	<3				32			
	2	<3				157	1,29	0,774	0,86-1,93
	3	<3				34	1,29	0,675	0,78-2,14
	4	<3				<3			
	HR _{trend}	n.c.				n.c.			
Tumori maligni del sistema nervoso centrale (191-192)	1 (rif.)	3				<3			
	2	9	1,08	0,084	0,26-4,51	10	1,12	0,107	0,21-5,97
	3	<3				<3			
	4	<3				<3			
	HR _{trend}	n.c.				n.c.			
Tumori maligni del tessuto linfatico ed emopoietico (200-208)	1 (rif.)	18				25			
	2	68	0,98	0,067	0,56-1,70	43	0,46	0,995	0,27-0,80
	3	11	0,61	0,780	0,28-1,34	10	0,51	0,910	0,23-1,11
	4	<3				<3			
	HR _{trend}	n.c.				n.c.			
Linfoma non-Hodgkin (200, 202)	1 (rif.)	4				12			
	2	28	1,77	0,696	0,59-5,28	18	0,41	0,967	0,19-0,93
	3	5	1,19	0,200	0,30-4,69	5	0,47	0,811	0,15-1,45
	4	<3				<3			
	HR _{trend}	n.c.				n.c.			
Lecuemie (204-208)	1 (rif.)	10				11			
	2	31	0,81	0,401	0,38-1,75	18	0,50	0,902	0,22-1,14

	3	5	0,48	0,794	0,16-1,50	6	0,85	0,241	0,30-2,43
	4	<3				<3			
	HR _{trend}	n.c.				n.c.			
Disturbi della ghiandola tiroidea (240-246)	1 (rif.)	30				70			
	2	91	0,85	0,528	0,54-1,33	249	0,93	0,407	0,70-1,23
	3	13	0,48	0,965	0,24-0,95	58	0,94	0,262	0,65-1,36
	4	<3				7	2,15	0,941	0,97-4,76
	HR _{trend}	n.c.					1,25	0,549	0,70-2,22
Diabete (250)	1 (rif.)	27				17			
	2	91	0,99	0,042	0,62-1,57	61	1,21	0,474	0,67-2,16
	3	18	0,70	0,738	0,37-1,31	12	0,91	0,181	0,42-1,99
	4	<3				<3			
	HR _{trend}	n.c.				n.c.			

Legenda: ICD-IX: International Classification of Diseases, IX revision; U: uomini; D: donne; n: numerosità; HR: Hazard Ratio; IC95%: Intervallo di Confidenza al 95% di probabilità; 1-p: forza dell'evidenza a favore di un eccesso/difetto di rischio di ospedalizzazione; HR_{trend}: trend del rischio per l'aumento di 1 µg/m³ di NO_x; 1 (rif.): classe di esposizione 1, riferimento (0,06-0,27 µg/m³); 2: classe di esposizione 2 (0,27-0,49 µg/m³); classe di esposizione 3 (0,49-1,02 µg/m³); classe di esposizione 4 (1,02-2,47 µg/m³); n.c.: non calcolato.

4.4.3 Ospedalizzazione - Cause selezionate sulla base delle evidenze scientifiche – PM_{2,5}

Dalle analisi di ospedalizzazione per le cause scelte a priori sulla base della letteratura scientifica, per le cause naturali si osservano eccessi di rischio tra i soli uomini, sia in classe 3 sia in classe 4 (Tabella 13). Per quanto riguarda la classe 3 si osserva un eccesso di rischio del 10% con una forza dell'evidenza a favore dell'ipotesi di associazione di rischio del 98,2% (n=1.392; HR=1,10; IC95% 1,02-1,18; 1-p=0,982) (Tabella 13). Per la classe di esposizione più alta si osserva un eccesso di rischio del 9% con una probabilità pari al 96,9% (n=1.587; HR=1,09; IC95% 1,01-1,18; 1-p=0,969) (Tabella 13).

Per le malattie del sistema nervoso si osserva un eccesso di rischio di ospedalizzazione tra i soli uomini del 25% per la classe 3 con una probabilità a favore dell'ipotesi di aumentato rischio pari al 92,3% (n=142; HR=1,25; IC95% 0,98-1,61; 1-p=0,923) (Tabella 13). Nella classe a più alta esposizione non si osservano eccessi di rischio degni di nota (Tabella 13).

Per le malattie del sistema circolatorio si osservano eccessi in entrambe le classi a più alta esposizione (Tabella 13). Tra gli uomini della classe più esposta si osserva un eccesso di rischio del 28% con una forza dell'evidenza a favore dell'ipotesi di associazione di rischio pari al 99,9% mentre tra le donne più esposte l'eccesso di rischio è del 15% con una probabilità del 94% (U - n=566; HR=1,28; IC95% 1,12-1,46; 1-p>0,999; D - n=461; HR=1,15; IC95% 0,99-1,32; 1-p=0,941) (Tabella 13). Tra gli uomini della classe di esposizione 3 si osserva un eccesso di rischio del 24% con una confidenza a favore di un rischio aumentato pari al 99,9% (n=477; HR=1,24; IC95% 1,09-1,41; 1-p=0,999), risultato molto simile anche nel caso delle donne, tra le quali si osserva un eccesso del 23% con una probabilità del 99,8% (n=461; HR=1,23; IC95% 1,08-1,41; 1-p=0,998) (Tabella 13). Da notare sia tra gli uomini sia tra le donne si osservano trend di rischio all'aumentare unitario del PM_{2,5} in µg/m³

del 3% e del 2%, rispettivamente (U - $HR_{trend}=1,03$; $1-p>0,999$; D - $HR_{trend}=1,02$; $1-p=0,891$) (Tabella 13).

Gli eccessi appena descritti relativi alle malattie del sistema circolatorio, sembrano essere dovuti in particolar modo alle malattie cerebrovascolari, per le quali si riportano eccessi di ospedalizzazione per entrambi i sessi, sia in classe 3 sia in classe 4 (Tabella 13). In particolare, nella classe 3, si osserva un eccesso tra gli uomini del 33% con una forza dell'evidenza pari al 99,2% ($n=187$; $HR=1,33$; $IC95\%$ 1,08-1,65; $1-p=0,992$) e tra le donne del 25% con una probabilità del 96,8% ($n=193$; $HR=1,25$; $IC95\%$ 1,02-1,54; $1-p=0,968$) (Tabella 13). Nella classe a più alta esposizione, gli uomini riportano un eccesso di rischio del 28% con una probabilità a favore dell'ipotesi di presenza di rischio del 97% mentre le donne un eccesso di rischio del 25% con una probabilità del 95,4% (U - $n=208$; $HR=1,28$; $IC95\%$ 1,02-1,59; $1-p=0,970$; D - $n=203$; $HR=1,25$; $IC95\%$ 1,00-1,55; $1-p=0,954$) (Tabella 13).

In entrambi i sessi si osservano trend di rischio all'aumentare unitario del $PM_{2,5}$ in $\mu g/m^3$ del 3% (U - $HR_{trend}=1,03$; $1-p=0,958$; D - $HR_{trend}=1,03$; $1-p=0,954$) (Tabella 13).

Per l'asma si osserva un eccesso di rischio per le donne in classe 3 pari al 174% con una forza dell'evidenza a favore di un'ipotesi di rischio del 91,6%, anche se tale stima risulta essere imprecisa in quanto basata su un numero esiguo di casi ($n=11$; $HR=2,74$; $IC95\%$ 0,87-8,61; $1-p=0,916$).

Tabella 13. Risultati delle analisi di ospedalizzazione per le cause scelte a priori sulla base delle evidenze scientifiche per periodo di esposizione al particolato ($PM_{2,5}$), sesso e classe di esposizione al $PM_{2,5}$ (periodo 2006-2019, aggiustate per classi di età e indice di deprivazione socio-economico)

Causa (cod. ICD-IX)	Classe esp.	UOMINI				DONNE			
		n	HR	1-p	IC95%	n	HR	1-p	IC95%
Tutte le cause naturali (1-799)	1 (rif.)	1.768				2.115			
	2	1.891	1,05	0,864	0,98-1,13	2.204	1,03	0,564	0,96-1,09
	3	1.392	1,10	0,982	1,02-1,18	1.724	1,04	0,721	0,97-1,11
	4	1.587	1,09	0,969	1,01-1,18	2.007	0,99	0,165	0,92-1,07
	HR_{trend}		1,01	0,857	1,00-1,02		1,00	0,071	0,99-1,01
Malattie del sistema nervoso (320-359)	1 (rif.)	140				193			
	2	188	1,39	0,993	1,09-1,76	192	0,97	0,249	0,78-1,20
	3	142	1,25	0,923	0,98-1,61	156	1,00	0,022	0,79-1,25
	4	156	1,15	0,720	0,89-1,50	201	1,07	0,427	0,85-1,35
	HR_{trend}		1,01	0,326	0,97-1,04		1,00	0,006	0,97-1,03
Malattie del sistema circolatorio (390-459)	1 (rif.)	623				578			
	2	687	1,19	0,997	1,06-1,34	572	1,12	0,922	0,99-1,27
	3	477	1,24	0,999	1,09-1,41	461	1,23	0,998	1,08-1,41
	4	566	1,28	0,999	1,12-1,46	461	1,15	0,941	0,99-1,32
	HR_{trend}		1,03	>0,999	1,01-1,05		1,02	0,891	1,00-1,04
Malattie cardiache (390-429)	1 (rif.)	421				365			
	2	435	1,08	0,677	0,93-1,24	334	1,01	0,092	0,86-1,19
	3	315	1,06	0,511	0,9-1,24	281	1,10	0,708	0,92-1,30
	4	355	1,01	0,107	0,86-1,19	269	0,95	0,403	0,79-1,14
	HR_{trend}		1,00	0,226	0,98-1,03		0,99	0,678	0,96-1,01
Malattie ischemiche del cuore (410-414)	1 (rif.)	181				118			
	2	224	1,30	0,984	1,05-1,61	105	0,92	0,440	0,69-1,22
	3	155	1,14	0,722	0,90-1,43	90	0,98	0,129	0,72-1,32
	4	175	1,06	0,390	0,84-1,35	90	0,89	0,520	0,65-1,22

	HR _{trend}		1,02	0,728	0,99-1,05		0,97	0,798	0,93-1,01
Infarto miocardico acuto (410)	1 (rif.)	77				47			
	2	99	1,37	0,942	0,99-1,90	44	0,94	0,228	0,6-1,46
	3	64	1,17	0,602	0,82-1,66	30	0,82	0,553	0,5-1,36
	4	72	1,12	0,455	0,77-1,62	27	0,71	0,786	0,42-1,22
	HR _{trend}		1,03	0,769	0,98-1,09		0,94	0,939	0,88-1,00
Malattie cerebrovascolari (430-438)	1 (rif.)	213				231			
	2	274	1,36	0,998	1,12-1,65	243	1,16	0,872	0,96-1,41
	3	187	1,33	0,992	1,08-1,65	193	1,25	0,968	1,02-1,54
	4	208	1,28	0,970	1,02-1,59	203	1,25	0,954	1,00-1,55
	HR _{trend}		1,03	0,958	1,00-1,06		1,03	0,947	1,00-1,06
Malattie dell'apparato respiratorio (460-519)	1 (rif.)	314				257			
	2	369	1,18	0,953	1,00-1,39	245	0,97	0,216	0,81-1,18
	3	258	1,08	0,593	0,90-1,29	220	1,12	0,729	0,92-1,36
	4	281	1,01	0,099	0,84-1,22	235	1,04	0,305	0,85-1,28
	HR _{trend}		1,00	0,122	0,97-1,02		1,01	0,294	0,98-1,04
Malattie respiratorie acute (460-466; 480-487)	1 (rif.)	115				90			
	2	138	1,26	0,899	0,96-1,65	91	1,02	0,101	0,74-1,40
	3	84	0,98	0,088	0,73-1,33	60	0,86	0,585	0,60-1,23
	4	100	1,06	0,288	0,78-1,45	66	0,84	0,655	0,58-1,21
	HR _{trend}		0,99	0,461	0,95-1,03		0,96	0,907	0,91-1,01
Malattie croniche delle basse vie respiratorie (eccetto asma) (490-492; 494, 496)	1 (rif.)	49				36			
	2	66	1,43	0,922	0,96-2,12	35	1,25	0,616	0,76-2,06
	3	45	1,36	0,831	0,88-2,11	35	1,23	0,590	0,75-2,03
	4	38	0,94	0,187	0,59-1,52	23	0,70	0,775	0,39-1,25
	HR _{trend}		0,99	0,241	0,93-1,05		0,97	0,636	0,90-1,04
Asma (495)	1 (rif.)	7				6			
	2	13	1,62	0,643	0,58-4,51	5	0,59	0,604	0,17-2,00
	3	3	0,46	0,709	0,11-1,96	11	2,74	0,916	0,87-8,61
	4	5	1,05	0,051	0,26-4,17	5	0,75	0,333	0,20-2,85
	HR _{trend}		0,95	0,462	0,79-1,13		1,06	0,472	0,88-1,28

Legenda: ICD-IX: International Classification of Diseases, IX revision; U: uomini; D: donne; n: numerosità; HR: Hazard Ratio; IC95%: Intervallo di Confidenza al 95% di probabilità; 1-p: forza dell'evidenza a favore di un eccesso/difetto di rischio di ospedalizzazione; HR_{trend}: trend del rischio per l'aumento di 1 µg/m³ di PM_{2,5}; 1 (rif.): classe di esposizione 1, riferimento (6,8-13,3 µg/m³); 2: classe di esposizione 2 (13,3-15,1 µg/m³); classe di esposizione 3 (15,1-17,1 µg/m³); classe di esposizione 4 (17,1-20,2 µg/m³); n.c.: non calcolato.

4.4.4 Ospedalizzazione - Cause selezionate a livello puramente descrittivo – PM_{2,5}

Considerando le analisi di ospedalizzazione effettuate sulle cause di interesse locale selezionate solo a scopo descrittivo, si osserva, tra gli uomini della classe più esposta, un eccesso di rischio di ospedalizzazione per tutti i tumori del 27% con una probabilità del 97% (n=216; HR=1,27; IC95% 1,02-1,59; 1-p=0,970), mentre tra gli uomini della classe 3 l'eccesso di rischio è del 36% con una probabilità del 99,5% (n=195; HR=1,36; IC95% 1,01-1,68; 1-p=0,995 (Tabella 14). Si osserva, inoltre, un aumento di rischio all'aumentare unitario del PM_{2,5} in µg/m³ del 4% (HR_{trend}=1,04; 1-p=0,993) (Tabella 14). Tra le donne non si osservano eccessi di rischio di ospedalizzazione (Tabella 14).

Per i tumori del fegato si osserva un eccesso di rischio di ospedalizzazione in entrambi i sessi per la classe a più alta esposizione anche se imprecisi data l'esigua numerosità dei casi (Tabella 14).

Tabella 14. Risultati delle analisi di ospedalizzazione per le cause selezionate a livello puramente descrittivo per periodo di esposizione al particolato (PM_{2,5}), sesso e classe di esposizione al PM_{2,5} (periodo 2006-2019, aggiustate per classi di età e indice di deprivazione socio-economico).

Causa (cod. ICD-IX)	Classe esp.	UOMINI				DONNE			
		n	HR	1-p	IC95%	n	HR	1-p	IC95%
Tumori maligni (140-208)	1 (rif.)	215				228			
	2	215	0,95	0,376	0,78-1,16	205	0,90	0,679	0,73-1,11
	3	195	1,36	0,995	1,10-1,68	189	1,02	0,162	0,83-1,26
	4	216	1,27	0,970	1,02-1,59	179	0,83	0,897	0,66-1,04
	HR _{trend}		1,04	0,993	1,01-1,08		0,97	0,937	0,94-1,00
Tumori maligni del fegato e dei dotti intraepatici (155)	1 (rif.)	7				3			
	2	6	0,97	0,036	0,29-3,21	<3			
	3	5	1,12	0,140	0,32-3,90	<3			
	4	12	2,83	0,913	0,86-9,29	3	19,04	0,944	0,92-392,11
	HR _{trend}		1,15	0,887	0,97-1,38	n.c.			
Tumori maligni della trachea dei bronchi e del polmone (162)	1 (rif.)	17				9			
	2	20	1,00	0,009	0,51-1,97	<3			
	3	17	1,59	0,782	0,76-3,34	10	1,44	0,486	0,48-4,26
	4	15	1,07	0,143	0,49-2,36	5	0,75	0,333	0,20-2,77
	HR _{trend}		1,04	0,528	0,94-1,16	n.c.			
Tumori maligni del connettivo e di altri tessuti molli (171)	1 (rif.)	<3				<3			
	2	<3				<3			
	3	3	2,16	0,561	0,31-15,21	<3			
	4	<3				<3			
	HR _{trend}	n.c.				n.c.			
Tumori maligni della mammella della donna e nell'uomo (174, 175)	1 (rif.)	<3				47			
	2	<3				66	1,38	0,874	0,91-2,07
	3	<3				48	1,33	0,797	0,86-2,05
	4	<3				64	1,43	0,890	0,92-2,23
	HR _{trend}	n.c.					1,02	0,505	0,96-1,09
Tumori maligni del sistema nervoso centrale (191-192)	1 (rif.)	4				<3			
	2	3	0,68	0,361	0,14-3,36	4	1,64	0,405	0,26-10,21
	3	5	2,68	0,810	0,61-11,64	5	2,90	0,763	0,50-17,01
	4	<3				<3			
	HR _{trend}	n.c.				n.c.			
Tumori maligni del tessuto linfatico ed emopoietico (200-208)	1 (rif.)	6				13			
	2	10	1,46	0,519	0,51-4,23	10	0,97	0,044	0,39-2,45
	3	10	2,18	0,845	0,74-6,37	6	0,53	0,775	0,19-1,49
	4	12	1,81	0,723	0,62-5,30	6	0,40	0,900	0,14-1,19
	HR _{trend}		1,07	0,625	0,93-1,23		0,85	0,980	0,74-0,97
Linfoma non-Hodgkin (200, 202)	1 (rif.)	24				29			
	2	22	0,85	0,409	0,46-1,56	21	0,85	0,391	0,46-1,59
	3	25	1,31	0,618	0,72-2,40	12	0,48	0,953	0,23-0,99
	4	27	1,06	0,146	0,57-1,97	16	0,52	0,931	0,25-1,05
	HR _{trend}		1,04	0,594	0,95-1,13		0,87	0,994	0,80-0,96
Lecuemie (204-208)	1 (rif.)	14				15			
	2	11	0,77	0,452	0,33-1,80	9	0,74	0,476	0,30-1,86
	3	9	0,71	0,534	0,29-1,76	4	0,36	0,908	0,11-1,18
	4	12	0,78	0,430	0,32-1,87	7	0,58	0,675	0,20-1,71
	HR _{trend}		0,99	0,096	0,88-1,12		0,91	0,793	0,78-1,05
Disturbi della ghiandola tiroidea (240-246)	1 (rif.)	40				109			
	2	33	0,82	0,563	0,5-1,35	96	0,84	0,756	0,62-1,13
	3	28	1,00	0,007	0,59-1,70	67	0,81	0,796	0,58-1,12
	4	34	1,15	0,378	0,66-1,99	112	1,03	0,157	0,76-1,41
	HR _{trend}		1,00	0,069	0,92-1,08		1,00	0,039	0,95-1,05
Diabete (250)	1 (rif.)	40				21			
	2	31	0,84	0,495	0,51-1,39	33	2,10	0,979	1,12-3,95
	3	33	1,08	0,246	0,66-1,78	16	1,17	0,335	0,58-2,33

	4	32	0,87	0,384	0,51-1,48	20	1,63	0,804	0,78-3,42
	HR _{trend}		0,98	0,430	0,91-1,05		1,05	0,699	0,95-1,17

Legenda: ICD-IX: International Classification of Diseases, IX revision; U: uomini; D: donne; n: numerosità; HR: Hazard Ratio; IC95%: Intervallo di Confidenza al 95% di probabilità; 1-p: forza dell'evidenza a favore di un eccesso/difetto di rischio di ospedalizzazione; HR_{trend}: trend del rischio per l'aumento di 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ di PM_{2.5}; 1 (rif.): classe di esposizione 1, riferimento (6,8-13,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$); 2: classe di esposizione 2 (13,3-15,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$); classe di esposizione 3 (15,1-17,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$); classe di esposizione 4 (17,1-20,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$); n.c.: non calcolato.

5. Discussione

Lo studio di coorte residenziale retrospettivo EPIVenafro+7, aveva l'obiettivo di valutare il rischio sanitario dei residenti di otto comuni molisani esposti a diverse fonti di inquinamento atmosferico presenti sul territorio (termovalorizzatori, cementificio, PM_{2,5} da fonti generalizzate), tenendo conto di fattori di rischio individuali, come l'età, il sesso, la deprivazione socio-economica. Sono state effettuate analisi di mortalità e ospedalizzazione sia su cause selezionate a priori sulla base delle evidenze scientifiche sia su cause selezionate in base all'interesse locale e analizzate esclusivamente a puro scopo descrittivo.

Da notare che il protocollo inizialmente prevedeva lo studio degli esiti sanitari in associazione ai soli impianti del cementificio e del termovalorizzatore di Pozzilli. Per dare un quadro più completo relativo all'impatto ambientale e sanitario sul territorio in accordo con le associazioni e le istituzioni si è ritenuto importante inserire come fonte puntuale anche il termovalorizzatore di San Vittore; inoltre è stata effettuata un'analisi epidemiologica (non prevista inizialmente) utilizzando come esposizione all'inquinamento atmosferico da fonti generalizzate la mappa delle concentrazioni di PM_{2,5}.

Discussione risultati analisi esposizione alle emissioni degli impianti (NO_x) - Per quanto riguarda l'esposizione della popolazione alle emissioni dei principali impianti presenti nell'area in studio (due termovalorizzatori ed un impianto di produzione di cemento), si osserva che l'area più esposta (valori medi annuali di NO_x compresi tra 1,02 µg/m³ e 2,45 µg/m³), oltre ad essere caratterizzata da un'estensione geografica limitata (comprendente sia una porzione del territorio comunale di Sesto Campano a sud del cementificio, sia una piccola area al confine tra Pozzilli e Montaquila a nord del termovalorizzatore di Pozzilli), ha al suo interno una popolazione di dimensione ridotta pari a 359 soggetti (1,22% del totale) mentre nell'area 3, identificata da un'area estesa, il numero di soggetti residenti è più elevato ed è pari a 4.820 (16,34% del totale), anche se è da notare che per tale area i valori di NO_x da impianti è compreso tra 0,49 e 1,02 µg/m³.

Da notare che la mappa della «proxy» NO_x da impianti fornisce indicazioni di un non significativo contributo da parte del termovalorizzatore di San Vittore.

Le analisi di mortalità sulle cause selezionate a priori hanno messo in evidenza eccessi di rischio per tutte le cause e per le malattie del sistema circolatorio in entrambi i sessi. Questi eccessi di mortalità sembrano essere ascrivibili, in particolare, alle malattie cardiache e cerebrovascolari. Per quanto riguarda le analisi di ospedalizzazione, tra le cause selezionate a priori, sono stati osservati eccessi per le malattie del sistema circolatorio in entrambi i sessi, in particolare per le malattie ischemiche e

per infarto acuto del miocardio. Considerando le cause analizzate a scopo descrittivo si riportano eccessi tra i soli uomini per tutti i tumori e per i disturbi della ghiandola tiroidea.

Come già anticipato nell'introduzione la letteratura scientifica che prende in considerazione gli effetti sulla salute di esposizioni da parte della popolazione generale alle emissioni di impianti di termovalorizzazione/produzione di cemento è attualmente scarsa, produce evidenze limitate e gli studi sono caratterizzati da alcune limitazioni con conseguente rischio di bias. La revisione sistematica di Raffetti et al. (2019) sugli effetti delle emissioni dei cementifici sulla salute della popolazione generale prende in considerazione 17 studi epidemiologici, 5 di questi esclusivamente sui bambini, 4 basati esclusivamente su questionario, 4 studiano esiti diversi da quelli da noi analizzati e quindi non utilizzabili per effettuare confronti con i risultati del nostro studio (Raffetti et al., 2019). Dei 4 studi rimanenti, 3 utilizzano, come valutazione dell'esposizione, la distanza dall'impianto (Eom et al., 2017; García-Pérez et al., 2015) la residenza nella città dove è presente l'impianto (Giordano et al., 2012) e un solo studio, condotto in Val Padana, fa ricorso allo stesso inquinante *proxy* del nostro studio, gli NO_x (Bertoldi et al., 2012). Quest'ultimo studio riporta un'associazione tra esposizione a cementificio e il rischio di ricovero per patologie respiratorie e cardiovascolari. Bertoldi et al. utilizzano una mappa di esposizione ricavata con metodologia molto differente dalla nostra, basata essenzialmente su misure in ambiente (multisorgente) in una campagna di misura invernale di soli 20 giorni in quattro punti di misura. Ne risultano tre zone di esposizione (meno, moderatamente e molto esposti) con valori di riferimento da circa 80 a circa 200 µg/m³, senza che si presenti il contributo generato dal un non meglio specificato modello di emissioni dell'industria. Nonostante questa profonda differenza, in Bertoldi et al. (2012) e nel nostro studio, nella definizione dell'esposizione, i nostri risultati sono parzialmente in linea sebbene noi riscontriamo un eccesso di rischio di ospedalizzazione solo per le patologie cardiovascolari. Confrontando i nostri risultati con gli altri studi che utilizzano la distanza dall'impianto come *proxy* per la valutazione dell'esposizione, possiamo dire che, anche in questo caso, sono parzialmente in linea con gli altri studi. Solo uno studio riporta risultati in linea con i nostri per quanto riguarda la mortalità per malattie cerebrovascolari tra gli uomini (Giordano et al., 2012); gli altri studi riportano, al contrario di quanto da noi osservato, eccessi di rischio di mortalità per patologie respiratorie (Giordano et al., 2012) e per patologie cancerogene (García-Pérez et al., 2015); per quest'ultime noi riscontriamo eccessi di ospedalizzazione ma non di mortalità. Uno studio riporta una più elevata incidenza del tumore del polmone (Eom et al., 2017) tra gli uomini mentre l'eccesso da noi riscontrato nell'ospedalizzazione è per tutti i tumori tra i soli uomini. Successivamente alla rassegna, lo studio di Ferroni et al. (2021) analizza gli effetti sulla salute della popolazione residente vicino a un cementificio in Italia attraverso uno studio di coorte residenziale utilizzando modelli di dispersione degli NO₂ come *proxy* di

esposizione alle emissioni da cementificio. In questo caso la metodologia utilizzata per ricavare l'esposizione alle concentrazioni di NO₂ è simile a quella da noi utilizzata (dispersione modellistica per un intero anno ritenuto rappresentativo per il periodo in esame), con valori risultanti in media annua comparabili ai nostri, ma con la scelta di un solo valore di riferimento (*cut-off*=0,5 µg/m³) per separare esposti e non esposti. Gli autori riportano un rischio di mortalità maggiore per malattie cardiovascolari tra le donne, in particolare per le cerebrovascolari e nessuna differenza significativa per le malattie respiratorie e per le patologie tumorali (Ferroni et al., 2021), in linea con i nostri risultati che, anzi, riportano tali eccessi anche tra gli uomini. Per quanto riguarda l'ospedalizzazione, i nostri risultati sono in linea con quelli dello studio trevisano di Ferroni et al. (2021) solo per quanto riguarda le malattie dell'apparato circolatorio ma non per le sotto-cause di quest'ultimo (per le quali osserviamo degli eccessi), per le patologie respiratorie e per le patologie tumorali.

Per quanto riguarda le esposizioni alle emissioni dei termovalorizzatori, la misura diretta degli effetti sulla salute alle emissioni dovute alla combustione di CDR è stata poco studiata, a causa, in parte, della difficoltà nel quantificare gli effetti sulla salute delle popolazioni derivanti da livelli di esposizione bassi o generalmente non stimati accuratamente (Vrijheid, 2000). Ad oggi abbiamo a disposizione solo la rassegna sistematica di Cole-Hunter et al. (2020) che analizza gli impatti sulla salute derivanti dalle emissioni dei termovalorizzatori. In questa rassegna ci sono solo due studi epidemiologici, che però prendono in considerazione esiti come presenza di metalli nelle urine (Ruggieri et al., 2019) o sotto-gruppi di popolazioni (bambini) (Lung et al., 2020) non confrontabili con la nostra situazione (vedi introduzione). All'interno della rassegna sono presenti anche studi di valutazione di impatto/rischio sulla salute secondo i quali, in condizioni normali di operatività, si osservano limitatissime evidenze per un aumento di effetti cancerogeni e non, dato che i termovalorizzatori sono caratterizzati da bassissime emissioni rispetto ai classici inceneritori (Krajcovicová and Eschenroeder, 2007; Ollson et al., 2014; Roberts and Chen, 2006); uno di questi studi riporta che la stima del rischio di cancro dovuta alle esposizioni (secondo tutti i *pathway*) alle emissioni di un termovalorizzatore (principalmente diossine) potrebbe essere più basso rispetto a quello per le esposizioni alle emissioni delle discariche e, inoltre, stima che l'ingestione di prodotti come latte e carne risulta essere un *pathway* di esposizione più importante rispetto all'inalazione delle emissioni di un termovalorizzatore (Paladino and Massabò, 2017).

Discussione risultati analisi esposizione all'inquinamento atmosferico da PM_{2,5} - Le analisi condotte prendendo in considerazione l'esposizione all'inquinamento atmosferico da PM_{2,5}, mostrano che se da un lato tutta la coorte è esposta a valori medi annuali inferiori al limite di legge di 25 µg/m³ (WHO, 2006), dall'altro è esposta a valori superiori al limite di 5 µg/m³ raccomandato dalle nuove *Air Quality*

Guidelines (AQG – Linee guida per la qualità dell’aria) (WHO, 2021). I risultati epidemiologici mettono in evidenza eccessi di rischio di mortalità tra i soli uomini per tutte le cause. Per le patologie che in letteratura risultano essere correlate con l’esposizione a $PM_{2,5}$ si evidenziano eccessi di rischio di mortalità tra i soli uomini per le malattie del sistema nervoso, per le malattie cardiache e respiratorie acute. Tra le cause di interesse locale analizzate si evidenzia un eccesso di rischio di mortalità per il tumore della mammella. Le analisi di ospedalizzazione sulle cause selezionate a priori riportano eccessi di rischio di ospedalizzazione per tutte le cause tra i soli uomini. Le sotto cause per le quali si evidenzia un eccesso di rischio di ospedalizzazione sono le malattie del sistema nervoso tra i soli uomini, le malattie del sistema circolatorio, in particolare le malattie cerebrovascolari, in entrambi i sessi e l’asma tra le sole donne. Per le patologie cancerogene si osservano eccessi di rischio di ospedalizzazione per tutti i tumori tra i soli uomini e per tumore della mammella tra le sole donne.

Il PM, che comprende molteplici componenti e granulometrie, è un importante e rilevante inquinante *outdoor* regolato in molti paesi. La maggior parte dei sistemi di monitoraggio della qualità dell’aria rileva il PM_{10} mentre le reti più recenti il $PM_{2,5}$. Il PM_{10} include sia le particelle fini ($PM_{2,5}$) sia quelle grossolane ($PM_{10-2,5}$). Il $PM_{2,5}$ origina principalmente dalle sorgenti di combustione, mentre il $PM_{10-2,5}$ è largamente composto da materiale crostale, sale marino e materiale biologico (WHO, 2006). La proporzione delle particelle in questi range di dimensione varia sostanzialmente dalla localizzazione geografica, dalla meteorologia e dalla sorgente specifica di PM come lavori edili, strade sterrate, presenza di deserti nelle vicinanze, e tutti contribuiscono a questi grandi quantitativi di materiale grossolano. Gli effetti sulla salute delle particelle fini e grossolane possono differire a causa della diversa composizione chimica e dal diverso livello di penetrazione nel tratto respiratorio. Nel 2019 l’Agenzia americana per la Protezione dell’Ambiente (US EPA) ha classificato l’associazione tra $PM_{2,5}$ e la mortalità per cause naturali come “causale” mentre l’associazione tra $PM_{10-2,5}$ e la mortalità per cause naturali come “suggestiva” (US EPA, 2019). La relazione “causale” o “probabilmente causale” tra l’esposizione a lungo termine al PM fine e la mortalità per tutte le cause, per patologie cardiovascolare, respiratorie e per cancro del polmone è stata riportata anche dall’Agenzia Internazionale per la Ricerca contro il Cancro (AIRC) (IARC, 2013). Lo studio Global Burden of Disease, lo studio epidemiologico osservazionale sul carico di malattia (*burden of disease*) più completo su scala mondiale condotto fino a oggi, stima che il $PM_{2,5}$ sia al quinto posto come fattore di rischio nel 2015 con circa 4,2 milioni di morti causate dall’esposizione a $PM_{2,5}$. Le evidenze degli effetti di esposizioni a breve termine (da un’ora a giorni) agli inquinanti atmosferici riportano associazioni con tutte le cause, con le cause respiratorie, la mortalità cardiovascolare e anche con gli accessi al pronto soccorso (WHO, 2006). Un certo numero recente di rassegne sistematiche e meta-analisi hanno dimostrato gli effetti del PM (Atkinson et al., 2015, 2014; Bell et al., 2013; Shah et al.,

2015) e anche degli NO_x (Newell et al., 2018; Shah et al., 2015) su tutte le cause e sulla mortalità causa-specifica. In seguito all'ultima pubblicazione delle AQG del 2006, a fronte del forte aumento della produzione scientifica su inquinamento atmosferico ed effetti sulla salute, la WHO ha commissionato varie rassegne sistematiche e meta-analisi col fine di aggiornare le evidenze scientifiche in modo da supportare il nuovo aggiornamento delle AQG (WHO, 2021) con l'obiettivo di sintetizzare l'evidenza a livello mondiale sugli effetti delle esposizioni a particolato e altri inquinanti atmosferici sulla mortalità per tutte le cause e/o per causa specifica, compresa la mortalità cardiovascolare, respiratoria e cerebrovascolare (Chen and Hoek, 2020; Orellano et al., 2020). La meta-analisi sugli effetti a breve termine riscontra associazioni positive tra PM_{2,5} (per incrementi di 10 µg/m³) e la mortalità per tutte le cause, in particolare per le patologie cardiovascolari, respiratorie e cerebrovascolari (Orellano et al., 2020). Per quanto riguarda l'esposizione a lungo termine, nella meta-analisi condotta per conto della WHO, il PM_{2,5} risulta essere associato ad un significativo incremento di rischio per tutte le cause di mortalità (Chen and Hoek, 2020). Per la mortalità per le cause naturali, l'effetto combinato dei 25 studi della meta-analisi è leggermente più elevato di quello della precedente rassegna (Hoek et al., 2013), a causa delle nuove evidenze riscontrate in Asia, America del Nord e Europa e a causa di un *follow-up* più lungo. L'effetto combinato stimato è più ampio per le cardiovascolari (in particolare per le malattie ischemiche del cuore) rispetto alla mortalità per cause naturali associate all'esposizione a PM_{2,5}. In quest'ultima meta-analisi si osserva un aumento del rischio per la mortalità per patologie respiratorie (Chen and Hoek, 2020) a differenza della precedente rassegna che non riscontra alcuna associazione (Hoek et al., 2013). La meta-analisi riporta anche un aumento significativo del rischio per la mortalità per cancro del polmone in associazione all'esposizione a PM_{2,5} (Chen and Hoek, 2020). In generale, le associazioni col PM_{2,5} sono molto più consistenti rispetto al PM₁₀, soprattutto per le cardiovascolari (Chen and Hoek, 2020). La meta-analisi conclude l'aggiornamento dell'evidenza arrivando al livello "evidenza con certezza elevata", per tutti gli endpoint associati al PM_{2,5} eccetto per la mortalità per le patologie respiratorie, semplicemente perché la meta-analisi non prende in considerazione questo *outcome* (Chen and Hoek, 2020). Aggiornando la letteratura tra il 2019 e il 2022, periodo successivo a quello di riferimento per le revisioni sistematiche raccomandate dalla WHO per la definizione delle AQG, troviamo vari studi che confermano ancora le associazioni tra PM_{2,5} e aumento di mortalità/morbidità e/o del rischio per patologie cardiovascolari, respiratorie e tutti i tumori (Lederer et al., 2021; Zou et al., 2021). Una recente revisione sistematica riscontra un'associazione da approfondire perché la stima risulta altamente incerta tra esposizione a lungo-termine a PM_{2,5} e PM₁₀ e rischio di tumore della mammella (Wei et al., 2021).

Possiamo quindi dire che, per quanto riguarda la mortalità, i nostri risultati in linea con quelli riportati dalla recente letteratura scientifica, per tutte le cause e per le malattie cardiovascolari; non riscontriamo, invece, eccessi di rischio per le patologie respiratorie se non un segnale per le respiratorie acute tra gli uomini più esposti che andrà approfondito con studi futuri.

Riassumendo, per quanto riguarda le esposizioni da impianti in studio, i risultati dello studio EPIVenafro+7 mostrano eccessi significativi sia di mortalità sia di ospedalizzazione, in entrambi i sessi, nell'area 3 per le malattie cardiovascolari, con qualche debole segnale nella classe più esposta contenente un numero esiguo di soggetti. Da notare che l'area 3 si estende da nord a sud nei comuni di Montaquila, Pozzilli, Venafro e Sesto Campano e, oltre agli effetti degli impianti considerati, non è escluso che possa essere presente un effetto da parte di altre sorgenti ambientali lineari e puntuali che potrebbero influenzare la relazione in studio. Per quanto riguarda le esposizioni a $PM_{2,5}$, l'area a maggiore esposizione (con valori medi annuali di $PM_{2,5}$ compresi tra 17,1 e 20,2 $\mu g/m^3$ significativamente superiori al livello suggerito di 5 $\mu g/m^3$ dalle AQG) è limitata all'agglomerato urbano di Venafro, in particolare in corrispondenza dell'incrocio tra le due strade statali principali. Da una sintesi dei risultati si osservano in entrambi i sessi eccessi consistenti di mortalità in entrambe le aree più esposte per le malattie cardiovascolari. Per i maschi tale eccesso è confermato anche dalle analisi di ospedalizzazione. Gli eccessi osservati per le malattie cardiovascolari sono in linea con quanto riportato in letteratura, cioè che l'esposizione a breve/lungo periodo a $PM_{2,5}$ e NO_x , e più in generale all'inquinamento atmosferico, è associata ad effetti dirimenti per la salute umana quali eccessi di rischio di mortalità per tutte le cause e per tutti i tumori e per le patologie cardiovascolari. La letteratura scientifica sull'esposizione specifica a cementifici e/o termovalorizzatori produce evidenze limitate.

In quanto studio di coorte retrospettivo residenziale, il progetto EPIVenafro+7 presenta dei vantaggi e dei limiti. Per quanto riguarda i vantaggi, a differenza della maggior parte degli studi condotti per esposizioni a cementifici/termovalorizzatori/PM che utilizzano la distanza dalla residenza per valutare l'esposizione dei soggetti, nello studio EPIVenafro+7 è stato costruito e utilizzato un modello di dispersione di un surrogato dell'inquinamento insistente nell'area in studio tenendo conto di altre fonti che insistono sul territorio, come le strade che, in particolare a Venafro, generano una situazione di traffico veicolare importante. Essendo uno studio di coorte, ha consentito di esaminare esiti diversi per una stessa tipologia di esposizione e, inoltre, i dati a livello individuale permettono di seguire ogni soggetto nel tempo attraverso la ricostruzione della storia residenziale e di associare l'esposizione al soggetto in base al tempo di residenza in un determinato indirizzo. Da sottolineare, inoltre, che nello studio EPIVenafro+7 la georeferenziazione ha raggiunto il 100% della georeferenziazione e questo ha consentito di non avere distorsioni dovute alla mancanza di soggetti

che possono essere distribuiti nel territorio in modo differenziale. La perdita del 5% dei soggetti provenienti dal registro di mortalità e del 10% dei soggetti provenienti dalle SDO ci permettono di essere abbastanza confidenti per quanto riguarda l'attendibilità delle stime ottenute poiché, negli studi di coorte una perdita del 10% è considerata fisiologica e normale. Lo studio EPIVenafro+7 è anche caratterizzato da una serie di limitazioni. Prima di tutto la numerosità del campione che in alcuni casi ha generato una stima dell'indicatore non attendibile o addirittura non è stata riportata per motivi di privacy dei soggetti perché inferiore ai 3 casi. In secondo luogo, l'attribuzione dell'esposizione complessa come quella multi-sorgente, derivante cioè da diverse tipologie di fonti, è stata effettuata basandosi solo sull'indirizzo di residenza del soggetto. La residenza, infatti, potrebbe non rappresentare adeguatamente la reale esposizione dei soggetti, in quanto le persone trascorrono diverse ore fuori dalla loro abitazione per motivi personali e/o di lavoro. Lo studio EPIVenafro+7 non ha considerato informazioni relative agli spostamenti dei soggetti della coorte durante la giornata tra la residenza, il lavoro e altre attività. Questo può portare ad una missclassificazione tra i residenti in aree esposte e i residenti in aree meno esposte e alla generazione di bias che, comunque, solitamente portano a sottostimare i rischi in quanto tale missclassificazione è di tipo non differenziale. È altresì importante sottolineare che la popolazione in prossimità delle aree industriali condivide esposizioni multiple e la metodologia che porta all'identificazione dell'effetto isolato derivante da fonti inquinanti diverse che insistono su una stessa area è complessa e talvolta non applicabile. In particolare, a titolo di esempio, per esposizioni a inquinanti generati da sorgenti vicine tra loro non è possibile attribuire univocamente gli effetti di una sorgente rispetto ad un'altra. Il modello utilizzato nello studio EPIVenafro+7 considera il PM_{2,5} complessivo rilevato nell'area di studio (indipendentemente dalla sorgente) offrendo un approccio diverso rispetto alla valutazione delle emissioni da parte di una singola fonte.

Non sono stati direttamente considerati confondenti quali fumo di sigaretta, abuso di alcol, obesità, dieta, attività fisica ed esposizione professionale a causa della non disponibilità di questa tipologia di dato. Per questi fattori, anche se è ragionevole assumere che non vi sia una differenza tra residenti in aree a diverso livello di esposizione, non è da escludersi un effetto di confondimento. D'altra parte, poiché molte abitudini personali sopraelencate sono riconosciute essere associate allo stato socio-economico, possiamo ritenere che la correzione effettuata nelle analisi per l'indicatore di deprivazione socio-economica possa aver tenuto conto, almeno parzialmente, delle variabili individuali e degli stili di vita non misurati direttamente nello studio EPIVenafro+7. L'indice di deprivazione socio-economica disponibile a livello di sezione di censimento è stato, infatti, utilizzato come *proxy* della deprivazione individuale al fine di aggiustare le stime di rischio per la salute. Tale scelta, in linea con quella di altri studi di rilevanza nazionale, è stata presa con la consapevolezza che

tale indice è spesso associato sia all'esposizione ambientale sia a diverse cause di mortalità/ospedalizzazione e che potrebbe essere affetto da bias ecologico.

6. Considerazioni conclusive e sviluppi futuri

Lo studio di coorte residenziale retrospettivo EPIVenafro+7, per esposizioni a NO_x, (variabile *proxy* degli impianti industriali) ha messo in evidenza eccessi di rischio di mortalità/ospedalizzazione per tutte le cause, in particolare per le malattie del sistema circolatorio tra i soggetti in classe 3 e per alcuni sottogruppi delle malattie cardiovascolari tra quelli più esposti, anche se di debole entità. Per quanto riguarda, invece, l'esposizione a PM_{2,5} (inquinante che si riferisce a tutte le altre fonti emissive del territorio) si evidenziano eccessi significativi di mortalità/ospedalizzazione per le malattie cardiovascolari in entrambi i sessi e per le malattie del sistema nervoso tra i soli uomini, eccessi di mortalità per le malattie respiratorie tra i soli uomini e per il tumore della mammella tra le sole donne, anche se quest'ultimo è riportato a solo scopo descrittivo. I risultati per l'esposizione NO_x derivante da impianti forniscono alcuni segnali per quanto riguarda l'esposizione agli inquinanti emessi nell'area in studio e l'insorgenza di patologie croniche anche se corredata da una significativa incertezza da approfondire con ulteriori studi analitici.

Da considerare anche che gli eccessi ottenuti per le malattie cardiovascolari si osservano solo in classe 3 e non in quella più esposta. In quest'ultima, i pochi eccessi osservati sono affetti da significativa incertezza a causa dell'esigua numerosità degli esposti e di conseguenza al basso numero di casi osservati. L'entità degli eccessi riscontrati non è allarmante ma sicuramente viene messa in luce una situazione che fornisce una serie di segnali meritevoli di ulteriori approfondimenti includendo stili di vita e altri fattori di rischio individuali.

Nell'ultimo anno (2021-2022) sono state pubblicate numerose rassegne sistematiche/metanalisi su particolato e salute; nello specifico alcune hanno valutato particolato e neuro-sviluppo in bambini in età scolare e pre-scolare (Castagna et al., 2022), deterioramento cognitivo nel corso della vita (Chandra et al., 2022), mortalità prematura (Waidyatillake et al., 2021), rischio di cancro gastro-intestinale (Pritchett et al., 2022), funzione renale (Rasking et al., 2022), fattori di rischio per le malattie polmonari cronico-ostruttive (Chen et al., 2021) e sclerosi multipla (Lotfi et al., 2022). Queste rassegne sistematiche concordano sul fatto che il PM_{2,5} è l'inquinante, tra quelli considerati (PM₁₀, NO_x e NO₂, PAH), che desta più preoccupazione poiché si riscontrano segnali di associazione con gli esiti analizzati e che i segnali riscontrati sono comunque da approfondire a causa o della scarsità di studi su tali argomenti, come nel caso del cancro gastro-intestinale, della funzione renale e della sclerosi multipla, o problematiche di bias. Da qui si deduce che è necessario approfondire ancora le eventuali associazioni tra l'esposizione ad inquinamento atmosferico ed effetti sulla salute mediante tipologie di studi più accurati. Anche se lo studio di coorte è uno dei disegni di studio più avanzati, l'incertezza delle stime può essere ridotta sia affinando tale metodologia, migliorando accuratezza e precisione dell'esposizione, sia utilizzando altre metodologie di indagine analitica che

l'epidemiologia mette a disposizione e che potrebbero rappresentare strategie da utilizzare in futuro per approfondire gli eccessi di rischio evidenziati dallo studio EPIVenafro+7. In particolare, si raccomandano i seguenti approfondimenti:

- studio di coorte migliorando accuratezza e precisione dell'esposizione con particolare riferimento alla speciazione chimica del particolato e all'utilizzo di matrici di esposizione lavorativa;
- studio di coorte utilizzando come indicatore di salute il CeDAP – per effettuare tale analisi è necessario un lavoro ad hoc che miri al miglioramento del dato routinario per poterlo successivamente utilizzare a scopo epidemiologico;
- studio di coorte utilizzando come indicatore di salute il Registro Tumori – a tal fine è necessaria l'implementazione di tale registro fino all'ottenimento di un adeguato numero di anni in modo da consentire analisi di associazione di rischio tra inquinanti presenti nel territorio e insorgenza di patologie tumorali;
- approfondimento dei risultati su sottogruppi di popolazione in base all'età e alla residenza in sotto-aree al fine di mettere in evidenza eccessi di rischio età/area-specifici;
- studio geografico per identificare addensamenti di casi in aree specifiche del territorio;
- studio campionario su malattie cardiovascolari e respiratorie con questionari e biomonitoraggio umano (BMU). Considerato che in EPIVenafro+7 non è stato possibile valutare vari confondenti perché non avevamo a disposizione questa tipologia di dati, si potrebbe pensare di sottoporre un questionario ad un campione rappresentativo della popolazione. Quando si sottopone un questionario in uno studio epidemiologico, lo si struttura in base all'esito da analizzare (in letteratura esistono questionari per vari esiti già validati). Le sezioni comunemente presenti in questionari di questo tipo sono relative alle informazioni personali (sesso, stato civile, livello di educazione ecc.), stili di vita (abitudini al fumo e all'alcol, attività fisica, dieta), storia medica, storia occupazionale. Tutte le informazioni che si ricavano dal questionario sono utili per valutare i confondenti da considerare nelle analisi statistiche. Possono essere condotti studi di BMU. Dobbiamo sempre tenere presente che la maggior parte degli scenari di inquinamento ambientale è caratterizzata da esposizioni multiple, basse concentrazioni, elevata diffusione e variabilità spazio-temporale. In questo contesto l'esposizione avviene attraverso diverse modalità e la quantità assunta dell'inquinante è determinata da diversi fattori (concentrazione dell'inquinante in una specifica matrice ambientale, le sue proprietà chimico-fisiche, la durata dell'esposizione e fattori individuali, tra cui l'assunzione, il metabolismo e i tassi di escrezione) (WHO, 2015). Il BMU prende in considerazione tutti i fattori misurando le concentrazioni di una sostanza

chimica o dei suoi metaboliti nelle matrici biologiche umane (sangue, urine, unghie e saliva) (Sexton et al., 2004) passando quindi da una stima dell'esposizione a una misura diretta di un contaminante nell'organismo, tenendo conto anche delle diverse vie di esposizione e della suscettibilità individuale. Il BMU, però, non rivela le sorgenti e le modalità di esposizione, pertanto il monitoraggio ambientale rimane di fondamentale importanza per accompagnare questo tipo di studi e lo sviluppo di azioni mirate (WHO, 2015). Programmi di sorveglianza nazionali ed internazionali utilizzano ormai tecniche di biomonitoraggio ben definite per raccogliere informazioni sull'esposizione delle popolazioni a pericoli di origine ambientale che possono essere significativi a livello di salute pubblica (Pirastu et al., 2010). Il valore aggiunto del BMU risiede, quindi, nella possibilità di definire la reale concentrazione degli inquinanti nell'organismo, come risultante dei processi metabolici e di bioaccumulo e che può essere notevolmente diversa da quella stimata a partire da misure nelle matrici ambientali.

A conclusione di questo report riteniamo doveroso richiamare l'attenzione sul fatto che dopo 15 anni dalla pubblicazione delle ultime AQG, i livelli stimati dall'Organizzazione Mondiale della Sanità, in seguito alle varie rassegne commissionate per aggiornare la letteratura scientifica, ai quali tendere si sono considerevolmente abbassati rispetto a quelli precedenti. In particolare le concentrazioni medie annue di $PM_{2,5}$ passano da 10 a 5 $\mu g/m^3$, quelle di NO_2 da 40 a 10 $\mu g/m^3$ e la concentrazione media di O_3 nelle 8 ore in alta stagione non deve superare i 60 $\mu g/m^3$ (per questo inquinante, non c'erano valori limite raccomandati).

Ciò significa che è ormai più che dimostrato che l'inquinamento atmosferico, anche a livelli molto bassi, è pericoloso e nuoce alla salute. Considerando che il 90% della popolazione mondiale nel 2019 ha vissuto in aree dove non sono stati rispettati neanche i limiti più alti previsti dalle Linee guida precedenti (WHO, 2006), il lavoro da compiere da parte di politici, decisori e cittadini per la tutela della salute delle popolazioni è notevole e fondamentale.

Concludendo, nonostante si raccomandino gli approfondimenti sopraelencati, in virtù del fatto che tutti i soggetti della coorte sono esposti ad un valore medio annuale di $PM_{2,5}$ superiore ai 5 $\mu g/m^3$ indicati dalle nuove AQG per la tutela della salute, si rende necessario perseguire già da ora politiche ambientali che mirino alla riduzione delle concentrazioni degli inquinanti atmosferici in modo da ridurre l'onere sanitario derivante dall'esposizione all'inquinamento atmosferico e, sebbene le nuove AQG non siano legalmente vincolanti, è auspicabile che costituiscano il punto di riferimento per le politiche in tutti i Paesi e in tutti settori.

7. Bibliografia

- Albores, P., Petridis, K., Dey, P.K., 2016. Analysing Efficiency of Waste to Energy Systems: Using Data Envelopment Analysis in Municipal Solid Waste Management. *Procedia Environmental Sciences* 35, 265–278. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.07.007>
- Atkinson, R.W., Kang, S., Anderson, H.R., Mills, I.C., Walton, H.A., 2014. Epidemiological time series studies of PM_{2.5} and daily mortality and hospital admissions: a systematic review and meta-analysis. *Thorax* 69, 660–665. <https://doi.org/10.1136/thoraxjnl-2013-204492>
- Atkinson, R.W., Mills, I.C., Walton, H.A., Anderson, H.R., 2015. Fine particle components and health--a systematic review and meta-analysis of epidemiological time series studies of daily mortality and hospital admissions. *J Expo Sci Environ Epidemiol* 25, 208–214. <https://doi.org/10.1038/jes.2014.63>
- Bell, M.L., Zanobetti, A., Dominici, F., 2013. Evidence on vulnerability and susceptibility to health risks associated with short-term exposure to particulate matter: a systematic review and meta-analysis. *Am J Epidemiol* 178, 865–876. <https://doi.org/10.1093/aje/kwt090>
- Bertoldi, M., Borgini, A., Tittarelli, A., Fattore, E., Cau, A., Fanelli, R., Crosignani, P., 2012. Health effects for the population living near a cement plant: an epidemiological assessment. *Environ Int* 41, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2011.12.005>
- Beyene, H.D., Werkneh, A.A., Ambaye, T.G., 2018. Current updates on waste to energy (WtE) technologies: a review. *Renewable Energy Focus* 24, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.ref.2017.11.001>
- Biggeri, A., Stoppa, G., Catelan, D., 2022. [P-value and the probability of direction of effect]. *Epidemiol Prev* 46, 204–210. <https://doi.org/10.19191/EP22.3.A482.043>
- Burnett, R., Chen, H., Szyszkowicz, M., Fann, N., Hubbell, B., Pope, C.A., Apte, J.S., Brauer, M., Cohen, A., Weichenthal, S., Coggins, J., Di, Q., Brunekreef, B., Frostad, J., Lim, S.S., Kan, H., Walker, K.D., Thurston, G.D., Hayes, R.B., Lim, C.C., Turner, M.C., Jerrett, M., Krewski, D., Gapstur, S.M., Diver, W.R., Ostro, B., Goldberg, D., Crouse, D.L., Martin, R.V., Peters, P., Pinault, L., Tjepkema, M., van Donkelaar, A., Villeneuve, P.J., Miller, A.B., Yin, P., Zhou, M., Wang, L., Janssen, N.A.H., Marra, M., Atkinson, R.W., Tsang, H., Quoc Thach, T., Cannon, J.B., Allen, R.T., Hart, J.E., Laden, F., Cesaroni, G., Forastiere, F., Weinmayr, G., Jaensch, A., Nagel, G., Concin, H., Spadaro, J.V., 2018. Global estimates of mortality associated with long-term exposure to outdoor fine particulate matter. *Proc Natl Acad Sci U S A* 115, 9592–9597. <https://doi.org/10.1073/pnas.1803222115>
- Castagna, A., Mascheroni, E., Fustinoni, S., Montiroso, R., 2022. Air pollution and neurodevelopmental skills in preschool- and school-aged children: A systematic review. *Neurosci Biobehav Rev* 136, 104623. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2022.104623>
- Chandra, M., Rai, C.B., Kumari, N., Sandhu, V.K., Chandra, K., Krishna, M., Kota, S.H., Anand, K.S., Oudin, A., 2022. Air Pollution and Cognitive Impairment across the Life Course in Humans: A Systematic Review with Specific Focus on Income Level of Study Area. *Int J Environ Res Public Health* 19, 1405. <https://doi.org/10.3390/ijerph19031405>
- Chen, H., Liu, X., Gao, X., Lv, Y., Zhou, L., Shi, J., Wei, W., Huang, J., Deng, L., Wang, Z., Jin, Y., Yu, W., 2021. Epidemiological evidence relating risk factors to chronic obstructive pulmonary disease in China: A systematic review and meta-analysis. *PLoS One* 16, e0261692. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0261692>
- Chen, J., Hoek, G., 2020. Long-term exposure to PM and all-cause and cause-specific mortality: A systematic review and meta-analysis. *Environment International* 143, 105974. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105974>
- Chinyama, M., 2011. Alternative Fuels in Cement Manufacturing, in: *Alternative Fuel*. IntechOpen.
- Clean Energy Finance Corporation, 2015. The Australian bioenergy and energy from waste market [WWW Document]. URL https://nanopdf.com/download/the-australian-bioenergy-and-energy-from-waste-market_pdf (accessed 7.5.22).

- Cohen, S.S., Sadoff, M.M., Jiang, X., Fryzek, J.P., Garabrant, D.H., 2014. A review and meta-analysis of cancer risks in relation to Portland cement exposure. *Occup Environ Med* 71, 796–802. <https://doi.org/10.1136/oemed-2014-102193>
- Cole-Hunter, T., Johnston, F.H., Marks, G.B., Morawska, L., Morgan, G.G., Overs, M., Porta-Cubas, A., Cowie, C.T., 2020. The health impacts of waste-to-energy emissions: a systematic review of the literature. *Environ. Res. Lett.* 15, 123006. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abae9f>
- Conesa, J.A., Gálvez, A., Mateos, F., Martín-Gullón, I., Font, R., 2008. Organic and inorganic pollutants from cement kiln stack feeding alternative fuels. *Journal of Hazardous Materials* 158, 585–592. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.01.116>
- Eom, S.-Y., Cho, E.-B., Oh, M.-K., Kweon, S.-S., Nam, H.-S., Kim, Y.-D., Kim, H., 2017. Increased incidence of respiratory tract cancers in people living near Portland cement plants in Korea. *Int Arch Occup Environ Health* 90, 859–864. <https://doi.org/10.1007/s00420-017-1244-9>
- European Environment Agency, 2020. Healthy environment, healthy lives: how the environment influences health and well-being in Europe [WWW Document]. European Environment Agency. URL <https://www.eea.europa.eu/publications/healthy-environment-healthy-lives> (accessed 11.11.21).
- Fell, A.K.M., Nordby, K.C., 2017. Association between exposure in the cement production industry and non-malignant respiratory effects: a systematic review. *BMJ Open* 7, e012381. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2016-012381>
- Fell, A.K.M., Sikkeland, L.I.B., Svendsen, M.V., Kongerud, J., 2010. Airway inflammation in cement production workers. *Occup Environ Med* 67, 395–400. <https://doi.org/10.1136/oem.2009.047852>
- Ferroni, E., Cestari, L., Cinquetti, S., Corti, M.C., Fedeli, U., Donato, F., 2021. [Residential cohort study to assess the impact of emissions released by a cement plant on the health status of the population residing in Pederobba (Veneto Region, Northern Italy)]. *Epidemiol Prev* 45, 82–91. <https://doi.org/10.19191/EP21.1-2.P082.042>
- García-Pérez, J., López-Abente, G., Castelló, A., González-Sánchez, M., Fernández-Navarro, P., 2015. Cancer mortality in towns in the vicinity of installations for the production of cement, lime, plaster, and magnesium oxide. *Chemosphere* 128, 103–110. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.01.020>
- GBD 2019 Risk Factors Collaborators, 2020. Global burden of 87 risk factors in 204 countries and territories, 1990-2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *Lancet* 396, 1223–1249. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30752-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30752-2)
- Giordano, F., Grippo, F., Perretta, V., Figà-Talamanca, I., 2012. Impact of cement production emissions on health: Effects on the mortality patterns of the population living in the vicinity of a cement plant. *Fresenius Environmental Bulletin* 21, 1905–1909.
- Glencross, D.A., Ho, T.-R., Camiña, N., Hawrylowicz, C.M., Pfeffer, P.E., 2020. Air pollution and its effects on the immune system. *Free Radic Biol Med* 151, 56–68. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2020.01.179>
- Grigg, J., 2018. Air Pollution and Respiratory Infection: An Emerging and Troubling Association. *Am J Respir Crit Care Med* 198, 700–701. <https://doi.org/10.1164/rccm.201804-0614ED>
- Hendriks, C., Worrell, E., Jager, D., Blok, K., Riemer, P., 2004. Emission Reduction of Greenhouse Gases from the Cement Industry. *Proceedings of the Fourth International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies*. <https://doi.org/10.1016/B978-008043018-8/50150-8>
- Hoek, G., Krishnan, R.M., Beelen, R., Peters, A., Ostro, B., Brunekreef, B., Kaufman, J.D., 2013. Long-term air pollution exposure and cardio- respiratory mortality: a review. *Environmental Health* 12, 43. <https://doi.org/10.1186/1476-069X-12-43>
- Huangfu, P., Atkinson, R., 2020. Long-term exposure to NO₂ and O₃ and all-cause and respiratory mortality: A systematic review and meta-analysis. *Environ Int* 144, 105998. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105998>
- IARC, 2013. Air Pollution and Cancer. International Agency for Research on Cancer, Lyon, France.

- Jenks, G., 1967. The Data Model Concept in Statistical Mapping. undefined.
- Krajcovicová, J., Eschenroeder, A.Q., 2007. Comparative health risks of domestic waste combustion in urban and rural Slovakia. *Environ Sci Technol* 41, 6847–6853. <https://doi.org/10.1021/es0627186>
- Lederer, A.M., Fredriksen, P.M., Nkeh-Chungag, B.N., Everson, F., Strijdom, H., De Boever, P., Goswami, N., 2021. Cardiovascular effects of air pollution: current evidence from animal and human studies. *Am J Physiol Heart Circ Physiol* 320, H1417–H1439. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.00706.2020>
- Leone, V., Cervone, G., Iovino, P., 2016. Impact assessment of PM10 cement plants emissions on urban air quality using the SCIPUFF dispersion model. *Environ Monit Assess* 188, 499. <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5519-5>
- Liaw, A., Wiener, M., 2002. Classification and Regression by randomForest. *R News* 2/3, 18–22.
- Lotfi, F., Mansourian, M., Mirmoayyeb, O., Najdaghi, S., Shaygannejad, V., Esmaeil, N., 2022. Association of Exposure to Particulate Matters and Multiple Sclerosis: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Neuroimmunomodulation* 29, 21–27. <https://doi.org/10.1159/000516559>
- Lung, F.-W., Shu, B.-C., Chiang, T.-L., Lin, S.-J., 2020. The impermanent effect of waste incineration on children's development from 6 months to 8 years: A Taiwan Birth Cohort Study. *Sci Rep* 10, 3150. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-60039-w>
- Lv, D., Zhu, T., Liu, R., Lv, Q., Sun, Y., Wang, H., Liu, Y., Zhang, F., 2016. Effects of co-processing sewage sludge in cement kiln on NOx, NH3 and PAHs emissions. *Chemosphere* 159, 595–601. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.06.062>
- Malig, B.J., Pearson, D.L., Chang, Y.B., Broadwin, R., Basu, R., Green, R.S., Ostro, B., 2016. A Time-Stratified Case-Crossover Study of Ambient Ozone Exposure and Emergency Department Visits for Specific Respiratory Diagnoses in California (2005-2008). *Environ Health Perspect* 124, 745–753. <https://doi.org/10.1289/ehp.1409495>
- Marcon, A., Pesce, G., Girardi, P., Marchetti, P., Blengio, G., de Zolt Sappadina, S., Falcone, S., Frapporti, G., Predicatori, F., de Marco, R., 2014. Association between PM10 concentrations and school absences in proximity of a cement plant in northern Italy. *Int J Hyg Environ Health* 217, 386–391. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2013.07.016>
- Mosca, S., Benedetti, P., Guerriero, E., Rotatori, M., 2014. Assessment of nitrous oxide emission from cement plants: real data measured with both Fourier transform infrared and nondispersive infrared techniques. *J Air Waste Manag Assoc* 64, 1270–1278. <https://doi.org/10.1080/10962247.2014.936986>
- Newell, K., Kartsonaki, C., Lam, K.B.H., Kurmi, O., 2018. Cardiorespiratory health effects of gaseous ambient air pollution exposure in low and middle income countries: a systematic review and meta-analysis. *Environ Health* 17, 41. <https://doi.org/10.1186/s12940-018-0380-3>
- Nordby, K.-C., Notø, H., Eduard, W., Skogstad, M., Fell, A.K., Thomassen, Y., Skare, Ø., Bergamaschi, A., Pietrojusti, A., Abderhalden, R., Kongerud, J., Kjuus, H., 2016. Thoracic dust exposure is associated with lung function decline in cement production workers. *European Respiratory Journal* 48, 331–339. <https://doi.org/10.1183/13993003.02061-2015>
- Nuvolone, D., Petri, D., Voller, F., 2018. The effects of ozone on human health. *Environ Sci Pollut Res Int* 25, 8074–8088. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9239-3>
- O'Brien, J.K., 2008. Comparison of Air Emissions From Waste-to-Energy Facilities to Fossil Fuel Power Plants. Presented at the 14th Annual North American Waste-to-Energy Conference, American Society of Mechanical Engineers Digital Collection, pp. 69–78. <https://doi.org/10.1115/NAWTEC14-3187>
- Ollson, C.A., Knopper, L.D., Whitfield Aslund, M.L., Jayasinghe, R., 2014. Site specific risk assessment of an energy-from-waste thermal treatment facility in Durham Region, Ontario, Canada. Part A: Human health risk assessment. *Sci Total Environ* 466–467, 345–356. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.07.019>

- Orellano, P., Reynoso, J., Quaranta, N., Bardach, A., Ciapponi, A., 2020. Short-term exposure to particulate matter (PM10 and PM2.5), nitrogen dioxide (NO2), and ozone (O3) and all-cause and cause-specific mortality: Systematic review and meta-analysis. *Environment International* 142, 105876. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105876>
- Paladino, O., Massabò, M., 2017. Health risk assessment as an approach to manage an old landfill and to propose integrated solid waste treatment: A case study in Italy. *Waste Manag* 68, 344–354. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.07.021>
- Peters, R., Ee, N., Peters, J., Booth, A., Mudway, I., Anstey, K.J., 2019. Air Pollution and Dementia: A Systematic Review. *J Alzheimers Dis* 70, S145–S163. <https://doi.org/10.3233/JAD-180631>
- Pirastu, R., Ancona, C., Iavarone, I., Mitis, F., Zona, A., Comba, P., 2010. SENTIERI Project. Mortality study of residents in Italian polluted sites. Evaluation of the epidemiological evidence. *Epidemiologia & Prevenzione* 34.
- Pritchett, N., Spangler, E.C., Gray, G.M., Livinski, A.A., Sampson, J.N., Dawsey, S.M., Jones, R.R., 2022. Exposure to Outdoor Particulate Matter Air Pollution and Risk of Gastrointestinal Cancers in Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis of Epidemiologic Evidence. *Environ Health Perspect* 130, 36001. <https://doi.org/10.1289/EHP9620>
- Raffetti, E., Treccani, M., Donato, F., 2019. Cement plant emissions and health effects in the general population: a systematic review. *Chemosphere* 218, 211–222. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.11.088>
- Rasking, L., Vanbrabant, K., Bové, H., Plusquin, M., De Vusser, K., Roels, H.A., Nawrot, T.S., 2022. Adverse Effects of fine particulate matter on human kidney functioning: a systematic review. *Environ Health* 21, 24. <https://doi.org/10.1186/s12940-021-00827-7>
- Roberts, R.J., Chen, M., 2006. Waste incineration--how big is the health risk? A quantitative method to allow comparison with other health risks. *J Public Health (Oxf)* 28, 261–266. <https://doi.org/10.1093/pubmed/fdl037>
- Rosano, A., Pacelli, B., Zengarini, N., Costa, G., Cislighi, C., Caranci, N., 2020. Aggiornamento e revisione dell'indice di deprivazione italiano 2011 a livello di sezione di censimento. *Epidemiologia & Prevenzione* 44, 162–170. <https://doi.org/10.19191/EP20.2-3.P162.039>
- Ruggieri, F., Alimonti, A., Bena, A., Pino, A., Oreggia, M., Farina, E., Salamina, G., Procopio, E., Gandini, M., Cadum, E., Bocca, B., 2019. Human biomonitoring health surveillance for metals near a waste-to-energy incinerator: The 1-year post-operam study. *Chemosphere* 225, 839–848. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.03.041>
- Schuhmacher, M., Domingo, J.L., Garreta, J., 2004. Pollutants emitted by a cement plant: health risks for the population living in the neighborhood. *Environmental Research* 95, 198–206. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2003.08.011>
- Sexton, K., L. Needham, L., L.Pirkle, J., 2004. Human Biomonitoring of Environmental Chemicals: Measuring chemicals in human tissues is the “gold standard” for assessing people’s exposure to pollution. *American Scientist* 92, 38–45.
- Shah, A.S.V., Lee, K.K., McAllister, D.A., Hunter, A., Nair, H., Whiteley, W., Langrish, J.P., Newby, D.E., Mills, N.L., 2015. Short term exposure to air pollution and stroke: systematic review and meta-analysis. *BMJ* 350, h1295. <https://doi.org/10.1136/bmj.h1295>
- Stafoggia, M., Cattani, G., Ancona, C., Ranzi, A., 2020. Exposure assessment of air pollution in Italy 2016-2019 for future studies on air pollution and COVID-19. *Epidemiologia & Prevenzione* 44, 161–168. <https://doi.org/10.19191/EP20.5-6.S2.115>
- Strickland, M.J., Darrow, L.A., Klein, M., Flanders, W.D., Sarnat, J.A., Waller, L.A., Sarnat, S.E., Mulholland, J.A., Tolbert, P.E., 2010. Short-term associations between ambient air pollutants and pediatric asthma emergency department visits. *Am J Respir Crit Care Med* 182, 307–316. <https://doi.org/10.1164/rccm.200908-1201OC>
- Urman, R., McConnell, R., Islam, T., Avol, E.L., Lurmann, F.W., Vora, H., Linn, W.S., Rappaport, E.B., Gilliland, F.D., Gauderman, W.J., 2014. Associations of children’s lung function with

- ambient air pollution: joint effects of regional and near-roadway pollutants. *Thorax* 69, 540–547. <https://doi.org/10.1136/thoraxjnl-2012-203159>
- US EPA, 2019. Integrated Science Assessment (ISA) for Particulate Matter (Final Report, Dec 2019) (No. EPA/600/R-19/188). Washington, DC.
- US EPA, 2016. Air Emissions from MSW Combustion Facilities | Energy Recovery from Waste | Municipal Solid Waste | US EPA [WWW Document]. URL <https://archive.epa.gov/epawaste/nonhaz/municipal/web/html/airem.html> (accessed 7.5.22).
- Vohra, K., Vodonos, A., Schwartz, J., Marais, E.A., Sulprizio, M.P., Mickley, L.J., 2021. Global mortality from outdoor fine particle pollution generated by fossil fuel combustion: Results from GEOS-Chem. *Environ Res* 195, 110754. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.110754>
- Vrijheid, M., 2000. Health effects of residence near hazardous waste landfill sites: a review of epidemiologic literature. *Environ Health Perspect* 108 Suppl 1, 101–112. <https://doi.org/10.1289/ehp.00108s1101>
- Waidyatillake, N.T., Campbell, P.T., Vicendese, D., Dharmage, S.C., Curto, A., Stevenson, M., 2021. Particulate Matter and Premature Mortality: A Bayesian Meta-Analysis. *Int J Environ Res Public Health* 18, 7655. <https://doi.org/10.3390/ijerph18147655>
- Wasserstein, R.L., Schirm, A.L., Lazar, N.A., 2019. Moving to a World Beyond “ $p < 0.05$.” *The American Statistician* 73, 1–19. <https://doi.org/10.1080/00031305.2019.1583913>
- Wei, W., Wu, B.-J., Wu, Y., Tong, Z.-T., Zhong, F., Hu, C.-Y., 2021. Association between long-term ambient air pollution exposure and the risk of breast cancer: a systematic review and meta-analysis. *Environ Sci Pollut Res Int* 28, 63278–63296. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14903-5>
- WHO, 2021. WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. World Health Organization.
- WHO, 2018. Burden of disease from ambient air pollution for 2016.
- WHO, 2015. Human biomonitoring: facts and figures. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe 104.
- WHO, 2006. Air Quality Guidelines: Global Update 2005. Particulate Matter, Ozone, Nitrogen Dioxide, and Sulfur Dioxide. World Health Organization.
- World Energy Council, 2016. World Energy Resources | 2016. London, United Kingdom.
- Zemba, S., Ames, M., Green, L., Botelho, M.J., Gossman, D., Linkov, I., Palma-Oliveira, J., 2011. Emissions of metals and polychlorinated dibenzo(p)dioxins and furans (PCDD/Fs) from Portland cement manufacturing plants: Inter-kiln variability and dependence on fuel-types. *Science of The Total Environment* 409, 4198–4205. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.06.047>
- Zou, L., Ni, Y., Gao, Y., Tang, F., Jin, J., Chen, J., 2018. Spatial variation of PCDD/F and PCB emissions and their composition profiles in stack flue gas from the typical cement plants in China. *Chemosphere* 195, 491–497. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.12.114>
- Zou, L., Zong, Q., Fu, W., Zhang, Z., Xu, H., Yan, S., Mao, J., Zhang, Y., Cao, S., Lv, C., 2021. Long-Term Exposure to Ambient Air Pollution and Myocardial Infarction: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Front Med (Lausanne)* 8, 616355. <https://doi.org/10.3389/fmed.2021.616355>



Comune di Venafro



SEZIONE 2 – La componente ambientale **dello studio EPIVenafro+7**

Studio EPIVenafro+7

**Realizzazione di uno studio di coorte residenziale
basato sulla ricostruzione del profilo di mortalità e morbosità
in associazione con rischi ambientali**

Relazione finale

A cura di:

Mangia Cristina e Cervino Marco

Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima – Consiglio Nazionale delle Ricerche di Lecce

1. Introduzione

Negli studi di coorte un elemento fondamentale è la ricostruzione dell'esposizione ambientale dei soggetti presi in considerazione nel periodo di studio in esame rispetto a determinati rischi.

Nell'ambito del protocollo di studio del progetto EPIVenafro+7 i rischi sono stati individuati rispetto alle emissioni in atmosfera relativi principalmente a due impianti:

- 1) il termovalorizzatore situato nel comune di Pozzilli, classificato sia come Impianto Alimentato da Fonti Rinnovabili (IAFR) sia come impianto di co-incenerimento, attivo dal 2005. L'impianto ha ottenuto l'Autorizzazione Integrata Ambientale rilasciata dalla Regione Molise con D.D. n. 15 del 14/07/2015;
- 2) il Cementificio Colacem S.p.a. localizzato nel comune di Sesto Campano con attività sia di produzione di materiale edile sia di co-incenerimento, attivo dal 2000. L'impianto ha ottenuto l'Autorizzazione Integrata Ambientale con D. D. n. 16 del 21.07.2015 rilasciata dalla Regione Molise.

Obiettivo dell'attività ambientale è stato pertanto quello di ricostruire la distribuzione delle ricadute al suolo degli inquinanti emessi dai due impianti localizzati in Val Venafro per una valutazione dell'esposizione della popolazione residente nella zona.

1.1 L'esposizione alle ricadute industriali e l'individuazione di una sostanza come impronta (“proxy”)

Come dettagliato nella sezione “La componente ambientale dello studio EPIVenafro+7”, le combustioni che generano fumi caldi in uscita agli impianti in esame producono una articolata miscela di sostanze gassose e particellate (polveri). Pur differenti per composizione e fattore di rischio per la salute, hanno in comune il fatto di essere state convogliate negli stessi camini, di comporre pennacchi soggetti a simili dispersioni, e dunque essere fortemente correlate nella generazione di aree geografiche (spaziali) con differente pressione di esposizione all'inquinamento.

Nel presente studio di coorte si è scelto di rappresentare l'esposizione alle emissioni degli impianti industriali utilizzando una sola tipologia di sostanza, gli NO_x, come misura indiretta (*proxy*) della distribuzione spaziale media annua del complesso di sostanze emesse nei fumi degli impianti, per le seguenti motivazioni: gli NO_x sono un'impronta significativa, in termini di emissioni orarie, degli impianti in esame, e dunque forniscono una variabilità spaziale nella mappa di concentrazione media annua sufficiente per una efficace classificazione fra meno e più esposti (Minichilli et al. 2018, Mangia et al. 2019; Ferroni et al. 2021); la misura al camino di altre sostanze come polveri e SO₂ ha presentato problemi di valori di emissioni validi e utili nell'anno di riferimento.

I valori di concentrazione risultanti dalla modellistica vanno prevalentemente se non unicamente interpretati come differenze, nell'area, della pressione ambientale generata dalla complessa composizione dei fumi, con l'individuazione di zone che differiscono tra loro per almeno un ordine di grandezza del valore proxy.

Limitarsi al confronto fra i valori risultanti con i limiti di legge per l'NO₂ può essere fuorviante rispetto agli scopi dell'indagine.

1.2 Le fasi dello studio

La prima fase dello studio è stata focalizzata alla caratterizzazione della meteorologia dell'area e all'analisi degli scenari emissivi nel tempo dei due impianti attraverso i dati di emissioni ai camini trasmessi da Arpa Molise e l'analisi dei documenti autorizzativi. I dati di emissioni ricevuti riguardano gli anni 2010-2020 per il termovalorizzatore e il periodo 2016-2020 per il cementificio.

Successivamente, su sollecitazione dell'Associazione "Mamme per la Salute e l'Ambiente Onlus" di Venafro è stato preso in considerazione anche il termovalorizzatore di San Vittore situato in Lazio, ma a ridosso della valle in esame; è stato deciso di effettuare una valutazione di eventuali ricadute delle emissioni in atmosfera nella zona di interesse.

La seconda fase è stata incentrata sulla valutazione della dispersione dei tre impianti attraverso la messa a punto di un sistema modellistico avanzato in grado di riprodurre la complessità meteorologica della valle in cui si sovrappongono circolazioni a larga scala e a scala locale legate all'orografia del territorio.

Per la realizzazione delle simulazioni modellistiche è stata fatta la scelta di considerare un periodo temporale pari ad un intero anno meteorologico. L'esecuzione di simulazioni relative ad un periodo di un anno completo consente di raccogliere una statistica significativa e rappresentativa di tutti i cicli stagionali per la determinazione delle aree di impatto, che possono rappresentare condizioni realistiche con maggiore probabilità.

La scelta dell'anno è stata effettuata sulla base di due criteri:

- a) disponibilità dati di emissioni orari dai due impianti Herambiente e Colacem che come detto è limitata agli anni **2016-2020** considerando la sovrapposizione dei due periodi forniti. La scelta di questo criterio, rispetto all'assumere emissioni autorizzate disponibili per gli anni precedenti, è legata alla volontà di riprodurre in modo più realistico la dispersione oraria delle sostanze emesse dai camini;
 - b) assenza o ridotte anomalie meteorologiche significative dell'anno, segnalate anche a livello nazionale, dovendo quest'ultimo rappresentare un anno meteorologico tipo per un periodo più lungo.
- La scelta è, pertanto, ricaduta sull'anno 2016.

2. Descrizione dell'area

Il territorio della valle di Venafro ricade nella provincia di Isernia, di cui occupa gli estremi sudoccidentali, si estende come pianura di forma ellittica con l'asse maggiore disposto lungo la direzione nordest-sudovest ad una quota media di circa 200m. A nord e ad ovest è circondata dagli ultimi rilievi della catena montuosa delle Mainarde; a sud e ad est dalle le cime di Ciorlano e Capriati a Volturmo, appartenenti ai Monti del Matese.

In Figura 1 sono visibili l'area di studio con l'ubicazione dei 3 impianti industriali e l'area del comune di Venafro in cui sono ubicate 2 centraline di qualità dell'aria (marcate con le sigle VE1 e VE2) gestite da Arpa Molise, le cui caratteristiche sono riportate in Tabella 1. I dati meteo e di qualità dell'aria nel periodo 2006-2019 sono stati forniti dall'Ing. Pierno di Arpa Molise.

Figura 1. Area di studio Val Venafro e zoom sul comune di Venafro con ubicazione delle 2 centraline.

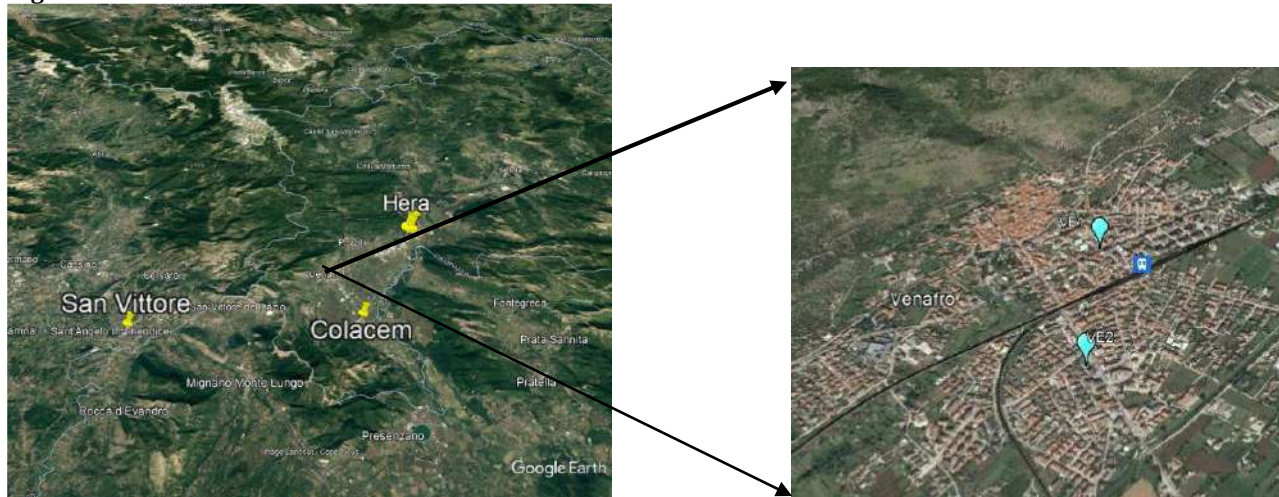


Tabella 1. Stazioni di monitoraggio qualità dell'aria di Arpa Molise.

Centralina	Lat, Long, quota anemometro(m)	tipologia	Inquinanti misurati	Parametri meteorologici	Periodo
Venafro1– VE1	41°29'03; 14°02'50; 10m	Traffico- urbana	NO _x , SO ₂ , CO, BTX, PM ₁₀	Temp, UR%, Pres, wd, ws, prec.	2006-2019
Venafro2– VE2	41°28'44", 14°02'00", 10m	Traffico- urbana	NO _x , O ₃ , BTX, PM ₁₀ PM _{2.5} , As, Cd, Ni, Pb, B(a)P	Temp, UR%, Pres, wd, ws, prec.	2006-2019

Note – Lat: Latitudine; Long: Longitudine; NO_x: ossidi di azoto; SO₂: biossido di zolfo; BTX: benzene, xilene e toluene; Temp: Temperatura; UR%: Umidità Relativa in percentuale; Pres: Pressione; wd: direzione del vento (wind direction); ws: velocità del vento (wind speed); prec: precipitazioni.

Per la sua posizione geografica, la valle è esposta a complesse circolazioni atmosferiche che sommano effetti di circolazioni a mesoscala (cioè in una scala spaziale compresa tra una decina e poche centinaia di chilometri) ad effetti locali causati da disomogeneità dalla superficie terrestre, rilievi

orografici, variazioni di rugosità, etc. Al fine di una caratterizzazione anemologica utile ai fini della valutazione della dispersione degli inquinanti sono state analizzate alcune serie di dati meteorologici registrati nella zona. In particolare sono stati analizzati i dati delle due stazioni di qualità dell'aria nel periodo 2006-2015 per VE2 e per il 2006-2019 per VE1 e i dati delle stazioni meteorologiche presso i 2 impianti industriali Herambiente e Colacem le cui caratteristiche sono indicate in Tabella 2. I dati delle aziende riferiti si riferiscono rispettivamente al periodo 2018 e 2019 per il cementificio e al periodo 2016-2020 per Herambiente. I dati sono stati trasmessi dall'Ing. Pierno di Arpa Molise

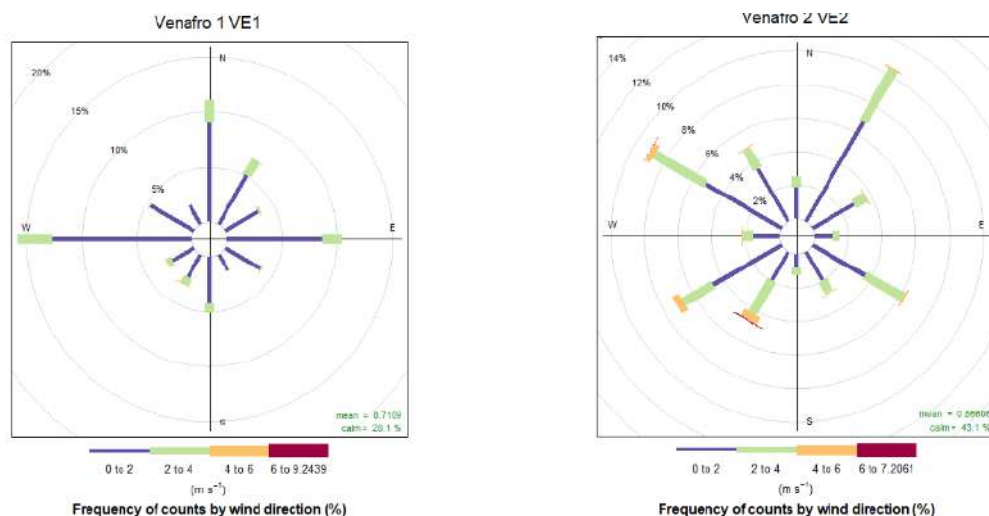
Tabella 2. Stazioni meteorologiche presso le aziende.

Stazione	Lat, Long, quota anemometro	Parametri meteorologici	Periodo
Herambiente	41°28'44", 14°02'00", 20m ,40m	Ws40, ws 20, wdir 40, wdir 20, Temp UR%, irrag., pres,	2016-2020
Colacem	41°26'39.19, 14°3'55.83", 40m	Ws, wd, Temp, UR%, Pres, prec, rad sol.	2018-2019

Note - Note – Lat: Latitudine; Long: Longitudine; Temp: Temperatura; UR%: Umidità Relativa in percentuale; Pres: Pressione; wd: direzione del vento (wind direction); ws: velocità del vento (wind speed); prec: precipitazioni; irrag: irraggiamento; rad sol: radiazione solare.

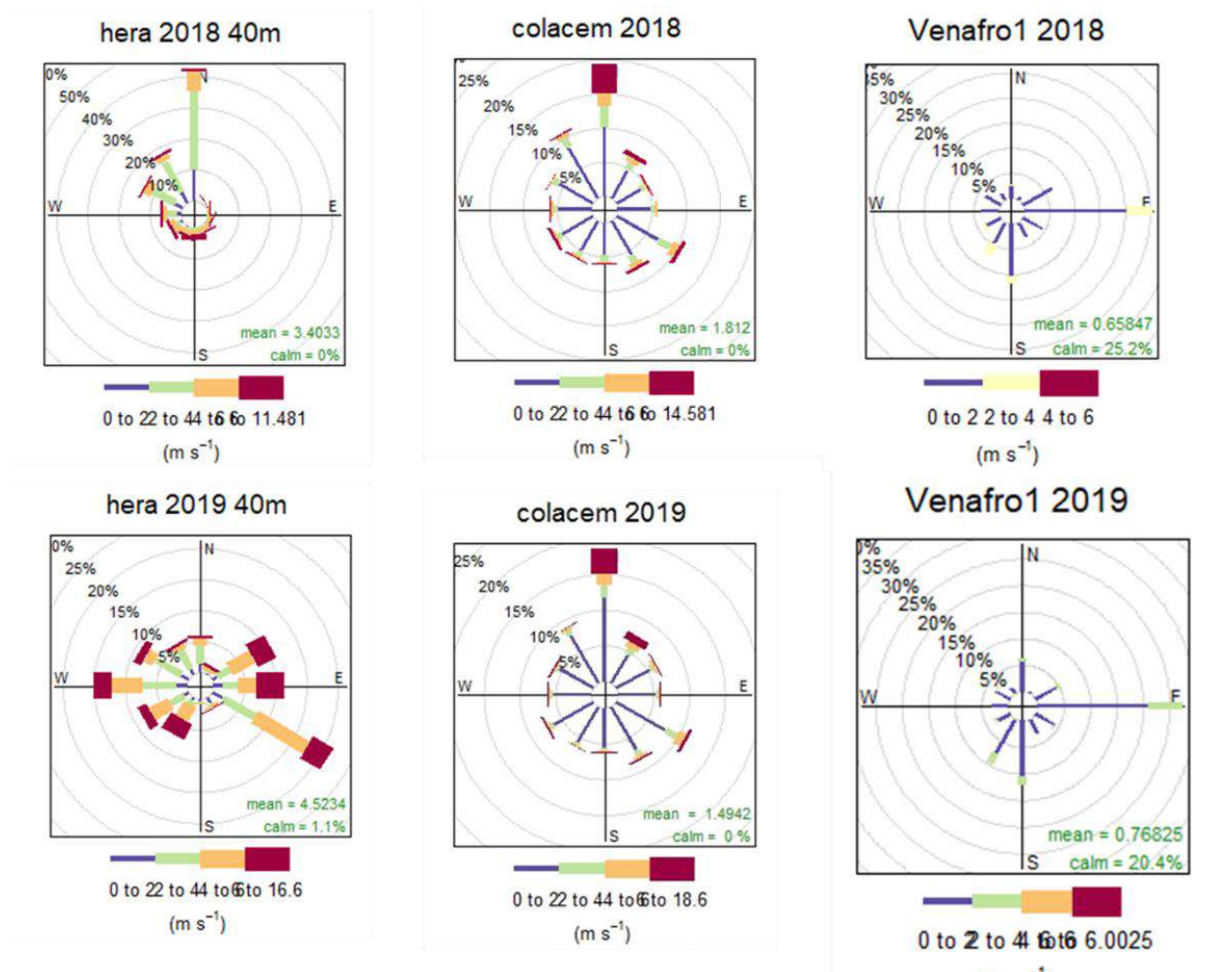
La Figura 2 mostra le rose dei venti registrate nelle due stazioni di monitoraggio VE1 e VE2. L'elevata percentuale di calme e le differenze che si osservano tra i due siti sono legate alla posizione delle stazioni nel tessuto urbano e alla presenza di eventuali ostacoli di schermatura; ciò conduce a concludere che questi dati di vento non sono utilizzabili per una caratterizzazione anemologica dell'area.

Figura 2. Confronto rose dei venti nelle stazioni VE1-VE2 del comune di Venafro.



Nella Figura 3 è invece mostrato il confronto invece tra le rose dei venti misurate relative al sito VE1 ad una quota di 10 m, e ai siti di Herambiente e Colacem a quota 40 m, per gli anni 2018 e 2019.

Figura 3. Confronto rose dei venti Herambiente- Colacem- Venafro1.



È evidente come le stazioni del comune di Venafro risentano fortemente della loro posizione in tessuto urbano, con possibili schermature che ne pregiudicano il risultato in caso di vento proveniente da determinate direzioni. Le differenze tra le due stazioni negli impianti, invece, necessitano ulteriori verifiche sul posizionamento dell'anemometro. Il confronto tra le varie rose dei venti presenti anche nell'Appendice A.1 "Meteorologia" mette in evidenza alcune discordanze negli anni e tra i diversi siti, rendendo di fatto difficile una caratterizzazione meteorologica dell'area sulla base dei dati disponibili, suggerendo la necessità di una stazione meteorologica in posizione aperta, con possibilmente la disposizione di anemometri a diverse quote.

Per quanto riguarda i dati di qualità dell'aria registrati nelle due centraline (Appendice A.2) emergono alcune criticità nelle concentrazioni di PM_{10} in entrambe le centraline. Sebbene tale analisi esuli dagli scopi di quest'attività si è ritenuto utile presentarla ai fini di una caratterizzazione del territorio.

3. Emissioni impianti

Per ciascuno dei tre impianti in esame, la cementeria Colacem, il termovalorizzatore Herambiente , e il termovalorizzatore di San Vittore, sono stati ricercati descrizioni funzionali all'identificazione delle emissioni in atmosfera. Sono stati ricostruiti i profili temporali del funzionamento e delle relative emissioni potenziali e autorizzate. La base informativa da cui sono tratte le informazioni è specificata nella sezione “riferimenti e documentazione”.

La descrizione degli impianti, la ricostruzione del funzionamento nel tempo e delle autorizzazioni alle emissioni ricevute, sono riepilogate nell'appendice A.3. Di seguito, viene descritta la qualità dei dati ricevuti per ottenere i flussi orari di sostanze al camino utilizzati per il modello di dispersione.

3.1 Cementeria Colacem

La Cementeria Colacem S.p.A. è situata nel comune di Sesto Campano (IS), in località Carrera del Conte, SS.85 km 15.700 e produce cementi, calci idriche, super plast e predosati utilizzati per la fabbricazione di calcestruzzo (SIGAS, 2015).

Nel 2000 l'attuale proprietà acquisisce gli impianti incorporando la precedente proprietà (NIM s.r.l) (SIGAS, 2015). Le Autorizzazioni Integrate Ambientali da allora concesse datano 2015 (AIA-COL 2015, relazione istruttoria), aggiornata nel 2016 (uso materiale da scavo) e nel 2017 (modifica scarichi idrici).

Le emissioni più rilevanti derivate dalla attività della cementeria originano da due tipologie principali: quelle derivate alle lavorazioni “a caldo”, tipicamente convogliate a camini, e quelle relative a miscele, macinazioni, movimentazioni ecc., che possono essere puntuali o diffuse, misurabili o fuggitive.

L'origine più rilevante delle emissioni della prima tipologia è la “cottura” del clinker (emissioni convogliate al camino E6), e sono sia pulverulente che gassose. Queste sono caratterizzate dai combustibili utilizzati e dalla tipologia e portata dell'impianto. Nel caso specifico, dal 2007, con determinazione provinciale, e successivamente con l'AIA emessa nel 2015, il forno è autorizzato a coccinare combustibile solido secondario con prescrizioni (si veda Appendice A.3).

Gli altri punti (camini) di emissione della cementeria riguardano soprattutto i processi a freddo prima richiamati, e un paio di processi a caldo di portata di gran lunga minore (essiccazione pozzolana – camino E24 - e insaccamento) con combustibile gas naturale.

Per quanto riguarda le emissioni non convogliate, l'AIA del 2015 prescriveva all'impresa di effettuare una “determinazione delle emissioni diffuse e fuggitive entro 12 mesi dal rilascio dell'AIA” indicando punto di monitoraggio, parametro/inquinante, unità di misura e metodiche analitiche. Di queste non abbiamo ricevuto esiti.

Alla luce di queste informazioni, le emissioni monitorate “in continuo” (medie semiorarie 24 ore al giorno, tutti i giorni) al camino E6 sono indicate per realizzare una mappa di concentrazione media valida per il disegno di studio coorte, rappresentativa della esposizione media ambientale all’impianto nel periodo dell’analisi dello studio.

Dati emissioni camino E6 (Fonte e formato dati: ARPA Molise, foglio elettronico)

Il contenuto del file trasmesso consta di 66.192 misure semiorarie al camino nel periodo di misura 8 gennaio 2016 – 26 ottobre 2020. Rispetto agli attesi 85.632 valori (48 misure per 1.784 giorni), mancano 19.440 valori pari a 405 giorni, durante i quali l’impianto è da considerarsi fermo.

I campi misurati sono i seguenti (Tabella 3):

Tabella 3. Cementeria Colacem - campi misurati.

POLVERI TOTALI
SO ₂
NO _x
COT
HCl
CO
NH ₃
Ossigeno
Pressione fumi
Temperatura Fumi
Temperatura Camera Combust. CSS (cod. rifiuto CER 191210)
Portata Volumetrica Fumi
Tenore Vapore Acqueo
Portata CSS
Portata Carbone Testata Forno
Portata Carbone Calcinatore

Legenda – SO₂: biossido di zolfo; NO_x: ossidi di azoto; COT: Carbonio Organico Totale; HCl: acido cloridrico; CO: monossido di carbonio; NH₃: ammoniaca; CSS: Combustibile Solido Secondario.

Come detto, l’anno individuato per la valutazione dell’esposizione è il 2016. Pertanto sono state elaborate le misure relative a tale anno (maggiori dettagli su qualità dati e calcoli in Appendice A.3). Si rileva che mancano dati per 37 giorni, i primi 7 dell’anno e dal 2 al 31 agosto: l’impianto è da considerarsi fermo. In Tabella 4 si riporta, per ogni sostanza misurata, la percentuale di dati validi e la percentuale di misure pari a 0 mg/Nm³.

Tabella 4. Cementificio. Analisi dati validi. Anno 2016.

	POLVERI TOTALI	SO ₂	NO _x	COT	HCl	CO	NH ₃
% validi	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%
% misure=0 su dati validi	0%	99%	0%	0%	57%	0%	2%

Legenda - SO₂: biossido di zolfo; NO_x: ossidi di azoto; COT: Carbonio Organico Totale; HCl: acido cloridrico; CO: monossido di carbonio; NH₃: ammoniaca.

Si rilevano molti valori pari a 0 per SO₂ e HCl, che lasciano pensare a problemi di taratura del sistema. In Appendice A.3 si riportano le elaborazioni per la preparazione di dati di ingresso per la modellistica meteo-diffusiva, che per ogni ora dell'anno fornisca un valore di flusso (g/s) delle sostanze, temperatura e velocità in uscita dei fumi.

In Tabella 5, si riportano i valori medi, valore minimo e valore massimo, per il 2016, dei flussi in uscita dal camino delle sostanze misurate (g/s), della temperatura (°K) e della velocità (m/s) dei fumi. Per le sostanze misurate, si è calcolata l'emissione in tonnellate avvenuta per tutto il 2016.

Per tre delle sostanze è stato possibile il raffronto con quanto riportato dal E- PRTR (European Pollutant Release and Transfer Register); le differenze sono contenute entro il 2-4%.

Tabella 5 Cementeria: valori medi e cumulati sul 2016.

	POLVERI TOTALI g/s	SO ₂ g/s	NO _x g/s	COT g/s	HCl g/s	CO g/s	NH ₃ g/s	Temp. Fumi °K	Velocità fumi m/s
media valori validi	0,086	0,56	25	1,5	0,03	20	1,2	391	9
minimo	0,01	0,0006	0,5	0,6	<10e-5	8	0,00004	368	7
massimo	1,6	2,9	57	5,1	0,43	165	7,2	411	14
cum anno (t)	2,1	0,19	626	38	0,36	504	30	n,a	n,a
cum anno E-PRTR (t)			649			515	31		

Legenda – SO₂: biossido di zolfo; NO_x: ossidi di azoto; COT: Carbonio Organico Totale; HCl: acido cloridrico; CO: monossido di carbonio; NH₃: ammoniaca.

Infine ci sono state fornite (da ARPA Molise) le caratteristiche geometriche e altimetriche del camino, utili per la modellazione dispersiva, e valori rappresentativi di temperatura e velocità fumi conformi a quanto da noi rilevato nei, ed elaborato dai dati (Tabella 6).

Tabella 6. Emissioni in atmosfera di ogni singolo camino.

	E06 (A''1)
Impianto di provenienza emissioni in atmosfera	Linea di cottura clinker
Altezza dal suolo della sezione di uscita del camino (m)	106
Area della sezione di uscita del camino (m ²)	19,63
Velocità dell'effluente (m/s)	10+16 circa
Portata aeriforme (Nm ³ /h)	750.000
Temperatura aeriforme (°C)	110+150 circa

3.2 Termovalorizzatore Herambiente (ex-Energonut, ora Herambiente)

L'Impianto di coincenerimento Herambiente, prima di proprietà Energonut s.p.a., si trova all'interno del nucleo industriale Isernia-Venafro nel Comune di Pozzilli (IS), località "Cerqueto", ad Ovest della Strada Statale 85 Venafrana (SIGAS, 2015).

Nel 2010 l'impianto (ancora Energonut) viene descritto all'interno del piano di monitoraggio ambientale realizzato da enti locali, ARPA e azienda ai sensi dell'Autorizzazione ordinaria definitiva per la gestione dell'Impianto di coincenerimento (2009). Lo schema dell'impianto è quello classico di un coinceneritore per la produzione di energia elettrica.

Nel 2013 Herambiente acquisisce l'impianto. Dal **sito**¹ dell'azienda si legge:

La centrale termoelettrica di Pozzilli, è classificata come Impianto Alimentato da Fonti Rinnovabili (IAFR) secondo le definizioni del Decreto Legislativo 16 Marzo 1999 n. 79 e del Decreto Legislativo 29 Dicembre n. 387, nonché come impianto di coincenerimento ai sensi del Decreto Legislativo 11 Maggio 2005, n. 133, quest'ultimo in attuazione della Direttiva Europea 2000/76/CE, in quanto specificamente dedicato alla produzione di energia elettrica.

La capacità massima autorizzata è di 93.500 t/anno di rifiuti in ingresso.

Con il subentro di Herambiente, ha inizio l'iter per la concessione dell'AIA, che si conclude positivamente: la Regione Molise (Determinazione Dirigenziale n. 15 del 14 luglio 2015) rilascia l'Autorizzazione Integrata Ambientale (AIA) che sostituisce le precedenti Determine del 2009, e l'autorizzazione, ancora precedente, alle emissioni in atmosfera – Autorizzazione ministeriale ex art. 17 del D.P.R. 203/88 rilasciata in data 22/12/1993.

Maggiori informazioni sull'impianto e sulla cronologia di funzionamento e autorizzazioni si trovano in Appendice A.3.

Alla luce delle informazioni desunte dall'AIA (si veda Appendice A.3) e dai dati ricevuti da ARPA Molise, si ritiene che le emissioni del camino contrassegnato dalla sigla E1 possano rappresentare la prevalente impronta delle ricadute nell'area presa in esame dallo studio epidemiologico.

Dati emissioni camino E1

Abbiamo ricevuto più archivi dati in formato elettronico da ARPA Molise, relativi alle emissioni semiorarie registrate al camino E1, che coprono il periodo 2010-2020. In Tabella 7 i parametri misurati.

¹ ha.gruppohera.it/impianti/termovalorizzatori/pozzilli ultimo accesso 16/10/2020

Tabella 7. Termovalorizzatore Herambiente. Parametri misurati.

Parametri misurati		
CO	SO ₂	O ₂
Polveri	NO _x	Portata fumi
COT	CO ₂	Pressione fumi
HCl	NH ₃	Temperatura fumi
Hg	H ₂ O	T2S

Legenda – CO: monossido di carbonio; SO₂: biossido di zolfo; O₂: ossigeno; NO_x: ossidi di azoto; COT: Carbonio Organico Totale; CO₂: anidride carbonica; HCl: acido cloridrico; NH₃: ammoniaca; Hg: mercurio; H₂O: acqua; T2S: temp. Forno.

L'anno rilevante per la valutazione dell'esposizione è il 2016. Pertanto sono state elaborate le misure relative a tale anno (maggiori dettagli su qualità dati e calcoli, in Appendice A.3).

In tale anno, non risultano misure di mercurio, cominciate nel marzo 2017.

Non risultano dati semi-orari mancanti; i dati non validi sono relativi agli stati impianto “fermo” e “non a regime”. In tabella 8 sono riportate le informazioni relative ai dati validi

Tabella 8. Herambiente analisi dati validi; anno 2016.

	CO	Polveri	COT	HCl	SO ₂	NO _x	CO ₂	NH ₃
% dati validi	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%
% misure = 0 su dati validi	57%	75%	31%	0%	16%	0%	0%	14%

Legenda – CO: monossido di carbonio; SO₂: biossido di zolfo; NO_x: ossidi di azoto; COT: Carbonio Organico Totale; CO₂: anidride carbonica; HCl: acido cloridrico; NH₃: ammoniaca.

Si rilevano molti valori pari a 0 per Polveri (il 75%) e CO (57%), ed un numero notevole per COT, SO₂ e NH₃, che richiederebbe una risposta sulle motivazioni.

In Appendice A.3 si riportano le elaborazioni per la preparazione di dati di ingresso per la modellistica meteo-diffusiva, che per ogni ora dell'anno fornisca un valore di flusso (g/s) delle sostanze, temperatura e velocità in uscita dei fumi. In Tabella 9, si riportano i valori medi, valore minimo e valore massimo per il 2016, dei flussi in uscita dal camino delle sostanze misurate (g/s), della temperatura (°K) e della velocità (m/s) dei fumi. Per le sostanze misurate, si è calcolata l'emissione in tonnellate avvenuta per tutto il 2016. Per gli ossidi di azoto il raffronto, con ottima coincidenza, con quanto riportato dal E- PRTR (European Pollutant Release and Transfer Register).

Tabella 9. HERAMBIENTE valori medi e cumulati sul 2016.

	CO	Polveri	COT	HCl	SO ₂	NO _x	NH ₃	Temp fumi	vel fumi
	g/s	g/s	g/s	g/s	g/s	g/s	g/s	°K	m/s
media valori validi	0,15	0,005	0,009	0,11	0,10	3,9	0,24	427	19
minimo	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	2,2	0,08	401	14
massimo	1,6	0,07	0,11	0,61	0,33	8,0	0,27	441	31
cum anno t (2016)	2,4	0,037	0,19	3,1	2,5	112	6,8	n.a.	n.a.
cum anno E-PRTR (t)						112			

Legenda – CO: monossido di carbonio; SO₂: biossido di zolfo; NO_x: ossidi di azoto; COT: Carbonio Organico Totale; CO₂: anidride carbonica; HCl: acido cloridrico; NH₃: ammoniaca.

Infine ci sono state fornite (da ARPA Molise) le caratteristiche geometriche e altimetriche del camino, utili per la modellazione dispersiva, e valori rappresentativi di temperatura e velocità fumi conformi a quanto da noi rilevato nei, ed elaborato dai dati (Tabella 10).

Tabella 10. Emissioni in atmosfera di ogni singolo camino.

	E1
Altezza dal suolo della sezione di uscita del camino (m)	43
Area della sezione di uscita del camino (m ²)	2,01
Portata aeriforme (Nm ³ /h)	100.000
Temperatura aeriforme (°C)	130
Velocità dell'effluente (m/s)	23
Durata max emissione (h/d e giorni/anno)	24 365

3.3 Termovalorizzatore San Vittore

Data la differente finalità dell'utilizzo delle informazioni sull'emissione dell'impianto in questione, ovvero una valutazione di una eventuale ricaduta nella valle di emissioni provenienti da un impianto a maggiore distanza e separato dalla valle da rilievi collinari, si è ritenuto sufficiente utilizzare un singolo valore emissivo medio e deducibile dalle autorizzazioni in corso, come riportato e dettagliato in Appendice A.3.

L'impianto di termovalorizzazione e recupero energetico da CDR con ciclo a vapore per la produzione di energia elettrica realizzato è composto da tre linee di incenerimento denominate Linea 1, Linea 2 e Linea 3. Al 2016 erano attive le Linee 2 e 3.

Maggiori informazioni sull'impianto, sulla cronologia di funzionamento e sulle autorizzazioni si trovano in Appendice A3. In Figura 4 e 5 sono riportate le informazioni relative alle linee 2 e 3 derivate dallo studio "Adeguamento impiantistico e sistemazione ambientale del termovalorizzatore di San Vittore del Lazio con la realizzazione di una quarta linea" (ACEA2020).

Figura 4. Caratteristiche dei punti di emissione (ACEA 2020, pag.26)

Tabella 2.6 Caratteristiche punti di emissione L1, L2, L3 e L4 – Scenario 1 Configurazione di esercizio

	Dati emissivi					
	altezza	temperatura	portata	velocità	Tenore di O2	
	m	Kelvin	Nmc/h	mc/s	m/s	%
Linea I (L1)	50	404,55	87055,20	35,81	14,07	9,00
Linea II (L2)	50	405,45	114922,00	47,38	18,62	10,20
Linea III (L3)	50	404,25	110739,90	45,53	17,89	10,60
Linea IV (L4)	50	398,15	87000,00	35,23	8,48	8,00

Figura 5. Valori di emissione (ACEA 2020, pag.26)

Tabella 2.7 Valore di emissione – Scenario 1 Configurazione di esercizio

	Flussi di massa								
	Valori limiti di concentrazione	Linea L1		Linea L2		Linea L3		Linea L4	
		mg/Nmc	kg/h	g/s	kg/h	g/s	kg/h	g/s	kg/h
Polvere totale (PTS)	3	0,313	0,0871	0,372	0,1034	0,346	0,0960	0,339	0,0943
TOC	9	0,940	0,2612	1,117	0,3103	1,037	0,2879	1,018	0,2828
HCl	8	0,836	0,2321	0,993	0,2758	0,921	0,2559	0,905	0,2513
HF	1	0,104	0,0290	0,124	0,0345	0,115	0,0320	0,113	0,0314
SO ₂	40	4,179	1,1607	4,965	1,3791	4,607	1,2797	4,524	1,2567
NO _x	70	7,313	2,0313	8,688	2,4134	8,062	2,2394	7,917	2,1992
CO	40	4,179	1,1607	4,965	1,3791	4,607	1,2797	4,524	1,2567
NH ₃	10	1,045	0,2902	1,241	0,3448	1,152	0,3199	1,131	0,3142
IPA	0,01	0,001	0,0003	0,001	0,0003	0,001	0,0003	0,001	0,0003
Hg	0,05	0,005	0,0015	0,006	0,0017	0,006	0,0016	0,010	0,0029
Cadmio (Cd)	0,05	0,005	0,0015	0,006	0,0017	0,006	0,0016	0,010	0,0029
	ug/Nmc	g/h	mg/s	g/h	mg/s	g/h	mg/s	g/h	mg/s
Diossine e furani	1.04E-05	2,90E-06	1,24E-05	3,45E-06	1,04E-05	1,15E-05	3,20E-06	2,06E-05	5,72E-06
PCB-DL	1.04E-05	2,90E-06	1,24E-05	3,45E-06	1,04E-05	1,15E-05	3,20E-06	1,13E-05	3,14E-06

4. Sistema modellistico e setup

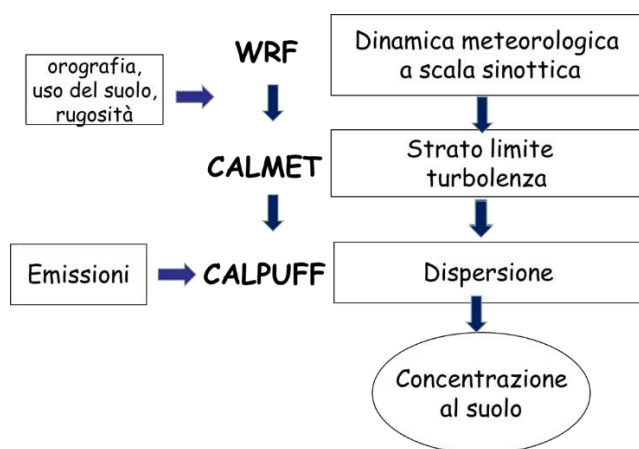
In presenza di circolazioni complesse, per poter prevedere l'impatto al suolo degli inquinanti è quindi necessario riprodurre dettagliatamente i campi meteorologici tridimensionali in cui vengono trasportati gli inquinanti atmosferici mediante l'integrazione di un modello meteorologico dinamico a larga scala ed un modello che riproduca le caratteristiche micrometeorologiche a guidare un modello di dispersione degli inquinanti.

I modelli di dispersione sono strumenti di calcolo che, attraverso equazioni e algoritmi, permettono di descrivere in modo semplificato i fenomeni assai complessi della dispersione degli inquinanti in atmosfera. A partire da dati di ingresso di tipo geografico, meteorologico ed emissivo, un modello di dispersione fornisce come risultato finale un campo di concentrazione, cioè una rappresentazione grafica della distribuzione nello spazio della concentrazione di un determinato inquinante. Per poter scegliere in modo corretto gli strumenti modellistici da utilizzare bisogna considerare una serie di fattori, caratteristici del problema che si vuole studiare, ad esempio: la scala spaziale e temporale del fenomeno da investigare, il dominio di studio, la tipologia di inquinanti coinvolti, la meteorologia dell'area in esame e le sorgenti emissive.

Considerata la complessità e disomogeneità del territorio è stato utilizzato il sistema WRF- (Weather Research and Forecasting Model) del National Center for Atmospheric Research stato dell'arte della modellistica atmosferica ², e i modelli CALMET CALPUFF³ sistema open source sviluppato dalla Earth Tech Inc. per conto del California Air Resources Board (CARB) e del U.S. Environmental Protection Agency (US EPA). Nello specifico è stata utilizzata la versione 7.

La Figura 6 mostra lo schema modellistico.

Figura 6. Schema sistema modellistico.



² <https://www.mmm.ucar.edu/weather-research-and-forecasting-model>

³ http://www.src.com/calpuff/download/download.htm#MOD7_VERSION

Riportiamo di seguito alcune considerazioni essenziali, rimandando alla bibliografia ulteriori approfondimenti. Il modello WRF è un modello meteorologico di tipo prognostico con il quale è possibile ricostruire e/o prevedere eventi meteorologici su scale che vanno da un emisfero sino allo Strato Limite Planetario. Il CALMET (CALifornian Meteorological model) è un pre-processore meteorologico che a partire dai campi meteorologici forniti da WRF ricostruisce in ogni punto del grigliato i campi di temperatura e velocità del vento tridimensionali, e i campi bidimensionali dei parametri micrometeorologici valutati scelto quali la lunghezza di Monin-Obukhov, l'altezza di rimescolamento e la velocità di attrito fondamentali per la dispersione degli inquinanti. Il modello CALPUFF (CALifornian PUFF model) è un modello di dispersione a puff lagrangiani multi-specie non stazionario, che consente di valutare il campo di concentrazione al suolo simulando l'impatto che condizioni meteorologiche variabili nel tempo hanno sul trasporto, la trasformazione e la rimozione degli inquinanti in atmosfera. Il modello è consigliato dall'Agenzia Americana EPA (Environmental Protection Agency) come modello preferito per la stima dell'impatto di sorgenti emissive sia nel caso del trasporto a medio e a lungo raggio (centinaia di Km), sia per applicazioni di ricadute nelle immediate vicinanze delle sorgenti (qualche Km) con condizioni meteorologiche complesse.

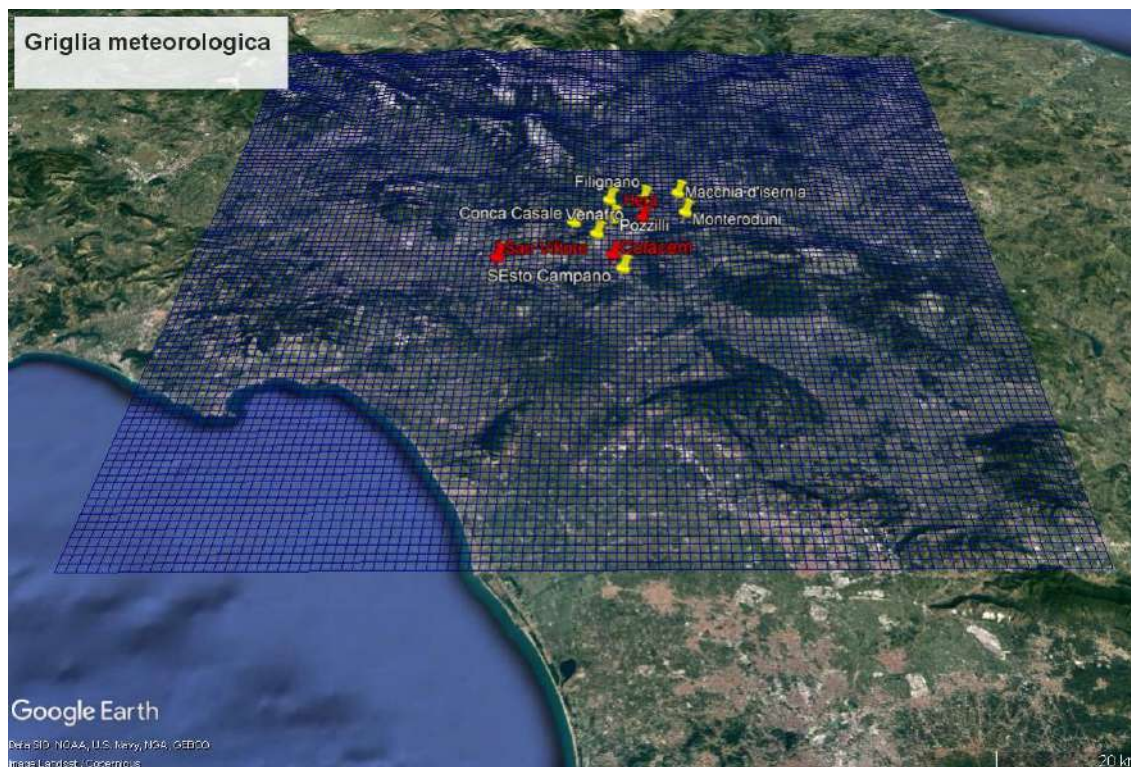
Le caratteristiche di maggior interesse di CALPUFF sono:

- la possibilità di utilizzare un campo tridimensionale di vento e temperatura ed un campo bidimensionale di parametri di turbolenza (altezza dello strato di rimescolamento, caratteristiche di stabilità atmosferica ...);
- la trattazione modellistica delle condizioni di calma di vento;
- la capacità di simulare condizioni di flussi non omogenei (orografia complessa, inversione termica, fumigazione, brezza, ...).

Con i modelli WRF e CALMET vengono ricostruite a scala oraria per un anno di simulazione tutte le caratteristiche meteorologiche in un dominio spaziale tridimensionale. Gli output meteorologici forniscono gli input al modello di dispersione per la stima delle concentrazioni al suolo legate alle emissioni in considerazione.

4.1 Simulazione campi meteorologici

I dati meteorologici WRF per la meteorologia a scala sinottica per l'anno 2016 sono stati forniti da Lakes Environment su un dominio centrato sul comune di Venafro di 100km x 100km sufficientemente ampio per riprodurre circolazione ad ampia scala, con un passo griglia di 1km di (Figura 7).

Figura 7. Griglia meteorologica dati WRF.

WRF utilizza dati forniti da una vasta rete globale di stazioni meteorologiche e dati satellitari che vengono rianalizzati e grigliati in un formato adatto all'input del modello meteorologico. Attraverso le equazioni della dinamica atmosferica e tenendo conto delle caratteristiche orografiche e del suolo il modello riproduce tutti i campi meteorologici sul grigliato di simulazione che vanno ad inizializzare il modello micrometeorologico CALMET. In Tabella 11 sono indicate le caratteristiche del grigliato di simulazione del modello CALMET.

Tabella 11. Caratteristiche dominio simulazioni CALMET.

	<i>Calmet</i>
Dominio orizzontale	60 km x 60 km
Risoluzione orizzontale (km)	0,5 km x 0,5km
Numero punti griglia, Nx, Ny	120, 120
Numero di livelli in verticale	10
Quota primo livello verticale	20 m
Quota superiore dominio verticale	4.000 m

Nei modello CALMET i file di uso del terreno e di uso del suolo provengono rispettivamente dai dataset SRTM1 (Global ~30m) CORINE CLC2006 – (Europe 100m).

4.2 Simulazioni di dispersione

Tra i diversi inquinanti emessi dagli impianti e descritti nel paragrafo 3 sono stati individuati gli **ossidi di azoto NO_x** tipicamente emessi durante i processi di combustione, come tracciante delle emissioni convogliate provenienti dai tre impianti. In Tabella 12, per il termovalorizzatore HERAmbiente e per il cementificio Colacem sono riprese le caratteristiche geometriche dei camini e i valori medi annui di emissioni (NO_x), temperatura e velocità dei fumi dei fumi emessi. Nei calcoli modellistici, si ricorda che sono stati utilizzati i dati orari di emissioni, temperatura e velocità dei fumi. Per il termovalorizzatore di San Vittore sono stati utilizzati i dati come presenti nei documenti autorizzativi (Figure 4 e 5).

Tabella 12. Caratteristiche impianti.

Impianto	Altezza camino	Velocità fumi	Temp. fumi	NO _x
Termovalorizzatore Herambiente	43 m	19 m/s	427 K	3,9 g/s
Cementificio Colacem	106 m	9 m/s	391 K	25 g/s

Note – Temp.: Temperatura; K: Kelvin; NO_x: ossidi di azoto.

5. Risultati

Le Figure 8a e 8b mostrano le mappe delle concentrazioni medie annue al suolo degli NO_x come ricostruite dal modello relativamente alle emissioni dei 3 impianti per l'anno 2016. La figura mostra come le diverse zone del territorio sono interessate da diversi livelli di concentrazione della sostanza tracciante espressi con diverse colorazioni.

Figura 8a. Mappe di concentrazione media annua degli ossidi di azoto (NO_x) con l'orografia ricostruita con il modello.

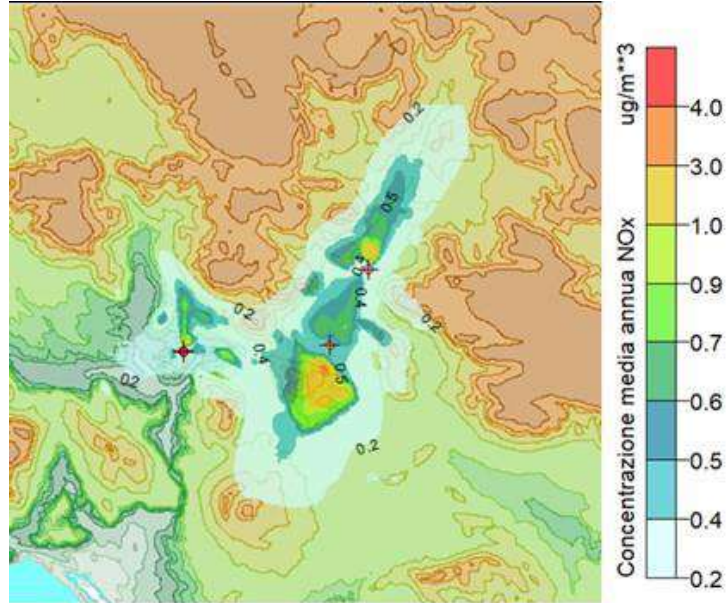
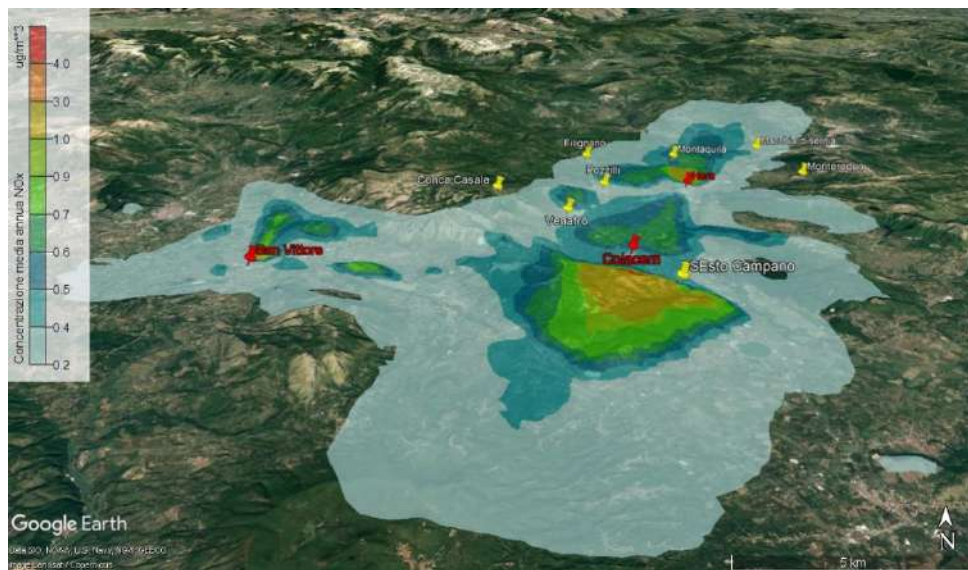


Figura 8b. Mappe di concentrazione media annua di ossidi di azoto (NO_x) riportata su Google Earth.



Dalle mappe è evidente come l'impronta complessiva dei tre impianti sia caratterizzata da una complessa variabilità spaziale principalmente dominata dalla presenza di valli e rilievi (orografia); si

tenga inoltre presente che i fumi vengono emessi da camini aventi altezze differenti, e vengono spinti verso quote superiori dipendenti dalla velocità con cui fuoriescono dai camini, dalla temperatura dei medesimi fumi, superiore a quella dell'ambiente, ed anche in funzione delle altre condizioni dell'atmosfera.

A causa delle disomogeneità orografiche e della complessità meteorologica le concentrazioni degli inquinanti si distribuiscono in media annua lungo l'asse della valle con le aree a maggiore impatto nei dintorni degli impianti e a ridosso dei rilievi orografici confinanti, dove i pennacchi impattano. Le concentrazioni medie massime, stimate dai 3 ai 4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, si riscontrano nell'area intorno a Sesto Campano in prossimità del cementificio e nell'area di Montaquila in prossimità del termovalorizzatore di Herambiente. In media annua le ricadute degli inquinanti emessi dal termovalorizzatore di San Vittore prevalentemente investono l'area intorno l'impianto e lambiscono debolmente la valle in studio (si vedano le mappe dei singoli impianti in Appendice A.4).

Se si osservano le stime effettuate in media oraria (si vedano le mappe in Appendice A.4), ovvero ad ogni ora di funzionamento degli impianti, si può rilevare che i pennacchi dei diversi impianti, seguendo la meteorologia ed in particolare direzione e intensità dei venti, possono investire aree più estese, con ricadute al suolo dell'ordine delle decine di microgrammi al metro cubo d'aria.

Non è possibile effettuare un confronto quantitativo tra le concentrazioni simulate e le misure di NO_x effettuate nelle due stazioni VE1 e VE2 perché le simulazioni non tengono conto dei contributi di tutte le altre sorgenti presenti nell'area e del background di concentrazione, contributi che invece sono presenti nei valori registrati dalle centraline di monitoraggio.

6. Considerazioni conclusive

Al fine di ricostruire la diffusione degli inquinanti atmosferici emessi dai tre impianti è stato messo a punto un sistema modellistico costituito da un modello meteorologico, un modello di strato limite e un modello di diffusione a *puff* lagrangiani. Le attività hanno previsto un'analisi delle emissioni dei tre impianti, una caratterizzazione meteorologica e di qualità dell'aria attraverso dati provenienti da reti di monitoraggio.

Le emissioni dei tre impianti possono essere di diverso tipo convogliate e superficiali, l'assenza di informazioni dettagliate sulle diverse tipologie di emissioni ha ristretto lo studio alle emissioni da camino. I dati orari delle emissioni dei camini relativi a Herambiente e Colacem sono stati trasmessi da Arpa Molise e si riferiscono agli anni 2010-2020 (Herambiente) e 2016-2020 (Colacem). Questo ha ristretto la possibilità di scelta dell'anno di simulazione all'anno 2016 in cui fossero disponibili entrambe le emissioni orarie. Il 2016 da un punto di vista meteorologico, si può considerare un anno tipo del periodo dello studio di coorte.

Un limite dello studio consiste nel non aver potuto utilizzare informazioni omogenee e complete (dati disponibili per tipo di inquinanti) su un più ampio orizzonte temporale delle emissioni degli impianti in modo da meglio comprendere e fare entrare nel protocollo di studio variazioni nel tempo delle emissioni.

Le mappe della concentrazione media annuale ottenute tramite simulazioni modellistiche mostrano come sebbene in particolari condizioni meteorologiche i pennacchi investano i diversi comuni della valle, le aree in media annuale a maggiore impatto sono nei dintorni degli impianti presso Sesto Campano e ed in particolare intorno ai rilievi.

In ultimo, i risultati presentati nelle mappe di concentrazione, per la loro complessa relazione con l'articolazione dei rilievi orografici, articolazione che determina differenti comportamenti del vento in punti differenti nell'area considerata, suggeriscono l'adozione di più stazioni meteorologiche nell'area.

7. Riferimenti e documentazione

- AIA-COL 2015: Impianto COLACEM. Relazione istruttoria. ARPA Molise, rev.0.0, giugno 2015; pagg.50.
- AIA-COL 2017: Impianto COLACEM. Relazione istruttoria per il riesame dell'Autorizzazione Integrata Ambientale. ARPA Molise, rev.1.2, ottobre 2017; pagg.43.
- AIA-HER 2013: Impianto HERAMBIENTE. Relazione istruttoria. Centrale elettrica cogenerativa WTE di Pozzilli (IS). ARPA Molise, rev.0.0, giugno 2015; pagg.34.
- AIA-VIT 2016: Impianto San Vittore. Allegato tecnico alla Determinazione Regione Lazio N. G00063 del 13/1/2016 avente Oggetto: A.R.I.A. (Acea Risorse e impianti per l'ambiente) S.r.l. - Rinnovo Autorizzazione Integrata Ambientale rilasciata con Decreto Commissariale n. 72 del 25 luglio 2007 e s.m.i. - Impianto di termovalorizzazione in località Valle Porchio della frazione di San Cesareo in comune di San Vittore del Lazio. Pagg.31.
- BUR Molise, n.15, 2009, BOLLETTINO UFFICIALE DELLA REGIONE Determinazione Dirigenziale n. 287 del 1° luglio 2009 — Società: "ENERGONUT - S.p.A." — Autorizzazione ordinaria definitiva per la gestione dell'impianto di coincenerimento, ubicato in Pozzilli (IS) al Nucleo Industriale "ISERNIA-VENAFRO".
- BUR Molise, n.30, 2009, BOLLETTINO UFFICIALE DELLA REGIONE Determinazione Dirigenziale n. 310/2009 – Società: "ENERGONUT - S.p.A." — Autorizzazione ordinaria definitiva per la gestione dell'impianto di coincenerimento, ubicato in Pozzilli (IS), NUCLEO INDUSTRIALE "Isernia - Venafro" — RETTIFICA determina dirigenziale n. 287 del 1° luglio 2009.
- BUR Molise, n.24, 2013, BOLLETTINO UFFICIALE DELLA REGIONE Decreto n. 5 del 14/03/2013 Piano regionale di monitoraggio per la ricerca di diossine, PCB diossina-simili e PCB non diossina-simili in alimenti di origine animale.
- Determinazione Provinciale (Isernia) n.171 del 27/12/2007. Impianto COLACEM. Proroga della Deroga limiti emissioni in atmosfera.
- Ferroni, E., Cestari, L., Cinquetti, S., Corti, M.C., Fedeli, U., Donato, F., 2021. [Residential cohort study to assess the impact of emissions released by a cement plant on the health status of the population residing in Pederobba (Veneto Region, Northern Italy)]. Epidemiol Prev 45, 82–91. <https://doi.org/10.19191/EP21.1-2.P082.042>
- Mangia C., A. Bisignano, M. Cervino, L. Mortarini, S. Trini Castelli. 2019. Modeling air quality impact of pollutants emitted by an oil/gas plant in complex terrain in view of a health impact assessment. Air Quality, Atmosphere & Health. <https://doi.org/10.1007/s11869-019-00675-y>

- Minichilli F., F. Bianchi, C. Ancona, M. Cervino, G. De Gennaro, C. Mangia, M. Santoro, E. Bustaffa, Gruppo di lavoro* 2018. Studio di coorte residenziale su mortalità e ricoveri nei Comuni di Viggiano e Grumento Nova nell'ambito della VIS in Val d'Agri (Basilicata). Epidemiol Prev 2018; 42 (1):20-33 doi: 10.19191/EP18.1.P020.012
- PMA-HER, 2010. Piano di monitoraggio ambientale ai sensi dell'Autorizzazione ordinaria definitiva per la gestione dell'Impianto di coincenerimento, della Società Energonut S.p.A. espressa con Determinazione Dirigenziale n. 287 del 1 luglio 2009, modificata dalla Determinazione Dirigenziale n. 310 del 31 luglio 2009. Giugno 2010
- SIGAS, 2015: Sportello Informativo per la Giustizia Ambientale e Sociale, report SIGAS su cinque casi studio di conflitto ambientale in Italia. Coordinamento a cura di Lucie Greyl e Salvatore Altiero. Pagg.125.

Appendice A.1

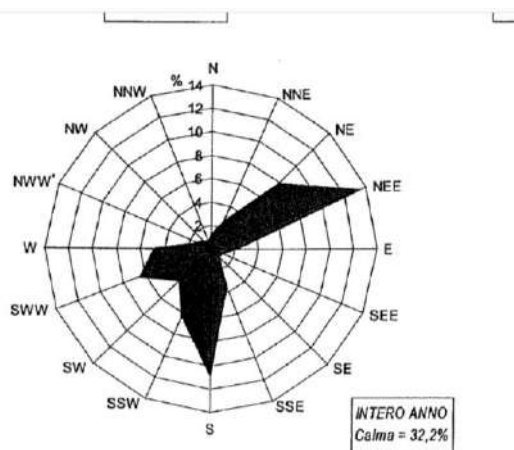
Meteorologia

La caratterizzazione dei regimi anemologici nella valle è risultata particolarmente critica sia per la complessità dell'area che per l'assenza di una serie di dati meteorologici in una zona aperta e libera da ostacoli. È stata, pertanto, effettuata una ricerca di dati e/o documenti contenenti dati di vento misurati in campagne specifiche o serie di dati di centraline non più esistenti, dai quali ricavare informazioni utili.

A1.1 dati e fonti

a) Nel documento “Centrale termoelettrica a ciclo combinato”⁴ del 2005 si fa riferimento ad una stazione della rete agrometeorologica Regionale di Venafro situata in località Strada Bonifica. In tale documento i dati meteo utilizzati si riferiscono agli anni 2001-2002 e mostrano una prevalenza di direzione dai settori NEE e S (Figura A1.1)

Figura A1.1 Rosa dei venti utilizzati per la stima delle ricadute di una turbogas a Venafro. Dati meteo 2001.



b) Nella VIA della Centrale Termoelettrica 810 MW di Presenzano (CE)⁵ sono riportati i dati meteorologici Stazione di Venafro (IS) appartenente alla Rete Agrometeorologica della Regione Molise⁶. I dati analizzati nel documento sono relativi agli anni 2005, 2006. In Figura A1.2 sono

⁴ Centrale termoelettrica a ciclo combinato” – Valutazione integrata delle ricadute al suolo degli inquinanti a cura di Molise Energy del marzo del 2005 e delle Note integrative di Aprile 2005

⁵ Quadro di Riferimento Ambientale dello Studio di Impatto Ambientale Cap.4 “Componente atmosfera”, Par.4.1 “Caratterizzazione meteo climatica

⁶ <https://www.arsarp.it/meteo/index.html>

riportate le rose dei venti relative a tali periodi. In questo caso si osserva una prevalenza di una componente NE.

A1.2 Rosa dei venti misurata a Venafro utilizzata per la stima delle ricadute della centrale di Presenzano a Venafro.

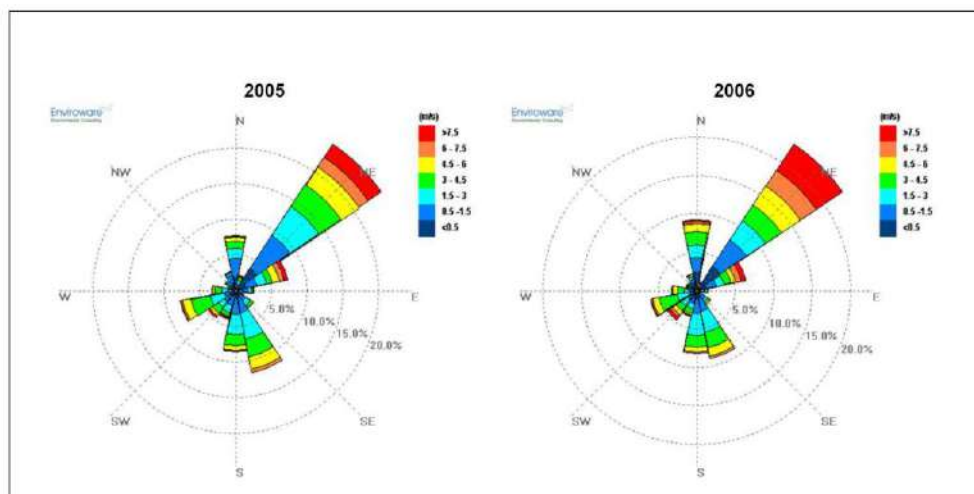


Fig.4.1.3.2 Rose dei Venti Stazione di Venafro, Anni 2005-2006 (fonte Edison)

- c) Nelle 2 campagne di misura della Qualità dell'Aria del territorio interessato dalle ricadute dell'impianto ENERGONUT S.p.A. sito in POZZILLI (IS) tramite il LABORATORIO MOBILE e campionatori diffusivi passivi 2011-2012⁷ sono state effettuate delle misure meteorologiche sintetizzate nelle figure A1.3 e A1.4 da dove si evince l'esistenza di una componente da Nord più accentuata rispetto agli altri siti di misura e agli altri anni.

⁷ Campagna di misura della Qualità dell'Aria del territorio interessato dalle ricadute dell'impianto ENERGONUT S.p.A. sito in POZZILLI (IS) tramite il LABORATORIO MOBILE e campionatori diffusivi passivi. A cura di Arpa Molise Maggio 2012.

A1.3 Rosa dei venti misurata a Pozzilli durante campagna con mezzo mobile.

5.4.4 Dati cumulativi delle Campagne AUTUNNO 2010, INVERNO 2011 ed ESTATE 2011

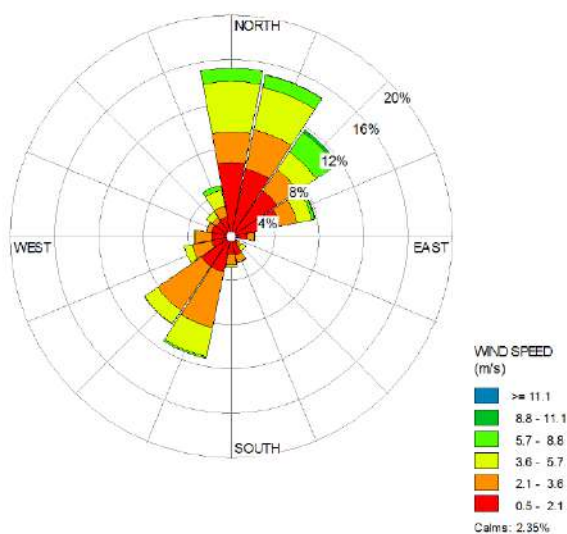
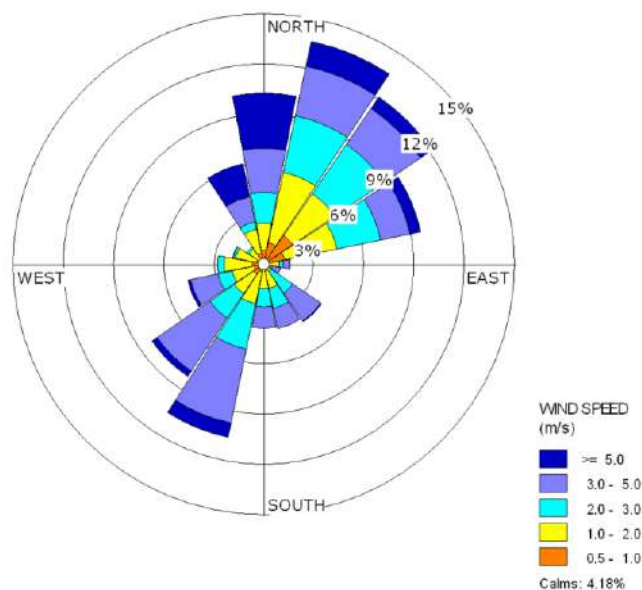


Figura 5.4.4.1: rosa dei venti (blowing from)

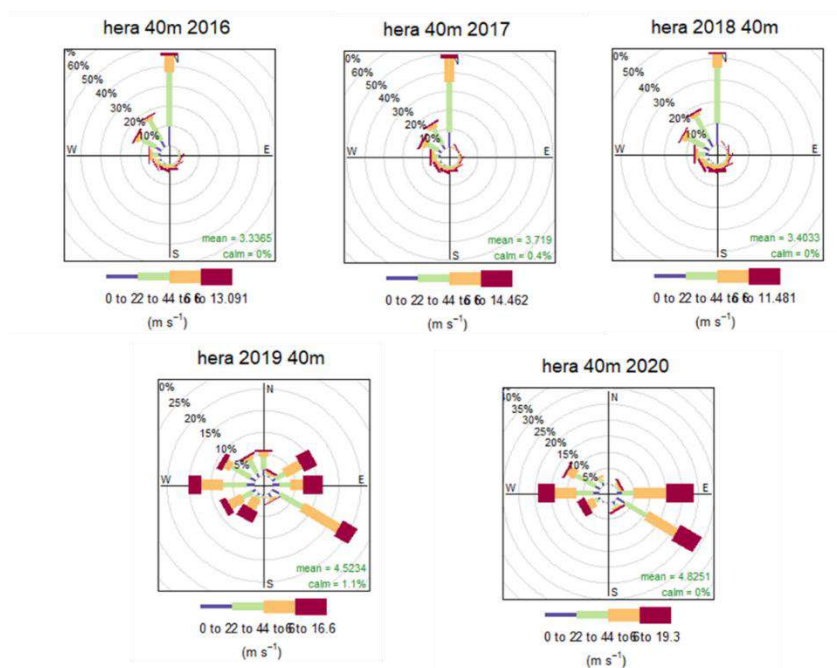
A1.3 Rosa dei venti misurata a Pozzilli durante campagna con mezzo mobile.

5.5.4 Dati cumulativi delle Campagne del 2° anno di monitoraggio



- d) Confronto tra le rose dei venti misurate presso impianto di Herambiente. Il confronto tra le rose dei venti alla quota di 40m presentano delle differenze negli anni che necessitano di ulteriori approfondimenti⁸.

⁸ I dati sono stati trasmessi dall'Ing Pierno di Arpa Molise



Appendice A.2

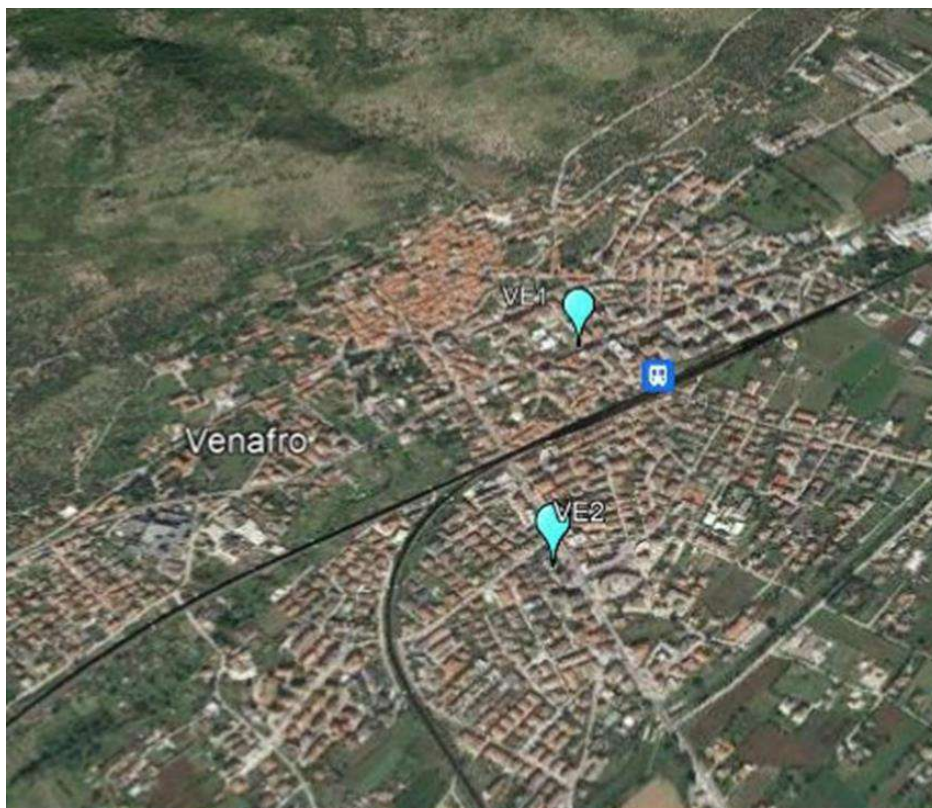
Qualità dell'aria a Venafro

Come sottolineato nel testo della relazione **le mappe di concentrazioni al suolo degli NO_x ottenute per lo studio di coorte non sono confrontabili con i dati di qualità dell'aria registrati dalle centraline** perché le mappe riproducono solo l'impronta dei 3 impianti industriali e non contengono alcuna informazione sulle altre sorgenti emissive. Inoltre, essendo le centraline ubicate nel tessuto urbano i dati registrati da queste ultime risentono fortemente dalle fonti tipiche di un centro urbano come ad esempio i trasporti ed il riscaldamento domestico.

Pertanto l'analisi dei dati presentata qui ha solo lo scopo di caratterizzare l'area in cui si è svolto lo studio anche in considerazione delle mappe di concentrazione utilizzate per la valutazione dell'esposizione al PM_{2,5}. Nel paragrafo A2.1 si riportano sinteticamente le evidenze riportate da Arpa Molise mentre nel paragrafo A2.2 si riporta una breve analisi tendente a valutare relazioni tra i diversi inquinanti al fine di poter individuare possibili fonti emissive.

Nell'area della val Venafro sono presenti solo 2 centraline ubicate nel comune di Venafro e classificate come di traffico urbano (Figure A2.1).

Figura A.2.1 Comune di Venafro e ubicazione delle 2 centraline VE1 e VE2.



A2.1 Sintesi dati qualità dell'aria di Arpa Molise

Di seguito si riportano gli acronimi utilizzati

Acronimi

$\mu\text{g}/\text{m}^3$ =microgrammi per metro cubo

mg/m^3 =milligrammi per metro cubo

ng/m^3 =nanogrammi per metro cubo

CO=Monossido di carbonio

BaP=Benzo(a)pirene

NO₂=Biossido di azoto

NO_x=Ossidi di azoto

PM₁₀=Particolato con diametro minore o uguale a 10 μm

PM_{2,5}=Particolato con diametro minore o uguale a 2,5 μm

Dall'analisi dei dati effettuata da Arpa Molise e dai documenti presenti sul sito di Arpa Molise emerge come le concentrazioni degli inquinanti nell'area di Venafro siano nei limiti di legge sebbene presentino valori di PM₁₀ e PM₂₅ in media più alti rispetto ai dati registrati negli altri siti del Molise (Figure A2.2a e A2.2b) anche con riferimento ai numeri di superamenti dei limiti giornalieri di PM₁₀ (Figura A2.3). Anche per il benzo(a)pirene si osserva come, sebbene nei limiti di legge, i valori misurati siano più alti in media nella stazione di VE2 rispetto a tutte le altre stazioni del Molise in particolare nei mesi invernali di Novembre e Dicembre (Figura A.2.4). Le differenze tra le stazioni di Venafro e le altre stazioni potrebbero essere legate sia alle caratteristiche geografiche del sito di Venafro in una valle in cui sono più frequenti condizioni di ristagno e accumulo di inquinanti sia a possibili emissioni più alte di alcune fonti.

Per quanto riguarda l'NO₂ i valori di concentrazione media sono al di sotto dei limiti di legge (ad eccezione degli anni 2014 e 2015) ma comparabili in alcuni anni con quelli di una città molto più popolosa come Campobasso (Figura A.2.5). Da tutte le tabelle emerge come, inoltre, nell'anno 2020 a causa del lockdown si è registrata una diminuzione degli NO_x ma non di PM e benzo(a)pirene.

Figura A.2.2a Media annuale del PM₁₀ rete di Arpa Molise (Fonte *La qualità dell'aria. Molise* a cura di Arpa Molise sito web: <http://www.arpamoliseairquality.it/>).

Stazioni	2015		2016		2017		2018		2019		2020	
	Media annuale (µg/m³)	Copertura dati (%)	Media annuale (µg/m³)	Copertura dati (%)	Media annuale (µg/m³)	Copertura dati (%)	Media annuale (µg/m³)	Copertura dati (%)	Media annuale (µg/m³)	Copertura dati (%)	Media annuale (µg/m³)	Copertura dati (%)
CB1	17	85	20	94	26	37	-	-	-	-	-	-
CB3	15	78	17	73	17	71	17	87	17	43	16	14
TE1	20	67	21	74	20	61	15	59	19	45	-	-
TE2	19	88	14	79	20	99	18	78	19	30	13	36
IS1	19	75	17	83	20	96	12	86	9	27	-	-
VE1	23	90	26	87	20	89	26	91	25	26	-	-
VE2	25	77	29	74	25	78	27	87	30	93	32	96
VA	9	12	8	84	10	50	8	53	8	42	-	-

Tabella 5 - media annuale e copertura dati PM₁₀

Figura A.2.2b Media annuale del PM_{2,5} rete di Arpa Molise (Fonte *La qualità dell'aria. Molise* a cura di Arpa Molise sito web: <http://www.arpamoliseairquality.it/>).

STAZIONI	2018		2019		2020	
	Media annuale (µg/m³)	Copertura dati (%)	Media annuale (µg/m³)	Copertura dati (%)	Media annuale (µg/m³)	Copertura dati (%)
CB3	11	41	10	98	10	94
TE2	14	43	10	93	10	92
VE2	21	44	21	93	23	96

Tabella 7 - media annuale e copertura dati PM_{2,5}

Figura A.2.3 Numero superamenti giornalieri del PM₁₀ rete di Arpa Molise (Fonte *La qualità dell'aria. Molise* a cura di Arpa Molise sito web: <http://www.arpamoliseairquality.it/>).

Superamenti limiti giornalieri (#)	Anni	CB1	CB3	TE1	TE2	IS1	VE1	VE2	VA
	2012	15	2	17	33	6	47	53	0
	2013	6	2	9	11	7	58	53	0
	2014	5	2	3	4	10	33	44	0
	2015	0	1	2	6	3	41	27	0
	2016	11	2	3	0	1	32	24	0
	2017	7	0	12	10	0	23	25	0
	2018	-	0	1	8	0	22	24	0
	2019	-	0	0	2	0	7	39	0
	2020	-	0	-	0	-	-	52	-

Tabella 4 - superamenti limiti giornalieri PM₁₀

Figura A.2.4 Media annuale del Benzo(a)pirene rete di Arpa Molise e distribuzione media mensile per VE2 (Fonte *La qualità dell'aria. Molise* a cura di Arpa Molise sito web: <http://www.arpamoliseairquality.it/>).

	CB3	VE2	TE1	TE2	VA
Media annuale - 2014 (ng/ m ³)	0.170	0.275	0.196	-	0.403
Copertura dati - 2014 (%)	101	48	69	-	31
Media annuale - 2015 (ng/ m ³)	0.3	0.26	0.19	-	0.1
Copertura dati - 2015 (%)	102	83	55	-	34
Media annuale - 2016 (ng/ m ³)	0.047	0.032	0.032	-	0.077
Copertura dati - 2016 (%)	45	50	46	-	54
Media annuale - 2017 (ng/ m ³)	0.172	0.564	0.041	-	0.034
Copertura dati - 2017 (%)	61	59	48	-	46
Media annuale - 2018 (ng/ m ³)	0.304	0.429	-	0.191	0.639
Copertura dati - 2018 (%)	83	54	-	48	29
Media annuale - 2019 (ng/ m ³)	0.216	0.562	-	0.329	0.231
Copertura dati - 2019 (%)	100	81	-	83	75
Media annuale - 2020 (ng/ m ³)	0.254	0.503	-	0.09	-
Copertura dati - 2020 (%)	45	105	-	72	-

Tabella 22 - statistiche b(a)p - 2014/2020

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Gennaio	-	-	-	0.020	0.728	-	0.470
Febbraio	-	-	-	0.020	0.440	1.230	0.020
Marzo	-	0.37	0.200	0.020	0.290	0.528	0.895
Aprile	0.007	0.20	-	0.075	0.159	1.406	0.420
Maggio	0.007	0.34	-	0.020	0.241	1.570	0.450
Giugno	-	0.26	0.020	0.290	0.070	0.243	0.309
Luglio	-	0.22	0.020	0.380	-	0.224	0.020
Agosto	0.2	0.54	-	0.610	-	0.186	0.020
Settembre	0.1	0.26	-	-	-	0.090	0.210
Ottobre	0.4	0.14	0.020	0.160	-	0.090	0.710
Novembre	0.9	0.23	0.020	2.084	1.650	0.150	1.140
Dicembre	0.1	0.12	0.020	1.130	-	-	1.260

Tabella 25 - medie mensili b(a)p VE2 - Zona IT 1403 - 2014-2020

Figura A.2.5 Media annuale del NO₂ rete di Arpa Molise (Fonte *La qualità dell'aria. Molise* a cura di Arpa Molise sito web: <http://www.arpamoliseairquality.it/>).

ZONE											
IT1402		IT1403							IT1404		
VA		CB1	CB3	CB4	IS1	VE1	VE2	GU	TE1	TE2	LIMITE
2014	-	39	20	-	-	44	-	12	-	26	40
2015	8	38	21	35	27	51	31	10	32	28	40
2016	4	39	24	23	23	35	26	6	23	33	40
2017	6	42	19	20	16	27	30	9	24	30	40
2018	8	37	34	19	20	26	27	9	14	23	40
2019	6	47	21	17	18	19	20	7	9	35	40
2020	10	18	21	14	17	25	17	4	18	27	40

Tabella 10 - medie annuali NO₂ 2006/2020

A.2.2 Analisi di qualità dell'aria relativa all'anno 2016

Di seguito sono riportate le analisi relative all'anno 2016 degli inquinanti misurati nella Stazione VE1⁹

La Figura A.2.6 mostra l'andamento medio orario, settimanale e mensile per il PM₁₀. È evidente come analogamente a quanto osservato dalle analisi di Arpa Molise i valori medi di PM₁₀ più alti si concentrino nei mesi di novembre e dicembre nei fine settimana (in particolare sabato) e nelle ore serali tra le 20 e le 23. Nella Figura A.2.7 è invece mostrato l'andamento del CO che mostra alcune analogie con i trend del PM₁₀. Entrambi presentano dei picchi di concentrazione nelle ore serali tra le 20 e le 23 e nei mesi invernali sebbene con alcune differenze.

⁹ I grafici sono stati realizzati con il software OPENAIR

I trend temporali degli NO_x sono invece mostrati nella Figura A.2.8. Da questi sono evidenti nette differenze tra i giorni della settimana con una forte diminuzione delle concentrazioni durante il finesettimana. Sono inoltre molto netti 2 picchi giornalieri di NO_x nei giorni tra lunedì e venerdì nelle ore mattutine intorno nella fascia oraria approssimativamente tra le 8 e le 10 e serale tra le 19 e le 20. Il profilo degli NO_x cambia nel fine settimana, i picchi si riducono il sabato e il picco mattutino scompare la domenica mattina. Le concentrazioni si riducono nei mesi estivi e nelle ore centrali della giornata sia per le condizioni di rimescolamento verticale più accentuato nelle ore centrali della giornata che per la reattività fotochimica più elevata nei mesi estivi e nelle ore centrali della giornata. Il profilo degli NO_x suggerisce come fonte principale quella legata ai trasporti e al traffico cittadino, alla quale si sommano concentrazioni derivanti da altre fonti come ad esempio il riscaldamento, e impianti industriali. Il confronto tra i trend temporali tra NO_x e PM_{10} mostrato in Figura A.2.9 mette in evidenza le differenze tra i due inquinanti suggerendo che le fonti principali che determinano i picchi di concentrazione siano differenti. E questo è confermato anche dall'analisi degli inquinanti per l'anno 2020 dove si osserva una netta diminuzione degli NO_x legata alla diminuzione del traffico ma non una diminuzione delle concentrazioni di PM_{10} .

Maggiori analogie si osservano tra i trend temporali di PM_{10} e CO (Figura A.2.10) confermata dagli scatterplot mensili presenti in Figura A.2.11. In questi grafici sono mostrati sull'asse delle x i valori di CO e sull'asse delle y i valori del PM_{10} . Si vede come in particolare nei mesi invernali all'aumentare del CO aumenta il PM_{10} suggerendo una fonte comune dei 2 inquinanti in tali mesi, attribuibile ad una fonte locale di combustione incompleta nei mesi invernali nelle ore serali. L'aumento del Benzo(a)pirene in tali mesi come mostrato A.2.4 confermerebbe l'ipotesi di una fonte locale legata alla combustione di biomassa. Una conferma di tale ipotesi potrebbe derivare da una caratterizzazione chimico fisica del particolato nei mesi invernali. Negli altri mesi la correlazione tra i 2 inquinanti diminuisce notevolmente ad evidenziare la prevalenza di fonti diverse, tra queste anche intrusioni di polveri desertiche.

Alle varie fonti non si esclude il contributo delle fonti industriali che sebbene in media contribuiscano con concentrazioni molto basse, in determinate condizioni meteorologiche possano contribuire con concentrazioni dell'ordine dei $\mu\text{g}/\text{m}^3$ come mostrato nell'Appendice A.4.

Sulla base di quanto esposto si possono formulare le seguenti considerazioni:

- l'andamento giornaliero e settimanale dell' NO_2 suggerisce il traffico come fonte prevalente di tale inquinante, alla quale si sommano contributi minori di altre fonti.
- gli andamenti giornalieri, settimanali e stagionali del PM_{10} , differenti da quelli dell' NO_2 , presentano invece delle correlazioni maggiori con quelli del CO in particolare nei mesi invernali. Questo

suggerisce l'ipotesi di una fonte locale e invernale di entrambi gli inquinanti, da approfondire con specifiche campagne di misura. Gli alti valori di PM_{10} in estate registrati simultaneamente anche in altre aree della regione suggeriscono come possibile fonte le intrusioni di polvere desertica;

- al fine di ridurre le concentrazioni degli inquinanti registrati nel comune di Venafro è necessaria un'attribuzione più robusta alle fonti di emissioni attraverso campagne di misura specifiche nelle diverse stagioni.

Figura A.2.6 Trend temporali per il PM_{10} ($\mu g/m^3$). Anno 2016. VE1.

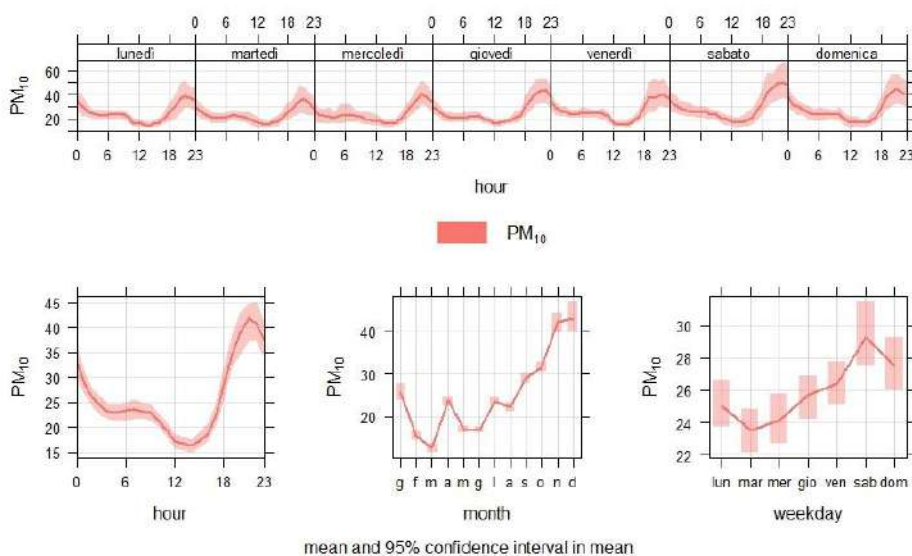


Figura A.2.7 Trend temporali per il CO (mg/m^3). Anno 2016. VE1.

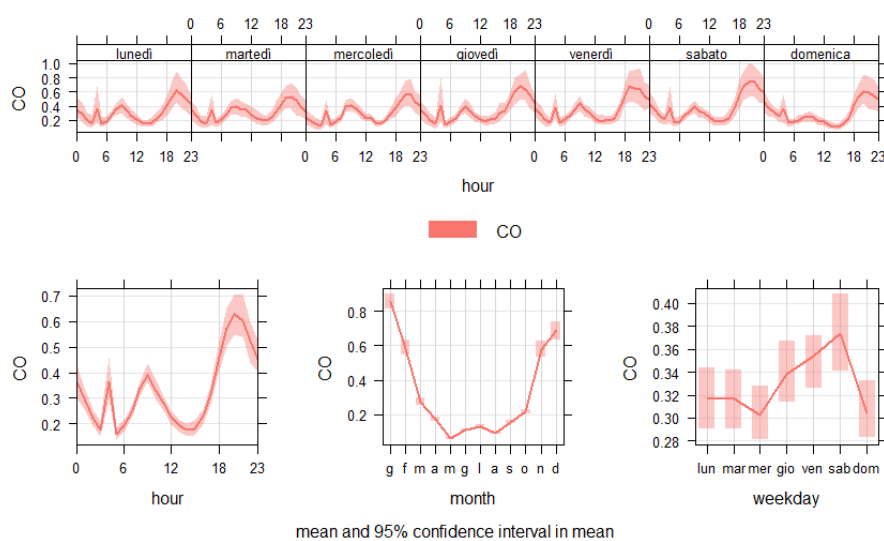


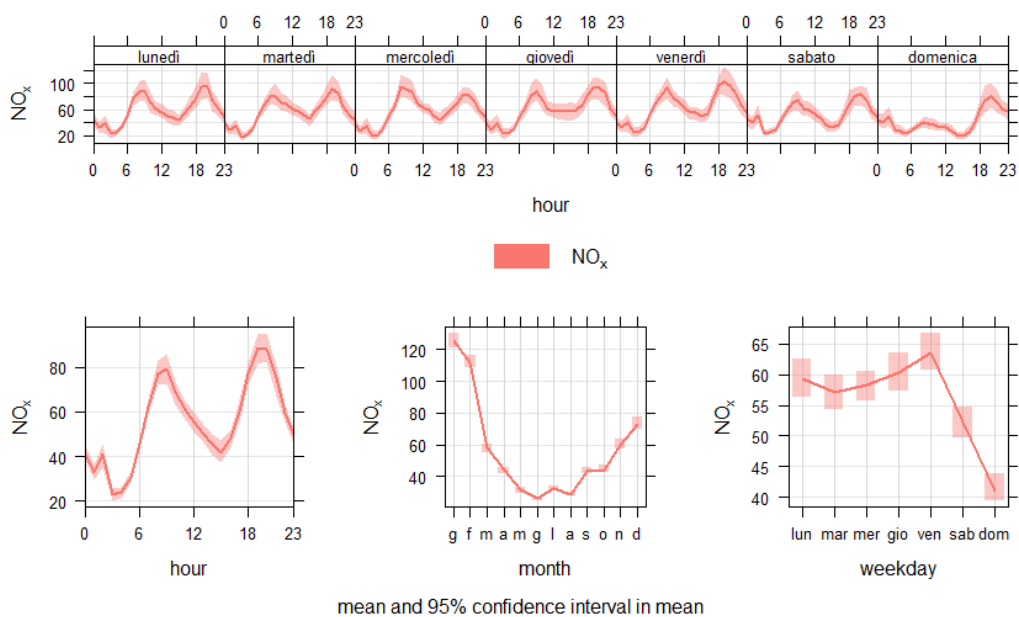
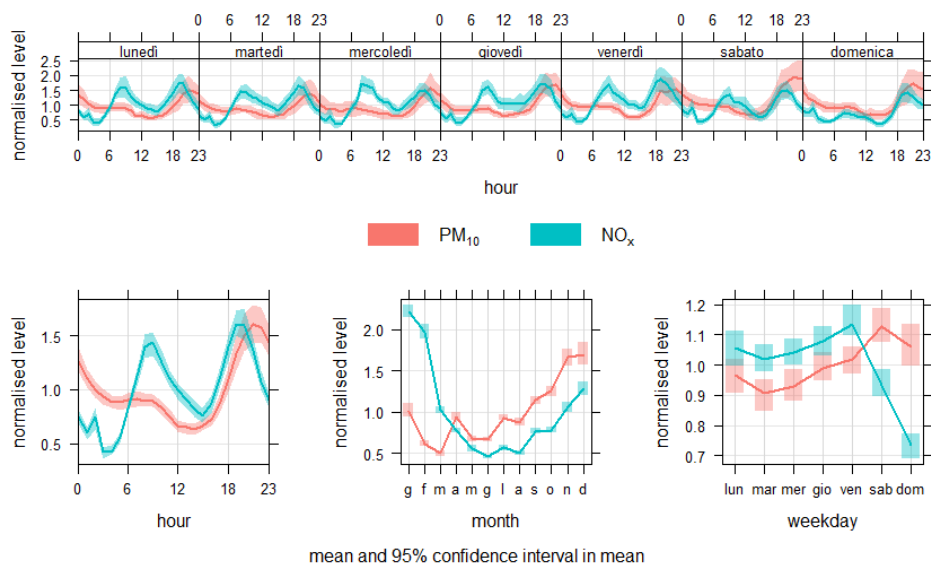
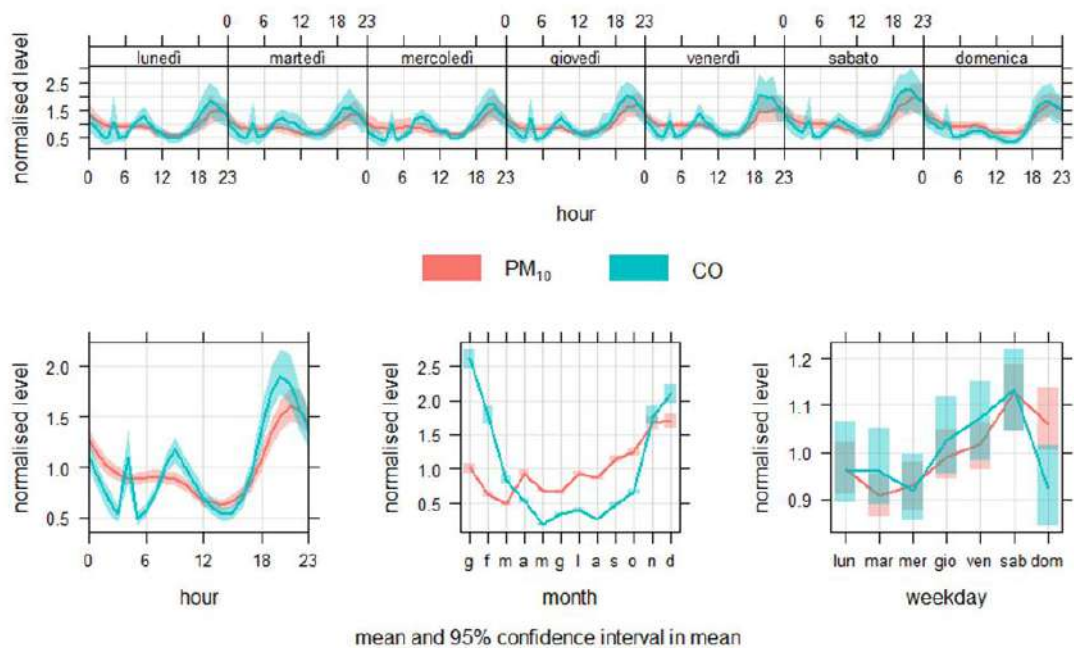
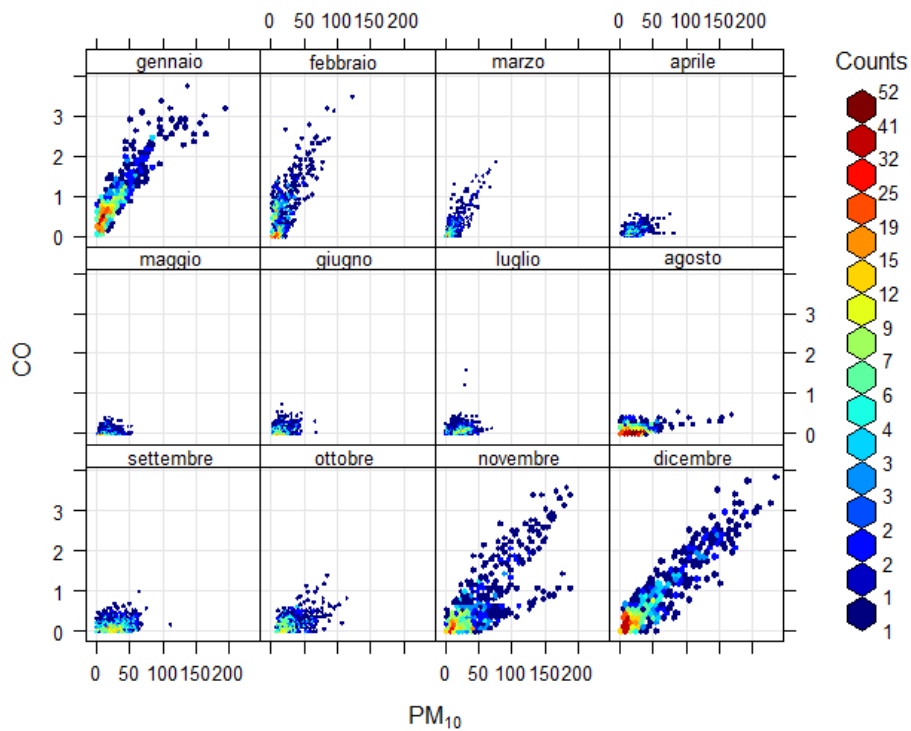
Figura A.2.8 Trend temporali per NO_x (µg/m³). Anno 2016. VE1.**Figura A2.9 Confronto trend temporali per PM₁₀ e NO_x normalizzati. Anno 2016. VE1.**

Figura A.2.10 Confronto trend temporali per PM₁₀ e CO normalizzati. Anno 2016. VE1.**Figura A.2.11 Scatterplot tra le concentrazioni di PM₁₀ (µg/m³) e CO (mg/m³). Anno 2016. VE1.**

Appendice A.3

Emissioni impianti

Cementeria Colacem

La Cementeria Colacem S.p.A. è situata nel comune di Sesto Campano (IS), in località Carrera del Conte, SS.85 km 15, 700 e produce cementi, calci idriche, super plast e predosati utilizzati per la fabbricazione di calcestruzzo. (SIGAS, 2015)

Presso l'installazione si producono leganti idraulici mediante una linea di cottura che utilizza il processo a "via secca" (le materie prime, macinate ed omogeneizzate, vengono introdotte nel forno di cottura allo stato di polvere secca).

Il ciclo tecnologico è costituito dalle seguenti fasi di lavorazione unitarie:

- 1) FASE di LAVORAZIONE A: frantumazione e deposito materie prime;
- 2) FASE di LAVORAZIONE B: macinazione della miscela cruda, ed omogeneizzazione farina;
- 3) FASE di LAVORAZIONE C: cottura e deposito del clinker;
- 4) FASE di LAVORAZIONE D: dosaggio costituenti e macinazione del cotto;
- 5) FASE di LAVORAZIONE E: deposito cemento e spedizione cemento sfuso;
- 6) FASE di LAVORAZIONE F: insaccamento, palettizzazione e spedizione cemento in sacchi.

L'installazione è riconducibile all'attività principale di produzione di clinker (cemento) in forni rotativi la cui capacità di produzione supera le 500 t/d, individuata con la categoria IPPC codice 3.1, lettera a), di cui all'Allegato VIII alla Parte II del D.Lgs. 152/2006, e, contestualmente, alle attività connesse alla principale IPPC:

- di coincenerimento di rifiuti non pericolosi con una capacità superiore alle 3 t/h, attività di gestione rifiuti non pericolosi mediante le operazioni di recupero R1 individuata con la categoria IPPC codice 5.2, lettera a), di cui all'Allegato VIII alla Parte II del D.Lgs. 152/2006;
- di gestione di rifiuti non pericolosi solidi mediante le operazioni di recupero R5 e R13.

La capacità produttiva massima dell'installazione IPPC codice 3.1, lettera a), della COLACEM S.p.A. è pari a:

- 1250000 t/anno di clinker;
- 1700000 t/anno di cemento.

L'impianto integrato IPPC codice 5.2, lettera a), ha una capacità nominale pari a 4.16 t/h ed un carico termico nominale minimo pari a 62400 MJ/h (AIA-COL 2017, relazione istruttoria).

Cronologia del funzionamento e delle autorizzazioni

- Nel 2000 l'attuale proprietà acquisisce gli impianti incorporando la precedente proprietà (NIM s.r.l) (SIGAS, 2015).
- 2007 autorizzazione (Determinazione provinciale n.171) al coincenerimento di CSS (combustibile solido secondario) per un massimo di 25000 t/a. Autorizzazione ribadita nell'AIA concessa nel 2015.
- 2007 richiesta di AIA da parte di COLACEM
- AIA concessa nel 2015 (AIA-COL 2015, relazione istruttoria) (procedimento ri-avviato nel 2013), aggiornata nel 2016 (uso materiale da scavo) e nel 2017 (modifica scarichi idrici).

Ricostruzione delle emissioni (2006-2017)

Analizzando la Determinazione n.171 del 2007 emanata dalla Provincia di Isernia e avente per oggetto la proroga dell'autorizzazione all'esercizio dell'impianto in deroga ai vigenti limiti di emissione in atmosfera, deroga ottenuta dall'esercente nel precedente anno (provvedimento prot.7571 del 2006 emesso dalla stessa Provincia), si possono evincere alcune informazioni sui limiti di emissione vigenti e derogati:

- le emissioni degli NO_x, espressi come NO₂, sono in deroga al limite vigente di 800 mg/Nm³, almeno fino al 1/1/2008, quando sarebbe entrata a regime di funzionamento un sistema di abbattimento catalitico (ad urea) degli NO_x;
- Il limite giornaliero (si suppone in media giornaliera, n.d.r.) delle sostanze in forma gassosa e di vapore contenenti carbonio organico (c.d. TOC, total organic carbon) è posto a 62 mg/Nm³, nei fumi secchi e riferiti al tenore di ossigeno del 10%.

Nel 2012, in seguito al ritrovamento (2011) di un campione di muscolo bovino in un allevamento di Venafro (e precisamente nel sito del nucleo industriale di Venafro-Pozzilli) contaminato da diossine (PCDD) e policlorobifenili (PCB) diossina-simili a livelli superiori al tenore massimo stabilito dal Regolamento CE n.1881/2006, ritrovamento che trova replica in un differente allevamento a 2.5 km di distanza dal primo, viene disposto dalla Regione un piano di monitoraggio di matrici per l'alimentazione umana e animale. Vengono ritrovate in una determinata area geografica (limitata a nord da Pozzilli e a sud da Sesto Campano) altri 36 campioni con PCB diossina-simili superiore ai livelli di azione. La Regione dispone (decreto n.5 del 14/3/2013) un più approfondito monitoraggio della durata di un anno (2013) per individuare le fonti dell'inquinamento. La prevalenza di PCB diossina-simili sulle PCDD fa pensare a una o più origini di tipo industriale. (BUR Molise, n.24, 2013, pag.5041 e segg.).

Le emissioni più rilevanti derivate dalla attività della cementeria originano da due tipologie principali: quelle derivate alle lavorazioni “a caldo”, tipicamente convogliate a camini, e quelle relative a miscele, macinazioni, movimentazioni ecc., che possono essere puntuali o diffuse, misurabili o fuggitive.

Le più rilevanti emissioni della prima tipologia è la “cottura” del clinker (emissioni convogliate al camino E6), e sono sia pulverulente che gassose. Queste sono caratterizzate dai combustibili utilizzati e dalla tipologia e portata dell’impianto. Nel caso specifico, dal 2007, con determinazione provinciale, e successivamente con l’AIA emessa nel 2015, il formo è autorizzato a coincenerire CSS con le seguenti prescrizioni.

1.1.8 Recupero energetico di rifiuti non pericolosi: Attività 01 (allegato 2, suballegato 1, del D.M. 05.02.1998)

R1 – utilizzazione principalmente come combustibile o come altro mezzo per produrre energia			R13 – messa in riserva		
Tipologia di rifiuti	Codici CER	Quantità max da processare (t/a)	Tipologia di rifiuti	Codici CER	Capacità max di stoccaggio ⁽²⁾ (t/a)
01.01 ⁽¹⁾	19.12.10	25000	01.01 ⁽¹⁾	19.12.10	25000

Note:

⁽¹⁾: gestione individuata nell'allegato 2, suballegato 1, del D.M. 05.02.1998 con l'attività 1 "combustibili derivato dai rifiuti CDR".

⁽²⁾: quantità massime di rifiuti non pericolosi da avviare in R13 individuate nell'allegato 4, suballegato 2, del D.M. 05.02.1998.

Tabella 1.2.8: operazioni di recupero in procedura semplificata: attività 05

1.3 Capacità nominale e carico termico nominale dell’attività di coincenerimento di rifiuti non pericolosi.

L’impianto è autorizzato, nel caso di solo utilizzo di CSS, per

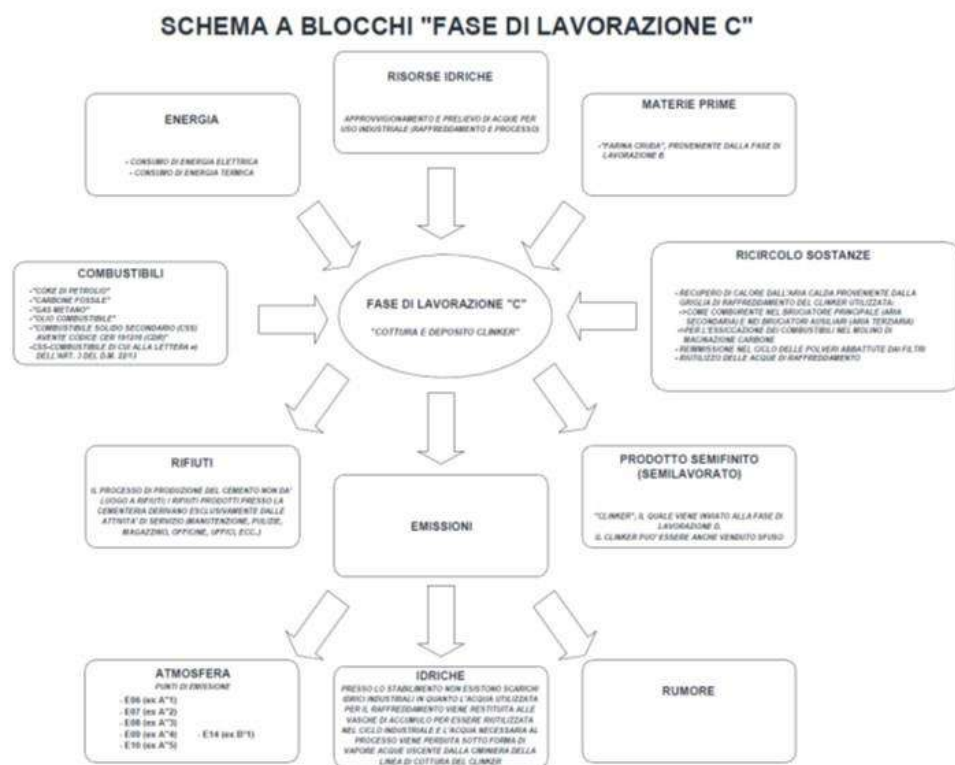
- una capacità nominale pari a: 4.16 tonnellata/ora nel caso di utilizzo del CSS (3,3,2) codice CER 191210 di “potere calorifico inferiore” (P.C.I.) non inferiore a 15.000 kJ/kg, contenuto di Cl medio ≤ 1.0 % s.s., contenuto di Hg mediana ≤ 0.03 mg/MJ t.q. ed 80° percentile ≤ 0.06 mg/MJ t.q.
- un carico termico nominale minimo pari a: 62400 MJ/h

Fonte - AIA-COL, 2015, pag.10/50

Il co-incenerimento avviene con altri combustibili, come si evince dallo schema dell’intero processo di cottura del clinker.

Tra le prescrizioni in AIA del 2015, vi è la trasmissione dei dati di monitoraggio continuo di alimentazione del formo, in termini di medie semiorarie della quantità di rifiuti e di combustibili (punto 1.22 in AIA-COL, 2015).

Figura A.3.1 Schema a blocchi del processo produttivo: fase di lavorazione C (AIA-COL, 2017).



Per quanto riguarda le emissioni in atmosfera, i valori limite stabiliti nel 2015 per il camino E6 sono i seguenti

1.5 V.L.E. in atmosfera linea di cottura del clinker – camino E6

I valori limite di emissione stabiliti di seguito, valgono con o senza recupero energetico dei rifiuti individuati con codice CER 19.12.10.

I valori limite si applicano durante il periodo di effettivo funzionamento dell'impianto, esclusi i periodi di avvio e arresto, purché non vengano inceneriti rifiuti in tali periodi. I periodi successivi al blocco dell'alimentazione rifiuti, dovuto a malfunzionamento, o guasti, o fermate programmate, rientrano nei periodi di applicazione dei limiti di emissione fino ad esaurimento del rifiuto nel forno che comunque deve avvenire entro il termine massimo di 4 ore.

1.5.1 Valori limite emissioni in atmosfera monitoraggio in continuo

	Media giornaliera (mg/Nm ³)	Media annuale (mg/Nm ³)
Polvere totale	20	-
Acido cloridrico (HCl)	10	-
Biossido di zolfo (SO ₂)	100	50
Monossido di azoto (NO) e biossido di azoto (NO ₂) espressi come NO ₂	800	-
Ammoniaca (NH ₃) ¹	500 dal 01 gennaio 2016	-
Sostanze organiche sotto forma di gas e vapori espresse come carbonio organico totale (TOC)	62	-
Monossido di carbonio (CO)	1500	1000

Tabella 1.5.1: Valori limite emissioni in atmosfera monitoraggio in continuo

1.5.2 Valori limite emissioni in atmosfera monitoraggio in discontinuo microinquinanti organici

	Periodo di campionamento 6÷8h	Media annuale
Diossine e Furani (PCDD + PCDF)	0.05 ng-TEQ/Nm ³	0.05 ng-TEQ/Nm ³
PCB – DL(*) ²	0.05 ng-TEQ/Nm ³	0.05 ng-TEQ/Nm ³
Idrocarburi policiclici aromatici (IPA)	0.005 mg/Nm ³	0.005 mg/Nm ³

Tabella 1.5.2: Valori limite emissioni in atmosfera monitoraggio in discontinuo microinquinanti organici

1.5.3 Valori limite emissioni in atmosfera monitoraggio in discontinuo mercurio e metalli pesanti

	Periodo di campionamento 0.5÷6h	Media annuale
Cadmio e i suoi composti, espressi come cadmio (Cd)	0.03 mg/Nm ³	0.03 mg/Nm ³
Tallio e i suoi composti, espressi come tallio (Tl)	in somma	in somma
Mercurio e i suoi composti, espressi come Mercurio (Hg)	0.03 mg/Nm ³	0.03 mg/Nm ³
Antimonio e i suoi composti, espressi come antimonio (Sb)	0.3 mg/Nm ³ in somma	0.3 mg/Nm ³ in somma
Arsenico e i suoi composti, espressi come arsenico (As)		
Piombo e i suoi composti, espressi come piombo (Pb)		
Cromo e i suoi composti, espressi come cromo (Cr)		
Cobalto e i suoi composti, espressi come cobalto (Co)		
Rame e i suoi composti, espressi come rame (Cu)		
Manganese e i suoi composti, espressi come manganese (Mn)		
Nichel e i suoi composti, espressi come nichel (Ni)		
Vanadio e i suoi composti, espressi come vanadio (V)		

Tabella 1.5.3: Valori limite emissioni in atmosfera monitoraggio in discontinuo mercurio e metalli pesanti

¹ Sarà stabilito solo a seguito di una valutazione di 6 mesi di monitoraggio dei dati in continuo ed automatico forniti dallo SME.

² Limite da rispettare a partire dal 01/01/2017.



Autorizzazione Integrata Ambientale
Relazione Istruttoria
Cementeria COLACEM S.p.A. Stabilimento di SESTO CAMPANO

1.5.4 Valori limite emissioni in atmosfera monitoraggio in discontinuo silice e cianuri

I limiti saranno stabiliti dopo sei mesi dal rilascio dell'AIA

Silice cristallina espressa come SiO_2		
Cianuri espressi come CN		

Tabella 1.5.4: Valori limite emissioni in atmosfera monitoraggio in discontinuo silice e cianuri

1.5.5 Valori limite emissioni in atmosfera monitoraggio in discontinuo

	Campionamento discontinuo
HF	1 mg/Nm ³

Tabella 1.5.5: Valori limite emissioni in atmosfera monitoraggio in discontinuo

1.5.6 Valutazione dei risultati delle misurazioni

I risultati delle misurazioni effettuate per verificare l'osservanza dei V.L.E. in atmosfera sono normalizzati alle condizioni descritte all'Allegato II, lettera B del Titolo III-bis alla Parte Quarta del D.lgs. 152/2006.

La concentrazione media annuale per i metalli pesanti, mercurio, diossine e furani, PCB – DL e idrocarburi policiclici aromatici va calcolata come media dei valori delle concentrazioni rilevate con i campionamenti in discontinuo.

Per la valutazione dei risultati delle misurazioni vale quanto stabilito all'Allegato II, lettera C, del Titolo III-bis alla Parte Quarta del D.lgs. 152/2006.

Per quanto non espressamente detto, vale quanto riportato al Titolo III-bis alla Parte Quarta del D.lgs. 152/2006, nonché ai rispettivi allegati.

Fonte - AIA-COL, 2015.

Gli altri punti (camini) di emissione della cementeria riguardano soprattutto i processi a freddo prima richiamati, e un paio di processi a caldo di minore portata (essiccazione pozzolana –camino E24- e insaccamento) con combustibile gas naturale

Le prescrizioni sono le seguenti

1.6 V.L.E. in atmosfera altri camini

I valori limite di emissione in atmosfera si applicano ai periodi di normale funzionamento dell'impianto, intesi come i periodi in cui l'impianto è in funzione, con l'esclusione dei periodi di avviamento e di arresto e dei periodi in cui si verificano anomalie o guasti tali da non permettere il rispetto dei valori stessi.

I VLE in atmosfera, salvo diversamente indicato, si intendono stabiliti come media oraria e si riferiscono al volume di effluente gassoso rapportato alle condizioni normali ($T=273,15$ K e $p=101,3$ kPa), previa detrazione del tenore volumetrico di vapore acqueo.

1.6.1 Valori limite emissioni in atmosfera camini E01 – E14 –E16

parametro/ inquinante	Media oraria mg/Nm ³
Polveri	10
Hg	Limiti previsti al Paragrafo 2 della Parte II dell'Allegato I alla Parte Quinta del D.Lgs. 152/2006 ridotti del 10%
Cd	
Tl	
Se	
Te	
Sb	
Cr	
Mn	
Pd	
Pb	
Pt	
Cu	
Rh	
Sn	
Ni	
V	
CN	
SiO ₂ cristallina	

Tabella 1.6.1: Valori limite emissioni in atmosfera camini E01 – E14 –E16

Fonte - AIA-COL, 2015.



Autorizzazione Integrata Ambientale
Relazione Istruttoria
Cementeria COLACEM S.p.A. Stabilimento di SESTO CAMPANO

1.6.2 Valori limite emissioni in atmosfera camini E04 - E05 - E07 - E08 - E09 - E10 - E15 - E17 - E18 - E19 - E20 - E21 - E22 - E23 - E25 - E26 - E27 - E28 - E29 - E30 - E31 - E32 - E33 - E34 - E35 - E36 - E37 - E38

parametro/ inquinante	Media oraria mg/Nm ³
Polveri	10

Tabella 1.6.2: Valori limite emissioni in atmosfera camini E04 - E05 - E07 - E08 - E09 - E10 - E15 - E17 - E18 - E19 - E20 - E21 - E22 - E23 - E25 - E26 - E27 - E28 - E29 - E30 - E31 - E32 - E33 - E34 - E35 - E36 - E37 - E38

1.6.3 Valori limite emissioni in atmosfera camino E24

parametro/ inquinante	Media oraria mg/Nm ³
NO _x	500 ³
Polveri	20
Hg	Limiti previsti al Paragrafo 2 della Parte II dell'Allegato I alla Parte Quinta del D.lgs. 152/2006 ridotti del 10%
Cd	
Tl	
Se	
Te	
Sb	
Cr	
Mn	
Pd	
Pb	
Pt	
Cu	
Rh	
Sn	
Ni	
V	
CN	
SiO ₂ cristallina	

Tabella 1.6.3: Valori limite emissioni in atmosfera camino E24

1.6.4 Valori limite emissioni in atmosfera "termoretraibile reparto insaccamento"

parametro/ inquinante	Media oraria mg/Nm ³
Polveri	Limiti previsti dalla Parte Quinta del D.lgs. 152/2006 ⁴
NO _x	
VOC	

Tabella 1.6.4: Valori limite emissioni in atmosfera "termoretraibile reparto insaccamento"

1.6.5 Valori limite emissioni in atmosfera "capannone stoccaggio CSS"

parametro/ inquinante	unità di misura	Media oraria
H ₂ S	mg/Nm ³	3.5
NH ₃	mg/Nm ³	5
V.O.C.	mg/Nm ³	50
Polveri	mg/Nm ³	10
Odori	U.O.	300

Tabella 1.6.5: Valori limite emissioni in atmosfera "capannone stoccaggio CSS"

Fonte - AIA-COL, 2015.

Sussistono anche prescrizioni per le emissioni in continuo durante le operazioni di spegnimento e accensione degli impianti a caldo, c.d. transitori, che generano emissioni fuori misura di NO_x e CO.

1.9 Monitoraggio in continuo dei transitori (avvio/arresto)

Il Gestore deve predisporre, entro 3 mesi dal rilascio dell'A.I.A., un monitoraggio in continuo dei transitori (avvio/arresto) per le misurazioni delle emissioni di NO_x e CO avvalendosi di misuratori in continuo automatici, le misurazioni devono essere registrate e fanno parte del reporting previsto dal P.M.C.. Inoltre, i quantitativi emessi devono essere riportati sia come quantità emesse per evento (kg/evento), sia come quantità complessiva annua (da includere nelle quantità annuali ed espresse come t/a).

Nel P.M.C. andranno indicati i valori delle concentrazioni medie orarie degli inquinanti in aria, i volumi dei fumi, le rispettive emissioni in massa nonché il numero ed il tipo degli avviamenti, i relativi tempi di durata, il tipo ed il consumo dei combustibili utilizzati e gli eventuali apporti di vapore ausiliario.

Il periodo massimo di tempo per l'avviamento di norma è di 40 ore.

Il periodo massimo di tempo per l'arresto di norma è di 12 ore.

Fonte - AIA-COL, 2015.

Per quanto riguarda le emissioni non convogliate, l'AIA del 2015 prescriveva all'impresa di effettuare una "determinazione delle emissioni diffuse e fuggitive entro 12 mesi dal rilascio dell'AIA" indicando punto di monitoraggio, parametro/inquinante, unità di misura e metodiche analitiche.

Per la COLACEM, abbiamo ricevuto un archivio dati in formato elettronico da ARPAM, un foglio contenente 66192 misure semiorarie registrate al camino E6 linea cottura clinker, che coprono il periodo 8 gennaio 2016 – 26 ottobre 2020. Rispetto agli attesi 85632 valori (48 misure per 1784 giorni), mancano 19440 valori pari a 405 giorni, durante i quali l'impianto è da considerarsi fermo.

I campi misurati sono i seguenti:

POLVERI TOTALI	(1) (9)	Conc. mg/Nm3	NOTE (fonte: ARPAM) (1) I dati rilevati sono espressi su base secca e riferiti al 10% di ossigeno. (2) Media semioraria non valida per manutenzione o guasto SME. (3) Media semioraria non valida per impianto fermo o portata alimentazione materia prima inferiore al minimo tecnico. (4) Media giornaliera non valida per ore di funzionamento dell'impianto inferiore a 6. (5) Media giornaliera non valida per numero di medie semiorarie non valide superiore a 5 a causa di manutenzione o guasto dello SME. (6) I valori limite sono espressi su base secca e riferiti al 10% di ossigeno. (7) I dati rilevati sono espressi su base secca. (8) Valore limite durante l'alimentazione di CSS avente codice CER 130101
SO2	(1) (9)	Conc. mg/Nm3	
NOx	(1) (9)	Conc. mg/Nm3	
COT	(1) (9)	Conc. mg/Nm3	
HCl	(1) (9)	Conc. mg/Nm3	
CO	(1) (9)	Conc. mg/Nm3	
NH3	(1) (9)	Conc. mg/Nm3	
Ossigeno	(7)	% Volume	
Pressione fumi		mBar	
Temperat. Fumi		°C	
Temperat. Camera Combust. CSS (CER 191210)		°C	
Portata Volumetrica Fumi (1)		K*Nm3/h	
Tenore Vapore acqueo		% Volume	
Portata CSS (CER 191210)		t/h	
Portata Carbone Testata Forno		t/h	
Portata Carbone Calcinatore		t/h	

Oltre ai valori validi, sono presenti valori non validi spiegati nel riquadro "NOTE"

L'anno rilevante per la valutazione dell'esposizione è il 2016. Pertanto sono state elaborate le misure relative a tale anno nel seguente modo.

È stata rilevata una anomalia nella annotazione delle date/ore per il giorno 26 febbraio, corretta. Sono state valutate le quantità di dati validi nelle misure di concentrazione, col seguente risultato.

Misure semiorarie	dati >0	dati=0	dati non validi	totale dati
POLVERI TOTALI (1) (9)	13978	0	1813	15791
SO2 (1) (9)	121	13860	1810	15791
NOx (1) (9)	13972	9	1810	15791
COT (1) (9)	13975	0	1816	15791
HCl (1) (9)	6081	7900	1810	15791
CO (1) (9)	13981	0	1810	15791
NH3 (1) (9)	13768	213	1810	15791

In primo luogo, mancano dati per 37 giorni, i primi 7 dell'anno e dal 2 al 31 agosto: l'impianto è da considerarsi fermo. La percentuale di dati validi sull'intero anno (impianto funzionante e valore registrato) (misure attese $366 \cdot 48 = 17568$) è 80% per tutte le 7 sostanze.

Si rilevano molti valori pari a 0 per HCl e SO₂, che lasciano pensare a problemi di taratura del sistema. L'obiettivo della elaborazione successiva è la preparazione di informazioni di ingresso per la modellistica meteo-diffusiva, che per ogni ora dell'anno fornisca un valore di flusso (g/s) delle sostanze, temperatura e velocità in uscita dei fumi. I dati mancanti saranno sostituiti da zeri.

Passaggi di calcolo

1. Media semioraria mobile quando sono presenti due valori semiorari validi, altrimenti poniamo un flag -100;
2. Estrazione della media oraria, un valore ogni due medie mobili precedenti.
3. Calcolo dei flussi di inquinanti

$$\text{Flusso (g/s)} = \text{concentrazione (mg/Nm}^3\text{)} * \text{portata (kNm}^3\text{/h)} * 1000 \text{ (Nm}^3\text{/kNm}^3\text{)} / 1000 \text{ (mg/g)} / 3600 \text{ (s/h)}$$

4. Calcolo velocità fumi

$$V \text{ (m/s)} = Q_{tq} \text{ (k-m}^3\text{/h)} * 1000 \text{ (m}^3\text{/k-m}^3\text{)} / A \text{ (m}^2\text{)} / 3600 \text{ (s/h)}$$

Con $A = 19.63 \text{ m}^2$, area della sezione del camino (fonte ARPAM) e

$$Q_{tq} = Q_{nsr} * (1013.25/p) * (T+273.15)/273.5 * 100 / (100 - H_2O) * (21 - O_{2r}) / (21 - O_{2m})$$

In migliaia di metri cubi all'ora,

è la portata fumi "tal quale", calcolata a partire da

Qnsr (kNm^3/h) portata dei fumi in condizioni normali di pressione e temperatura, su base secca e riferita al tenore di ossigeno del 10% e annotata nelle misure, che viene scalata nelle condizioni di pressione p (mbar), temperatura T ($^{\circ}\text{C}$), tenore di umidità H_2O (% in volume) e di ossigeno $\text{O}_{2\text{m}}$ (%) misurati allo SME, che vengono utilizzate nella formula precedente assieme al tenore di ossigeno di riferimento $\text{O}_{2\text{r}} = 10\%$.

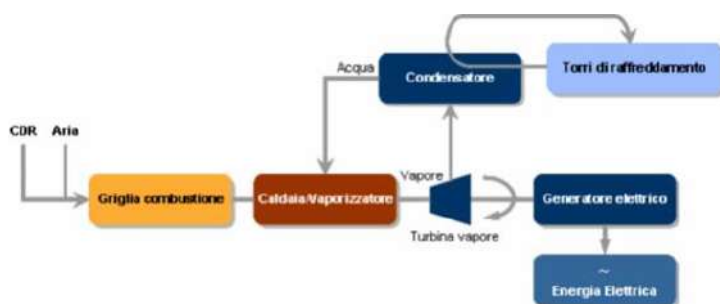
Termovalorizzatore Herambiente (ex-Energonut, ora Herambiente)

L'impianto di coincenerimento Herambiente, prima di proprietà Energonut s.p.a., si trova all'interno del nucleo industriale Isernia-Venafro nel Comune di Pozzilli (IS), località "Cerqueto", ad Ovest della Strada Statale 85 Venafrana. (SIGAS, 2015)

Nel 2010 l'impianto (ancora Energonut) viene descritto all'interno del piano di monitoraggio ambientale realizzato da enti locali, ARPA e azienda ai sensi dell'Autorizzazione ordinaria definitiva per la gestione dell'impianto di coincenerimento, espressa con Determinazione Dirigenziale n. 287 del 1 luglio 2009, modificata dalla Determinazione Dirigenziale n. 310 del 31 luglio 2009 (PMA-HER, 2010).

Lo schema dell'impianto è quello classico di un coinceneritore per la produzione di energia elettrica, composto da una griglia di combustione, un generatore di vapore e una turbina a vapore (Vedi Figura A.3.2).

Figura A.3.2 Schema a blocchi impianto termico Herambiente.



L'impianto è sostanzialmente costituito dai seguenti elementi:

- area di ricevimento ed accettazione del CDR costituita sostanzialmente da una pesa a ponte e da un ufficio accettazione e controllo che accerta la tipologia dei rifiuti in arrivo e il loro stato fisico;
- deposito di stoccaggio confinato in modo da costituire un ambiente chiuso con lo scopo di contenere sia la diffusione di polveri e/o cattivi odori sia le emissioni di rumore prodotte dalle operazioni di scarico del materiale;

- preparazione ed avviamento alla caldaia del combustibile effettuato attraverso un sistema meccanico costituito da un'unità di accoglimento a letto oscillante su cui la pala gommata versa il combustibile e da un nastro trasportatore per il trasporto del combustibile dal deposito alla caldaia;
- griglia di combustione Martin, di costruzione tedesca, del tipo inclinato oscillante completa dei sistemi automatici di alimentazione del combustibile, di raffreddamento, di regolazione dell'aria di combustione e di misura delle temperature;
- caldaia per la produzione del vapore, della potenza di circa 47 MWt, costituita da camera di combustione, vaporizzatore, surriscaldatore ed economizzatore;
- turbina a vapore a condensazione, alimentata dal vapore prodotto dal generatore di vapore;
- un alternatore, montato in asse con la turbina a vapore;
- una torre di raffreddamento costituita da dodici celle per condensare il vapore di scarico proveniente dalla turbina a vapore;
- un impianto di demineralizzazione dell'acqua per renderla idonea all'uso nel generatore di vapore ed il relativo sistema acqua di reintegro;
- sistema di trattamento dei fumi costituito da iniezione dei reattivi, complesso di filtri a manica ed estrazione finale.
- sistema di evacuazione delle ceneri;
- sistema centrale di controllo (SCC) di rilevamento in continuo dei dati di esercizio;
- sistema di raccolta, pretrattamento e convogliamento all'esterno dei reflui dell'Impianto;
- sistemi antincendio.

Nel 2013 Herambiente acquisisce l'impianto. Dal sito web dell'azienda (ha.gruppohera.it/impianti/termovalorizzatori/pozzilli ultimo accesso 16/10/2020) si legge:

La centrale termoelettrica di Pozzilli, è classificata come Impianto Alimentato da Fonti Rinnovabili (IAFR) secondo le definizioni del Decreto Legislativo 16 Marzo 1999 n. 79 e del Decreto Legislativo 29 Dicembre n. 387, nonché come impianto di coincenerimento ai sensi del Decreto Legislativo 11 Maggio 2005, n. 133, quest'ultimo in attuazione della Direttiva Europea 2000/76/CE, in quanto specificamente dedicato alla produzione di energia elettrica.

La centrale attuale è il risultato del rifacimento del preesistente impianto ubicato nello stesso sito e disattivato alla fine del 2005 in conformità alle disposizioni del decreto 16/03/99 n. 79 ai fini dell'ottenimento della qualifica IAFR da parte del Gestore del Sistema Elettrico (GSE) e comportante un adeguato miglioramento delle prestazioni energetiche ed ambientali ai sensi del Decreto Ministeriale 11/11/1999.

Tale rifacimento ha comportato la sostituzione della caldaia di produzione del vapore e del gruppo turbina-alternatore-condensatore ed ha di fatto richiesto un approfondito e sistematico riesame di tutti i criteri di progettazione e di costruzione alla luce delle più recenti normative gestionali ed ambientali, tra cui le disposizioni di cui al D.lgs. 11 maggio 2005, n. 133.

La capacità massima autorizzata è di 93.500 t/anno di rifiuti in ingresso.

Pagina aggiornata al 21 febbraio 2019

Cronologia del funzionamento e delle autorizzazioni

La società Energonut S.p.A. ottiene l'autorizzazione del Ministero dell'industria, commercio e artigianato il 22 dicembre del 1993 per una centrale "alimentabile a biomasse". L'autorizzazione prevedeva una potenza termica di 47 MW e che l'impianto dovesse essere "alimentato da residui derivanti dalla frutta secca e fresca quali: gusci di noci, di nocciole, di mandorle, noccioli di ciliegie e di altra frutta nonché da sanse esauste di olivo e di residui affini. L'uso di combustibili deve essere autorizzato dalle Autorità competenti". L'impianto entra in funzione il 16 marzo 1999, classificato come destinato al recupero energetico di Combustibile da Rifiuti e iscritto nel registro provinciale previsto, con semplice comunicazione di inizio attività e senza Valutazione di impatto ambientale ai sensi dall'art. 33 del d.lgs. n. 22/1997 (cosiddette procedure semplificate in materia di recupero energetico dei rifiuti – DM 5.02.1998). (SIGAS, 2015)

Energonut ottiene dalla Provincia di Isernia (nota del 12 luglio 2005) l'autorizzazione a variare la quantità dei rifiuti oggetto di recupero energetico (R1) da 20.000 t/a a 100.000 t/a di CDR. Oltre all'incremento delle quantità di CDR avviabili a recupero energetico (100.000 t/a) viene confermata l'autorizzazione per incenerire altri 102.000 t/a di rifiuti di diverso genere (biomasse da rifiuti) e di 15.000 t/a di farine animali. Al fine di rendere possibile il recupero energetico di un'aumentata quantità e ampliata tipologia di rifiuti, la società avvia una richiesta di ristrutturazione dell'impianto concessa con autorizzazione edilizia il 22 settembre 2005. (SIGAS, 2015)

In data 9 Dicembre 2005 la società, ritenendo il suo impianto ascrivibile alla tipologia di impianto di "coincenerimento esistente", ha richiesto alla Regione Molise l'autorizzazione all'esercizio dell'impianto ristrutturato ai sensi dell'art. 5 e dell'art. 21, comma 3, del d.lgs. n. 133/05 e secondo le modalità dell'allora vigente d.lgs. 22/1997, art. 28, comunicando contestualmente l'adeguamento alle norme tecniche prescritte dal citato d.lgs. n. 133/05. Secondo quanto dichiarato, dopo la ristrutturazione, l'aumento della quantità di rifiuti utilizzabili e l'ampliamento delle tipologie, l'impianto avrebbe mantenuto la capacità termica precedente (46,8 MWt), quindi non soggetto ad AIA. (SIGAS, 2015)

La gestione dell'impianto in via provvisoria viene autorizzata con Determinazione Dirigenziale regionale n. 111 del 2 aprile 2008, come impianto di coincenerimento. Si prescrive che: "a prescindere dalla tipologia dei rifiuti coinceneriti, la quantità annua massima inceneribile non potrà superare, in ogni caso, le 85.000 t/a" totali, suddivise tra CDR (191210), rifiuti diversi di origine vegetale (capitolo 02 del CER), di legno (trattato e non trattato, di origine industriale e non) e da rifiuti di fibre tessili. Tuttavia, la capacità dell'impianto superava il totale di 85.000 tonnellate già soltanto considerando il CDR previsto da progetto. (SIGAS, 2015)

L'autorizzazione è stata oggetto di ricorso al Tribunale Amministrativo Regionale del Molise, principalmente per la mancanza dello svolgimento di una preventiva valutazione di impatto ambientale. Il TAR regionale, con ordinanza del 2 luglio 2008 ha disposto la sospensione della efficacia dell'atto per assenza della procedura di giudizio di compatibilità ambientale. Con ricorso al Consiglio di Stato la società ha ottenuto comunque la prosecuzione dell'attività in procedura semplificata in attesa dell'esito della procedura di VIA nel frattempo attivata. La procedura di VIA si è conclusa con la delibera della Giunta Regionale dell'11 maggio 2009 n. 488, con cui arriva il giudizio positivo di compatibilità ambientale per il rilascio della VIA; viene confermata la classificazione come impianto di coincenerimento (art. 5 e art. 21 c. 3, d.lgs. 133/2005) e viene prescritto l'utilizzo di "un quantitativo di biomasse, rifiuti e/o materie prime non superiore a 85.000 t/a". (SIGAS, 2015)

Le prescrizioni, comprendenti anche le emissioni in atmosfera, sono incluse nella Determinazione Dirigenziale n. 287/2009 pubblicate nel Bollettino Regionale n.15/2009. Le integrazioni nella Determinazione Dirigenziale n.310/2009 (BUR Molise, n.30, 2009) includono la prescrizione di un monitoraggio ambientale biennale sulle ricadute al suolo. Nel 2011, la Regione Molise concede alla società un incremento alla quantità di rifiuti lavorabili da 85.000 t/a 93.500 t/a. (SIGAS, 2015)

Con il subentro di Herambiente (2013), ha inizio l'iter per la concessione dell'AIA, che si conclude positivamente: la Regione Molise (Determinazione Dirigenziale n. 15 del 14 luglio 2015) rilascia l'Autorizzazione Integrata Ambientale (AIA) che sostituisce le precedenti Determine del 2009, e l'autorizzazione, ancora precedente, alle emissioni in atmosfera – Autorizzazione ministeriale ex art. 17 del D.P.R. 203/88 rilasciata in data 22/12/1993.

L'impianto produce energia elettrica incenerendo rifiuti di tipologia individuata nell'AIA:

1.4 Tipologie di rifiuti da avviare alle operazioni di smaltimento/recupero rifiuti da autorizzare

Di seguito sono riportate le tipologie di rifiuti da avviare alle operazioni R1 con indicazione dei quantitativi massimi utilizzabili su base annua per raggruppamenti omogenei di rifiuti.

Codice C.E.R.	Descrizione	Quantità (t/a)	Operazioni
19.12.10	Rifiuti combustibili (combustibile da rifiuti)	93500	R1/R13
02.01.03	Scarti di tessuti vegetali.	50000	R1/R13
02.01.07	Rifiuti derivanti dalla olivicoltura.		
02.03.01	Fanghi prodotti da operazioni di lavaggio, pulizia, sbucciatura, centrifugazione e separazione.		
02.03.04	Scarti inutilizzabili per il consumo o la trasformazione.		
02.07.01	Rifiuti prodotti dalle operazioni di lavaggio, pulizia e macinazione della materia prima.		
02.07.04	Scarti inutilizzabili per il consumo o la trasformazione.		
03.01.01	Scarti di corteccia e sughero.	50000	R1/R13
03.01.05	Segatura, trucioli, residui di taglio, legno, pannelli di truciolare e piallacci diversi da quelli di cui alla voce 03.01.04.		
03.03.01	Scarti di corteccia e legno.		
15.01.03	Imballaggi in legno.		
17.02.01	Legno.	1000	R1/R13
04.02.21	Rifiuti da fibre tessili grezze.		
03.01.05	Segatura, trucioli, residui di taglio, legno, pannelli di truciolare e piallacci diversi da quelli di cui alla voce 03.01.04.	1000	R1/R13

Tabella 1.4.1: Tipologie di rifiuti da avviare alle operazioni di smaltimento/recupero rifiuti da autorizzare

Relativamente al CSS (CER 19.12.10) si autorizza l'utilizzo del combustibile di categoria 3.3.2., e cioè con "potere calorifico inferiore" (P.C.I.) non inferiore a 15.000 kJ/kg, contenuto di Cl medio ≤ 1 % s.s., contenuto di Hg mediana ≤ 0.03 mg/MJ t. q. ed 80° percentile ≤ 0.06 mg/MJ t. q.

1.5 Capacità nominale e carico termico nominale.

L'impianto è autorizzato, nel caso di solo utilizzo di CSS, per

- una capacità nominale pari a: 12 tonnellata/ora nel caso di utilizzo del CSS (3,3,2) codice CER 191210 di "potere calorifico inferiore" (P.C.I.) non inferiore a 15.000 kJ/kg, contenuto di Cl medio ≤ 1.0 % s. s., contenuto di Hg mediana ≤ 0.03 mg/MJ t. q. ed 80° percentile ≤ 0.06 mg/MJ t. q.
- un carico termico nominale pari a: 180000 MJ/h

Per i rifiuti diversi dal CER 191210 la ditta deve fornire, al primo utilizzo, una caratterizzazione degli stessi indicando il PCI nonché il carico termico nominale e la capacità nominale, fatti salvi i conferimenti di prodotti da distruggere a seguito di provvedimento giudiziario, previa comunicazione alla Regione Molise e all'ARPA Molise.

L'impianto di coincenerimento produce emissioni in atmosfera di tipo convogliato, attraverso il camino contrassegnato dalla sigla E1. Di seguito le limitazioni prescritte dall'AIA per le sostanze da monitorare in continuo.

1.6 Monitoraggio in continuo

- Entro 6 mesi dal rilascio dell'AIA la Ditta deve provvedere all'installazione di un idoneo sistema di campionamento e misurazione in continuo del mercurio (Hg) conforme alla norma UNI EN 14884.
- Entro 6 mesi dal rilascio dell'AIA la Ditta deve provvedere all'installazione di un idoneo campionatore in continuo per i microinquinanti organici conforme alla norma UNI EN 1948. Entro lo stesso termine, la Ditta dovrà concordare con l'Autorità competente, che si avvarrà di ARPA Molise, un manuale operativo per la gestione del campione. L'analisi del campione sarà condotta da ARPA Molise.

1.7 V.L.E. in atmosfera impianto di coincenerimento

I valori limite si applicano durante il periodo di effettivo funzionamento dell'impianto, esclusi i periodi di avvio e arresto, purché non vengano inceneriti rifiuti. I periodi successivi al blocco dell'alimentazione rifiuti, dovuto a malfunzionamento, o guasti, o fermate programmate, rientrano nei periodi di applicazione dei limiti di emissione fino ad esaurimento del rifiuto nel forno che comunque deve avvenire entro il termine massimo di 4 ore.

1.7.1 Valori limite emissioni in atmosfera monitoraggio in continuo

	Media 30 min (100%) A (mg/Nm ³)	Media 30 min (97%) B (mg/Nm ³)	Media giornaliera (mg/Nm ³)
Polvere totale	10	5	5
Acido cloridrico (HCl)	35	8	8
Biossido di zolfo (SO ₂)	40	20	20
Monossido di azoto (NO) e biossido di azoto (NO ₂) espressi come NO ₂	250	170	170
Ammoniaca (NH ₃)	10	5	5
Sostanze organiche sotto forma di gas e vapori espresse come carbonio organico totale (TOC)	10	5	5
Monossido di carbonio (CO)	100	30	30
Mercurio e suoi composti (Hg)	0.03	0.02	0.02

Le misure di mercurio, prescritte dall'AIA (installazione dell'apparecchiatura entro sei mesi dalla concessione), sono registrate a partire da marzo 2017.

Non abbiamo riscontri circa l'installazione e la messa in opera delle misurazioni in continuo di diossine, policlorobifenili, idrocarburi policiclici aromatici.

Sono prescritti limiti emissivi, da verificarsi in modo discontinuo nel tempo, per diossine, policlorobifenili, idrocarburi policiclici aromatici, e metalli pesanti.

1.7.2 Valori limite emissioni in atmosfera monitoraggio in discontinuo microinquinanti organici

	Periodo di campionamento 6÷8h	Media annuale
Diossine e Furani (PCDD + PCDF)	0.05 ng-TEQ/Nm ³	0.05 ng-TEQ/Nm ³
PCB – DL	0.05 ng-TEQ/Nm ³	0.05 ng-TEQ/Nm ³
Idrocarburi policiclici aromatici (IPA)	0.005 mg/Nm ³	0.005 mg/Nm ³

Tabella 1.7.2: Valori limite emissioni in atmosfera monitoraggio in discontinuo microinquinanti organici

1.7.3 Valori limite emissioni in atmosfera monitoraggio in discontinuo mercurio e metalli pesanti

	Periodo di campionamento 0.5÷6h	Media annuale
Cadmio e i suoi composti, espressi come cadmio (Cd)	0.03 mg/Nm ³	0.03 mg/Nm ³
Tallio e i suoi composti, espressi come tallio (Tl)	in somma	in somma
Mercurio e i suoi composti, espressi come Mercurio (Hg)	0.03 mg/Nm ³	0.03 mg/Nm ³
Antimonio e i suoi composti, espressi come antimonio (Sb)	0.3 mg/Nm ³ in somma	0.3 mg/Nm ³ in somma
Arsenico e i suoi composti, espressi come arsenico (As)		
Piombo e i suoi composti, espressi come piombo (Pb)		
Cromo e i suoi composti, espressi come cromo (Cr)		
Cobalto e i suoi composti, espressi come cobalto (Co)		
Rame e i suoi composti, espressi come rame (Cu)		
Manganese e i suoi composti, espressi come manganese (Mn)		
Nichel e i suoi composti, espressi come nichel (Ni)		
Vanadio e i suoi composti, espressi come vanadio (V)		

Tabella 1.7.3: Valori limite emissioni in atmosfera monitoraggio in discontinuo mercurio e metalli pesanti

Sussistono anche prescrizioni per le emissioni in continuo durante le operazioni di spegnimento e accensione degli impianti a caldo, c.d. transitori, che generano emissioni fuori misura di NO_x e CO.

1.9 Monitoraggio in continuo dei transitori (avvio/arresto)

Il Gestore deve predisporre, entro 3 mesi dal rilascio dell'A.I.A., un monitoraggio in continuo dei transitori (avvio/arresto) per le misurazioni delle emissioni di NO_x e CO avvalendosi di misuratori in continuo automatici, le misurazioni devono essere registrate e fanno parte del reporting previsto dal P.M.C.. Inoltre, i quantitativi emessi devono essere riportati sia come quantità emesse per evento (kg/evento), sia come quantità complessiva annua (da includere nelle quantità annuali ed espresse come t/a).

Nel P.M.C. andranno indicati i valori delle concentrazioni medie orarie degli inquinanti in aria, i volumi dei fumi, le rispettive emissioni in massa nonché il numero ed il tipo degli avviamenti, i relativi tempi di durata, il tipo ed il consumo dei combustibili utilizzati e gli eventuali apporti di vapore ausiliario.

Il periodo massimo di tempo per l'avviamento, durante il quale non vengono alimentati rifiuti, di norma è di 8 ore (48 ore nel caso di cottura del refrattario).

Il periodo massimo di tempo per l'arresto, durante il quale non vengono alimentati rifiuti, di norma è di 12 ore.

Per le emissioni della Centrale elettrica cogenerativa WET di HERAMBIENTE, abbiamo ricevuto più archivi dati in formato elettronico da ARPAM, relativi alle emissioni semiorarie registrate al camino E1, che coprono il periodo 2010-2020.

Oltre all'annotazione di data e ora di misura, i campi misurati sono i seguenti:

stato impianto	a regime; avv/ferm; fermo; non a regime
CO	(mg/Nm ³)
Polveri)	(mg/Nm ³)
COT	(mgC/Nm ³)
HCl	(mg/Nm ³)
SO ₂	(mg/Nm ³)
NO _x	(mgNO ₂ /Nm ³)
CO ₂	(%)
NH ₃	(mg/Nm ³)
H ₂ O	(%)
O ₂	(%)
Portata fumi	(kNm ³ /h)
Pressione fumi	(mbar)
Temperatura fumi	(°C)
T ₂ S	(°C)
Hg	(mg/Nm ³)

NOTE (fonte: ARPAM)

* = media non valida

n.p. = media non pervenuta

! = media > limite (1)

Oltre ai valori validi, sono presenti valori non validi spiegati nel riquadro "NOTE".

L'anno rilevante per la valutazione dell'esposizione è il 2016. Pertanto sono state elaborate le misure relative a tale anno nel seguente modo.

In tale anno, non risultano misure di mercurio.

Sono stati individuati i valori (che presentano un formato testo per via del segno "!") di superamento del limite, che sono stati convertiti nel formato numero e mantenuti.

	CO	Polveri	COT	HCl	SO ₂	NO _x	NH ₃
Numero dati sopra limite	2	0	0	1	0	13	3

Sono state valutate le quantità di dati validi nelle misure di concentrazione, col seguente risultato

Misure semiorarie	dati >0	dati =0	dati non validi	totale dati
CO	6780	8999	1789	17568
Polveri	3973	11806	1789	17568
COT	10821	4940	1807	17568
HCl	15736	44	1788	17568
SO ₂	13303	2477	1788	17568
NO _x	15780	0	1788	17568
NH ₃	13593	2187	1788	17568

Non risultano dati semi-orari mancanti; i dati non validi sono relativi agli stati impianto “fermo” e “non a regime”. La percentuale di dati validi sull’intero anno (impianto funzionante e valore registrato) (misure attese 366*48=17568) è 90% per tutte le 7 sostanze.

Si rilevano molti valori pari a 0 per Polveri e CO, ed un numero notevole per COT, SO₂ e NH₃, che richiederebbe una risposta sulle motivazioni.

L’obiettivo della elaborazione successiva è la preparazione di informazioni di ingresso per la modellistica meteo-diffusiva, che per ogni ora dell’anno fornisca un valore di flusso (g/s) delle sostanze, temperatura e velocità in uscita dei fumi. I dati mancanti saranno sostituiti da zeri.

1. Media semioraria mobile quando sono presenti due valori semiorari validi, altrimenti poniamo un flag -100;
2. Estrazione della media oraria, un valore ogni due medie mobili precedenti.
3. Calcolo dei flussi di inquinanti

Flusso (g/s) = concentrazione (mg/Nm³) * portata (kNm³/h) *1000 (Nm³/kNm³) / 1000 (mg/g) / 3600 (s/h)

4. Calcolo velocità fumi

$V \text{ (m/s)} = Q_{tq} \text{ (k-m}^3\text{/h)} * 1000 \text{ (m}^3\text{/k-m}^3\text{)} / A \text{ (m}^2\text{)} / 3600 \text{ (s/h)}$

Con $A = 2.01 \text{ m}^2$, area della sezione del camino (fonte ARPAM) e

$Q_{tq} = Q_{nsr} * (1013.25/p) * (T+273.15)/273.5 * 100 / (100-H_2O) * (21-O_{2r}) / (21-O_{2m})$

In migliaia di metri cubi all’ora, è la portata fumi “tal quale”, calcolata a partire da:

Qnsr (kNm³/h) portata dei fumi in condizioni normali di pressione e temperatura, su base secca e riferita al tenore di ossigeno del 11% e annotata nelle misure, che viene scalata nelle condizioni di pressione p (mbar), temperatura T (°C), tenore di umidità H₂O (% in volume) e di ossigeno O_{2m} (%) misurati allo SME, che vengono utilizzate nella formula precedente assieme al tenore di ossigeno di riferimento O_{2r}= 11%.

Termovalorizzatore di San Vittore

L'impianto di termovalorizzazione e recupero energetico da CDR con ciclo a vapore per la produzione di energia elettrica è sito in termovalorizzazione in località Valle Porchio della frazione di San Cesareo in comune di San Vittore del Lazio. Composto da tre linee di incenerimento denominate Linea 1, Linea 2 e Linea 3 le cui caratteristiche tecniche sono riportate nella tabella seguente:

CARATTERISTICHE TECNICHE	Linea 1 dopo adeguamento e revamping		Linea 2		Linea 3	
Potenza termica installata	52 MWt		54 MW t		54 MW t	
Potenza elettrica	12,5 MWe		14,5 MWe		14,5 MWe	
Tipologia e quantità di rifiuti termovalorizzabili	Massimo 98.750 t		Massimo 130.240 t		Massimo 130.240 t	
	19 12 10 CDR /CSS	Fino a 98.750 t	19 12 10 CDR /CSS	Fino a 130.240 t	19 12 10 CDR/CSS	Fino a 130.240 t
	19 08 05 Fanghi da depurazione	Fino a 15.000 t	19 08 05 Fanghi da depurazione	Fino a 15.400 t	19 08 05 Fanghi da depurazione	Fino a 20.400 t
			03 03 07 scarti della separazione meccanica nella separazione di polpa da rifiuto di carta e cartone		03 03 07 scarti della separazione meccanica nella separazione di polpa da rifiuto di carta e cartone	
			03 03 10 scarti di fibre e fanghi contenenti fibre, riempitivi e prodotti di rivestimento generati dai processi di separazione meccanica		03 03 10 scarti di fibre e fanghi contenenti fibre, riempitivi e prodotti di rivestimento generati dai processi di separazione meccanica	

Fonte - (AIA-VIT, 2016).

L'impianto nasce nel 2002; lo sviluppo storico di funzionamento e autorizzazioni può essere ritrovato in ACEA, 2021.

Il 13/01/2016 la Regione Lazio con Determinazione Dirigenziale n°G00063 rilascia il rinnovo dell'Autorizzazione Integrata Ambientale di cui al Decreto Commissariale n°72/07 e s.m.i. A dicembre 2016, la Regione Lazio, con successivo atto autorizzativo, modifica, elevandolo ulteriormente, il quantitativo massimo dei rifiuti da avviare a termovalorizzazione sulle linee 2 e 3 portandolo a 270.000 t/anno, pur rimanendo fisso e invariato il tetto massimo di 300.200 t/a di rifiuti da trattare complessivamente quale somma dei rifiuti termovalorizzati dalle tre Linee, come autorizzato con Valutazione di impatto Ambientale all'epoca vigente.

Sono indicate prescrizioni per le emissioni in atmosfera in media giornaliera

A. VALORI LIMITE DI EMISSIONE IN ATMOSFERA

1. Valori limite di emissione medi giornalieri espressi in mg/Nm³

Polvere totale	3
Sostanze organiche sotto forma di gas e vapori espresse come carbonio organico totale (TOC)	9
Acido cloridrico (HCl)	8
Acido fluoridrico (HF)	1
Biossido di zolfo (SO ₂)	40
Monossido di azoto (NO) e biossido di azoto (NO ₂) espressi come NO ₂ per gli impianti di incenerimento dei rifiuti esistenti dotati di una capacità nominale superiore a 6 t/ora e per i nuovi impianti di incenerimento dei rifiuti	70
Ammoniaca (NH ₃)	10

Esistono differenti limiti per le emissioni per le medie semiorarie.

2. Valori limite di emissione medi su 30 minuti espressi in mg/Nm³

	100%	97%
	A	B
a) Polveri totali	16	6
a) Sostanze organiche sotto forma di gas e vapori espresse come carbonio organico totale (TOC)	18	9
a) Acido cloridrico (HCl)	50	8
a) Acido fluoridrico (HF)	4	2
a) Biossido di zolfo (SO ₂)	180	40
a) Monossido di azoto (NO) e biossido di azoto (NO ₂) espressi come NO ₂ per gli impianti di incenerimento dei rifiuti esistenti dotati di una capacità nominale superiore a 6 t/ora e per i nuovi impianti di incenerimento dei rifiuti	150	100
a) Ammoniaca (NH ₃)	30	10

E limitazioni specifiche per il CO

5. Valori limite di emissione per il monossido di carbonio (CO)

I seguenti valori limite di emissione per le concentrazioni di monossido di carbonio (CO) non devono essere superati nei gas di combustione (escluse le fasi di avviamento ed arresto):

- 40 . mg/Nm³ come valore medio giornaliero;
- 80 . mg/Nm³ come valore medio su 30 minuti;
- il valore di 130 . mg/Nm³ come valore medio su 10 minuti.

Ed esistono prescrizioni sulle emissioni di metalli pesanti e inquinanti organici, da controllarsi in modo discontinuo.

Le mappe di simulazione della concentrazione al suolo utilizzate nello studio corrente, sono state ottenute fornendo ai modelli meteo-dispersivi valori in input delle caratteristiche del camino e del flusso di massa del tracciante utilizzato nello studio, gli NO_x, indicati nello studio di impatto ambientale presentato da ACEA Ambiente (ACEA, 2020) nell'ambito della proposta di aggiungere una quarta linea di combustione. Per ottenere un risultato conservativo, sono stati utilizzati per le linee 2 e 3 in esercizio durante tutto il 2016, i flussi di massa indicati nella tabella dei valori di emissione che realizzano il limite emissivo autorizzato in AIA-VIT (2016).

Tabella 2.4 Caratteristiche punti di emissione L1, L2, L3 associati alle 3 linee attualmente autorizzate (dati emissivi 2018)

	Dati emissivi					
	altezza	temperatura	portata		velocità	Tenore di O2
	m	Kelvin	Nmc/h	mc/s	m/s	%
Linea I (L1)	50	404,55	87055,20	35,81	14,07	9,00
Linea II (L2)	50	405,45	114922,00	47,38	18,62	10,20
Linea III (L3)	50	404,25	110739,90	45,53	17,89	10,60

Tabella 2.5 Valori di emissione (Limiti autorizzati in AIA)

	Flussi di massa						
	Valori limiti di concentrazione	Linea L1		Linea L2		Linea L3	
	mg/Nmc	kg/h	g/s	kg/h	g/s	kg/h	g/s
Polvere totale (PTS)	3	0,313	0,0871	0,372	0,1034	0,346	0,0960
TOC	9	0,940	0,2612	1,117	0,3103	1,037	0,2879
HCl	8	0,836	0,2321	0,993	0,2758	0,921	0,2559
HF	1	0,104	0,0290	0,124	0,0345	0,115	0,0320
SO ₂	40	4,179	1,1607	4,965	1,3791	4,607	1,2797
NO _x	70	7,313	2,0313	8,688	2,4134	8,062	2,2394
CO	40	4,179	1,1607	4,965	1,3791	4,607	1,2797
NH ₃	10	1,045	0,2902	1,241	0,3448	1,152	0,3199
IPA	0,01	0,001	0,0003	0,001	0,0003	0,001	0,0003
Hg	0,05	0,005	0,0015	0,006	0,0017	0,006	0,0016
Cadmio (Cd)	0,05	0,005	0,0015	0,006	0,0017	0,006	0,0016
	ug/Nmc	g/h	mg/s	g/h	mg/s	g/h	mg/s
Diossine e furani	1.04E-05	2,90E-06	1,24E-05	3,45E-06	1,04E-05	1,15E-05	3,20E-06
PCB-DL	1.04E-05	2,90E-06	1,24E-05	3,45E-06	1,04E-05	1,15E-05	3,20E-06

Fonte - (ACEA, 2020).

RIFERIMENTI e DOCUMENTAZIONE

- AIA-COL 2015: Impianto COLACEM. Relazione istruttoria. ARPA Molise, rev.0.0, giugno 2015; pagg.50.
- AIA-COL 2017: Impianto COLACEM. Relazione istruttoria per il riesame dell'Autorizzazione Integrata Ambientale. ARPA Molise, rev.1.2, ottobre 2017; pagg.43.
- AIA-HER 2013: Impianto HERAMBIENTE. Relazione istruttoria. Centrale elettrica cogenerativa WTE di Pozzilli (IS). ARPA Molise, rev.0.0, giugno 2015; pagg.34.
- AIA-VIT 2016: Impianto San Vittore. Allegato tecnico alla Determinazione Regione Lazio N. G00063 del 13/1/2016 avente Oggetto: A.R.I.A. (Acea Risorse e impianti per l'ambiente) S.r.l. - Rinnovo Autorizzazione Integrata Ambientale rilasciata con Decreto Commissariale n. 72 del 25 luglio 2007 e s.m.i. - Impianto di termovalorizzazione in località Valle Porchio della frazione di San Cesareo in comune di San Vittore del Lazio. Pagg.31.
- BUR Molise, n.15, 2009, BOLLETTINO UFFICIALE DELLA REGIONE Determinazione Dirigenziale n. 287 del 1° luglio 2009 — Società: "ENERGONUT - S.p.A." — Autorizzazione ordinaria definitiva per la gestione dell'impianto di coincenerimento, ubicato in Pozzilli (IS) al Nucleo Industriale "ISERNIA-VENAFRO".
- BUR Molise, n.30, 2009, BOLLETTINO UFFICIALE DELLA REGIONE Determinazione Dirigenziale n. 310/2009 – Società: "ENERGONUT - S.p.A." — Autorizzazione ordinaria definitiva per la gestione dell'impianto di coincenerimento, ubicato in Pozzilli (IS), NUCLEO INDUSTRIALE "Isernia - Venafro" — RETTIFICA determina dirigenziale n. 287 del 1° luglio 2009.
- BUR Molise, n.24, 2013, BOLLETTINO UFFICIALE DELLA REGIONE Decreto n. 5 del 14/03/2013 Piano regionale di monitoraggio per la ricerca di diossine, PCB diossina-simili e PCB non diossina-simili in alimenti di origine animale.
- Determinazione Provinciale (Isernia) n.171 del 27/12/2007. Impianto COLACEM. Proroga della Deroga limiti emissioni in atmosfera.
- PMA-HER, 2010. Piano di monitoraggio ambientale ai sensi dell'Autorizzazione ordinaria definitiva per la gestione dell'Impianto di coincenerimento, della Società Energonut S.p.A. espressa con Determinazione Dirigenziale n. 287 del 1 luglio 2009, modificata dalla Determinazione Dirigenziale n. 310 del 31 luglio 2009. Giugno 2010
- SIGAS, 2015: Sportello Informativo per la Giustizia Ambientale e Sociale, report SIGAS su cinque casi studio di conflitto ambientale in Italia. Coordinamento a cura di Lucie Greyl e Salvatore Altiero. Pagg.125.

Appendice A.4

Mappe di concentrazione

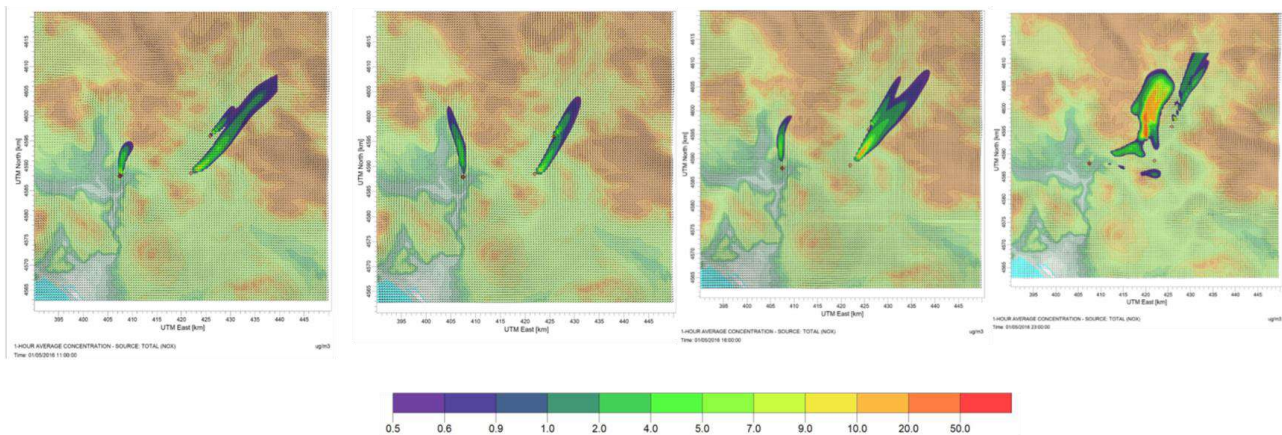
A.4.1 Mappe di concentrazione oraria

Le mappe di concentrazioni al suolo oraria mostrano come i pennacchi di fumo emessi dagli impianti industriali si disperdano ora per ora in aria seguendo la meteorologia e impattando diverse zone del territorio.

La Figura A.4.1 mostra a titolo di esempio le ricadute al suolo dei 3 impianti l'1/05/2016 a diversi step temporali. Le frecce nere indicano la direzione e l'intensità del vento e le diverse colorazioni indicano i diversi livelli di concentrazione stimati al suolo. È evidente come il vento sia altamente disomogeneo oltre che negli orari scelti che nella distribuzione nell'area di studio con aree a maggiore intensità di vento e altre di calma. Le aree investite dalle ricadute dipendono dalle condizioni meteorologiche e possono essere più o meno estese, con aree di sovrapposizione tra le concentrazioni associate ai diversi impianti. I valori di concentrazione sono dell'ordine delle decine di $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e raggiungono i valori più bassi nelle ore centrali della giornata dove è maggiormente attivo il rimescolamento verticale e i valori più alti oltre $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in alcune zone alle ore H 23:00 in condizioni di stabilità notturna.

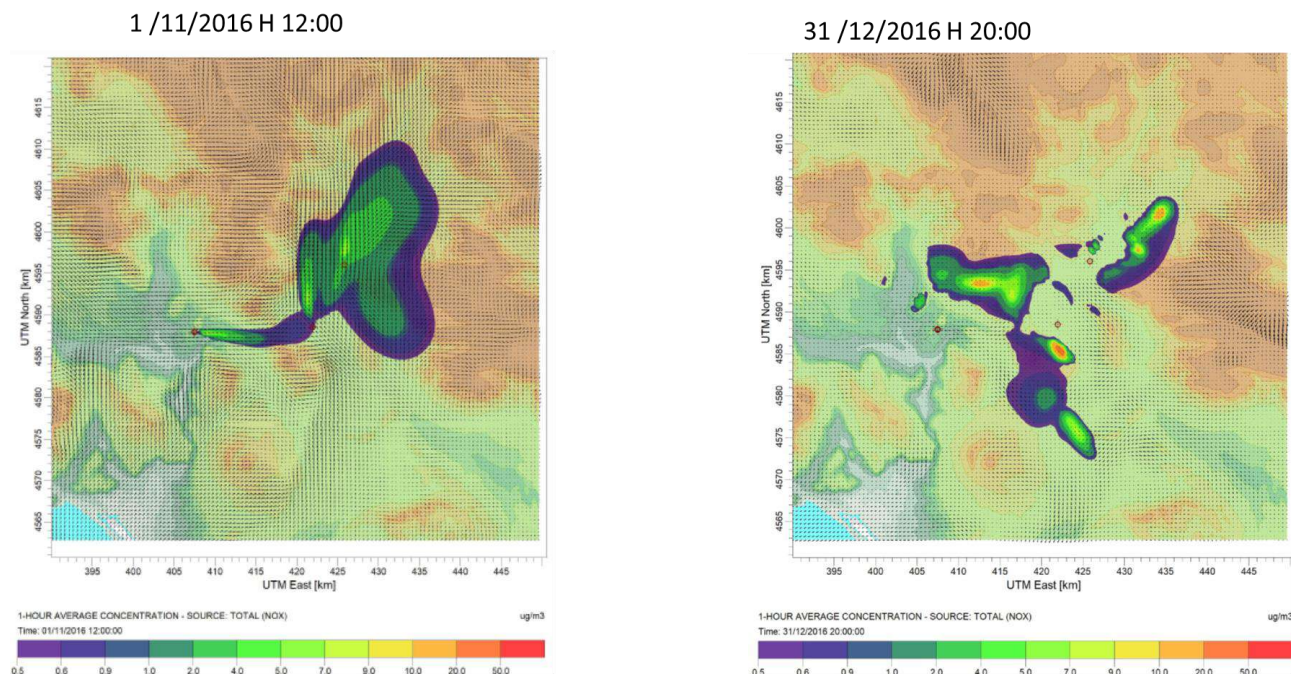
Figura A.4.1 Mappe di concentrazione oraria al suolo NO_x ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

1 Maggio 2016 – H 11.00 H 12.00 H 18 H 23



Analogamente la Figura A.4.2 mostra le ricadute al suolo in due giorni e orari differenti con distribuzione di concentrazioni e ree investite differenti.

Figura A.4.2 Mappe di concentrazione oraria al suolo NO_x (µg/m³).



A.4.2 Mappe di concentrazione singoli impianti

Di seguito sono mostrate le mappe di concentrazione media annua dei singoli impianti. Si vede come la distribuzione delle concentrazioni medie legate al cementificio (Figura A.4.3) e quelle legate al termovalorizzatore di Herambiente (Figura A.4.4) siano prevalentemente lungo l'asse della valle con i valori massimi a ridosso dei rilievi montuosi. Differente la distribuzione media delle concentrazioni legate all'impianto di San Vittore (Figura A.4.5) i cui valori di concentrazione più alti in media sono nei dintorni dell'impianto.

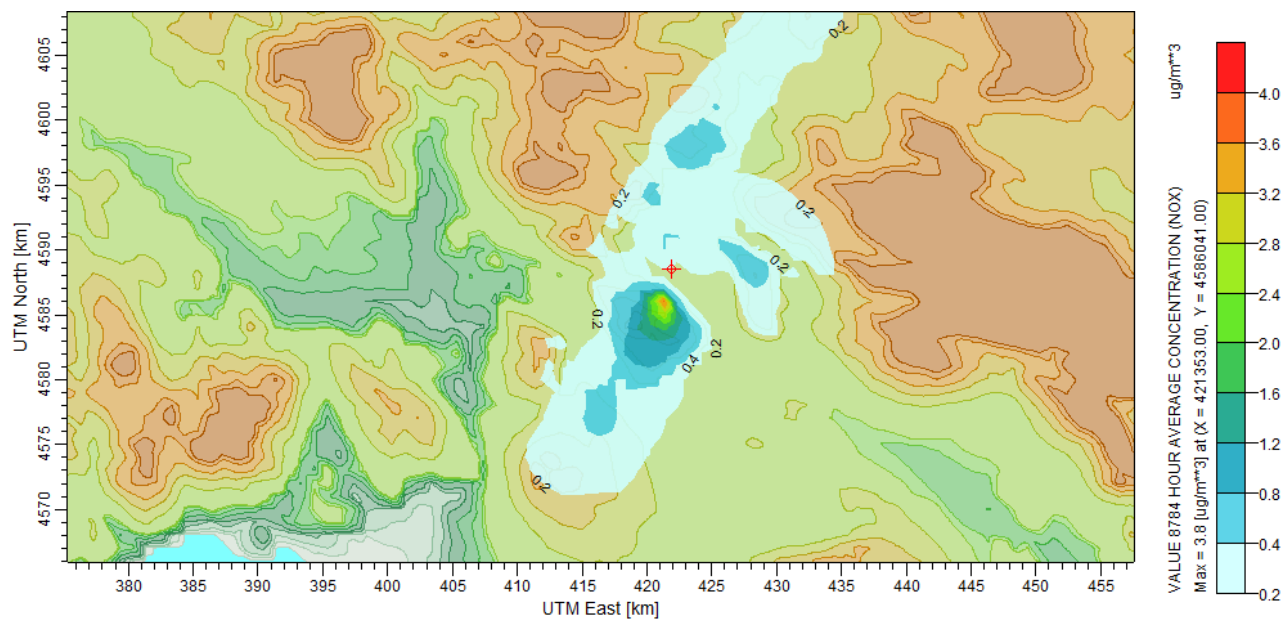
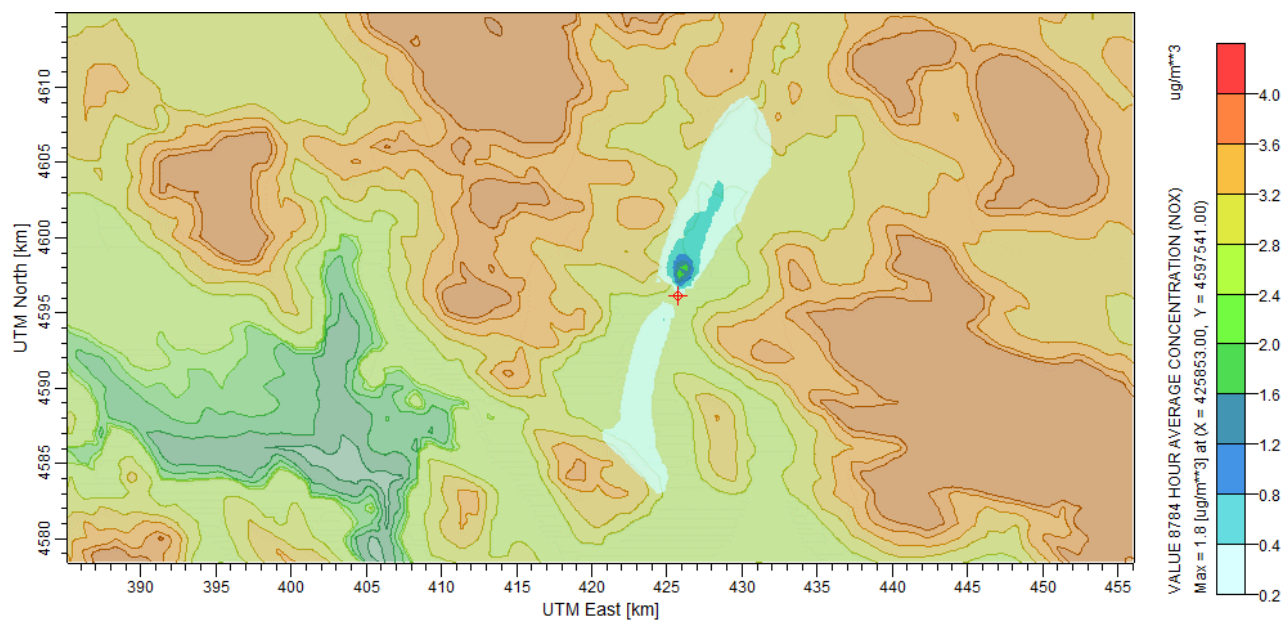
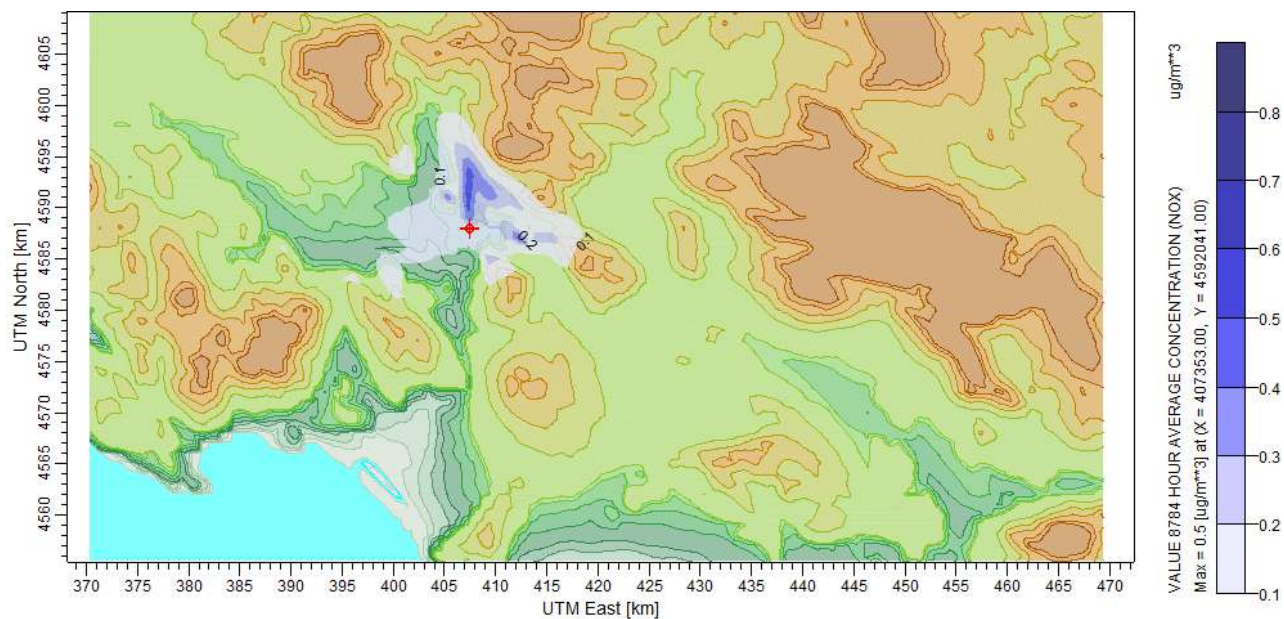
Figura A.4.3 Cementeria Colacem. Mappe di concentrazione media annua al suolo NO_x ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).**Figura A.4.4 Termovalorizzatore Herambiente. Mappe di concentrazione media annua al suolo NO_x ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).**

Figura A4.4 Termovalorizzatore San Vittore. Mappe di concentrazione media annua al suolo NO_x ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).



Comune di Venafro

SEZIONE 3 – Attività di comunicazione **e rapporto col territorio**

Studio EPIVenafro+7

**Realizzazione di uno studio di coorte residenziale
basato sulla ricostruzione del profilo di mortalità e morbosità
in associazione con rischi ambientali**

Relazione finale

A cura di:

Cori Liliana

Laboratorio di Comunicazione in aree a rischio – Istituto di Fisiologia Clinica – Consiglio Nazionale delle Ricerche di Pisa

REGIONE MOLISE GIUNTA REGIONALE
Protocollo Arrivo N. 139330/2022 del 16-08-2022
Allegato 3 - Copia Documento

Relazione sulle attività di comunicazione e rapporto col territorio

Lo Studio “EPIVenafro+7, studio di coorte residenziale retrospettivo” ha previsto, tra le altre attività di cui è stato incaricato il gruppo di ricercatori di IFC-CNR, “attività di comunicazione e relazione con gli attori sul territorio” (obiettivo n.7 del Protocollo di studio, vedi documento Sintesi Protocollo di Studio).

Per la realizzazione di questa attività è stato redatto un documento dedicato, consegnato al committente nel febbraio 2020 “Piano di comunicazione dello Studio EPIVenafro+7”, composto dai seguenti capitoli:

Sommario

1. Metodologia

1.1 Le attività di comunicazione

1.2. Gestione delle attività di comunicazione

1-3- Struttura organizzativa

2- Analisi del contesto

2.1. Le conoscenze scientifiche

2.2. La comunicazione del rischio

2.3. La percezione del rischio

3. Obiettivi dell’attività di comunicazione

4. Definizione del target di audience – i destinatari

5. Il messaggio – la scelta dei contenuti

6. Canali, strumenti e attività di comunicazione

7. Valutazione dell’efficacia della comunicazione

8. Bibliografia

Come usuale pratica il Piano di comunicazione è un documento in evoluzione, che si aggiorna nel corso delle attività di studio. Il primo elaborato è dunque contrassegnato dalla sigla “versione 0”, che denota lo stato iniziale del documento, che avvia la discussione e la realizzazione in collaborazione con le parti da coinvolgere. Il Piano di comunicazione consegnato a febbraio 2020 è stato esaminato ma mai commentato e avviato, presumibilmente per il sopravvenire della pandemia da Covid-19, che impediva di pianificare le attività di progetto e ha comportato un obiettivo ritardo nella realizzazione delle attività.

Sono state mantenute le relazioni con i soggetti sul territorio già conosciuti prima dello Studio e risposto alle richieste pervenute dal febbraio 2020 ad oggi, sia in modo formale che informale. Sono

pervenute numerose richieste di informazioni da parte dei media locali, in particolare la testata Rai regionale, alcune testate on-line e radio locali, che hanno anche diffuso notizie non autorizzate, cioè registrazioni di telefonate della cui diffusione non era stata data comunicazione alla dott.ssa Cori. Le richieste e notizie riguardavano però unicamente i tempi del lavoro in corso. Non ci sono state possibilità di diffusione di notizie, informazioni e approfondimenti sullo Studio in programma.

Le conversazioni e gli incontri in cui si era approfondito il tema della comunicazione, con diversi soggetti sul territorio, segnalavano l'opportunità di coinvolgere le scuole come moltiplicatori di informazioni e come occasione di formazione e diffusione di notizie semplici e dirette alla comunità. Partendo da questo presupposto è stata fatta una mappatura delle scuole e a ottobre 2021 è stata elaborata una "Proposta di attività di informazione e formazione nelle scuole", consegnata al committente, dove si proponeva "In questa fase del progetto e considerando le disposizioni legate all'emergenza COVID-19, IFC e ISAC avanzano la proposta di svolgere tre lezioni di due ore ciascuna, in modalità remoto, durante l'anno scolastico 2021-2022. Ciascuna lezione prevede un massimo di didattica di una ora e una interazione con gli studenti. Un quarto incontro, da tenersi a distanza di almeno due mesi, può essere organizzato, se i docenti vorranno impegnarsi, per presentare elaborazioni fatte dai ragazzi sul tema ambiente e salute e sul territorio. Questo incontro finale di solito vede la presenza di soggetti esterni che possono essere gli amministratori locali e le associazioni di cittadini."

Si sono estese le proposte dettagliate nel documento all'Istituto onnicomprensivo A. Giordano (prof. D'Ambrosa) e alla Scuola secondaria di primo grado (prof. De Stavola).

Come risposta gli studenti dell'Istituto Giordano hanno richiesto un incontro per discutere dell'inquinamento presente nella Piana di Venafro, ospitando una conferenza in modalità remoto nella sede dell'Istituto A. Giordano.

La conferenza si è svolta nella mattinata del giorno 26 febbraio 2022.

Aperta da una presentazione elaborata dagli studenti, sono seguite le presentazioni a cura di IFC-CNR e ISAC-CNR, di Elisa Bustaffa, Fabrizio Bianchi, Cristina Mangia, Marco Cervino e Liliana Cori.

Concordando sull'utilità dell'iniziativa e apprezzando l'attività e l'interesse degli studenti si è stabilito d'accordo con il prof. D'Ambrosa di tenere due lezioni di approfondimento, rispettivamente sulla questione dell'impatto sulla salute degli inquinanti ambientali e sui modelli di diffusione degli inquinanti utilizzati dallo Studio EPIVenafro+7.

Il giorno 6 aprile 2022 si è svolta quindi una lezione a cura di IFC-CNR, con la partecipazione di Elisa Bustaffa, Fabrizio Bianchi e Liliana Cori.

Il giorno 18 maggio 2022 si è svolta una lezione a cura di ISAC-CNR, con la partecipazione di Cristina Mangia e Marco Cervino.

La valutazione da parte dei protagonisti degli eventi formativi è stata positiva (come si evince dalle email pervenute dopo le iniziative e dalle proposte fatte di ulteriori attività con gli studenti), e lascia aperta la possibilità di approfondimenti e di attività proattive da parte degli studenti a supporto della comunicazione dei risultati dello Studio EPIVenafro+7, anche nel corso dell'anno scolastico 2022-2023.

Nello schema consolidato per la comunicazione pubblica di studi di epidemiologia ambientale, illustrato nel documento Piano di comunicazione sopra ricordato, si prevede una linea di attività da svolgere da parte dei ricercatori e a cura delle istituzioni, con i cittadini singoli e associati, che possono contribuire alla costruzione della cittadinanza scientifica e al consolidamento di rapporti di fiducia tra le parti coinvolte.

REGIONE MOLISE GIUNTA REGIONALE
Protocollo Arrivo N. 139330/2022 del 16-08-2022
Allegato 3 - Copia Documento

