

RELAZIONE

ALLEGATO 3 - Valutazione di impatto sulla salute pubblica

Progetto HOOP “Impianto pilota per la pirolisi di plastiche miste” presso l'impianto di Versalis S.p.A. sito nel comune di Mantova - Studio di Impatto Ambientale

Presentato a:

Versalis S.p.A – Stabilimento di Mantova

Via Taliercio, 14
46100 Mantova (MN)

Inviato da:

Via Antonio Banfo 43, 10155 Torino, Italia

+39 011 23 44 211

Dicembre 2021



Indice

1.0	PREMESSA	7
2.0	METODOLOGIA DELLO STUDIO	8
3.0	RIFERIMENTI NORMATIVI	12
3.1	Aria	12
3.2	Flusso di deposizione al suolo	13
4.0	IDENTIFICAZIONE DEGLI INQUINANTI	14
4.1	Monossido di carbonio (CO)	14
4.1.1	Effetti sull'uomo e sull'ambiente.....	14
4.2	Ossidi di Azoto (NO _x).....	15
4.2.1	Effetti sull'uomo e sull'ambiente.....	15
4.3	Polveri sottili (PM ₁₀ e PM _{2,5}).....	16
4.3.1	Effetti sull'uomo e sull'ambiente.....	16
4.4	Acido cloridrico (HCl)	19
4.4.1	Effetti sull'uomo e sull'ambiente.....	19
4.5	Carbonio Organico Totale (COT).....	19
4.5.1	Effetti sull'uomo e sull'ambiente.....	20
4.6	Benzene	20
4.6.1	Effetti sull'uomo e sull'ambiente.....	20
5.0	IDENTIFICAZIONE DEI POTENZIALI BERSAGLI	21
6.0	DEFINIZIONE DELLE CONDIZIONI METEOCLIMATICHE E DEL REGIME DI EMISSIONE.....	23
6.1	Dati meteorologici	23
6.2	Sorgenti convogliate e areali.....	25
6.3	Scenari dello studio di ricaduta	26
6.3.1	Scenario di 'base-line'	27
6.3.2	Scenario alla massima capacità produttiva con progetto HOOP®.....	29
7.0	VALUTAZIONE DELLA DISPERSIONE ATMOSFERICA E DEL DEPOSITO AL SUOLO DEGLI INQUINANTI.....	31
7.1	Stima dei flussi di deposizione al suolo	33

7.1.1	Deposizione secca	34
7.1.2	Deposizione umida.....	34
7.1.3	Calcolo delle concentrazioni nel terreno	34
8.0	IDENTIFICAZIONE DEI PERCORSI DI MIGRAZIONE E DELLE VIE DI ESPOSIZIONE	35
8.1	Sorgenti di contaminazione.....	35
8.2	Percorsi di migrazione e vie di esposizione	35
8.3	Bersagli	36
8.4	Criteri generali dell'analisi di rischio	37
8.5	Il calcolo del rischio	38
8.6	Criteri di tollerabilità del rischio	39
8.7	Software di calcolo impiegati.....	39
8.8	Dati di ingresso – concentrazione alla sorgente	41
8.8.1	Concentrazioni nella matrice aria.....	41
8.8.2	Concentrazioni nella matrice suolo	42
8.9	Dati di ingresso - parametri di esposizione umana	42
8.10	Dati di ingresso – fattori di trasporto	43
8.11	Dati di ingresso – valori dei parametri chimico-fisici e tossicologici.....	44
9.0	STIMA DEL RISCHIO ASSOCIATO AL RECETTORE ESPOSTO	45
9.1	Calcolo del rischio tossico e cancerogeno	45
9.2	Scenario Industriale	46
9.3	Scenario Residenziale	49
9.4	Scenario Ricreativo	53
9.5	Scenario Agricolo	57
10.0	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	61

TABELLE

Tabella 1: Valori limite e obiettivo per la qualità dell'aria e livelli critici per la vegetazione (D.Lgs. 155/2010) ..	12
Tabella 2: Valori di riferimento definiti in letteratura tecnica.....	13
Tabella 3: Stazioni meteo ARPA Lombardia considerate per la ricostruzione delle caratteristiche meteorologiche dell'area	23
Tabella 4: Parametri geometrici delle sorgenti convogliate considerate	25

Tabella 5: Caratteristiche geometriche dei nuovi punti emissivi.....	26
Tabella 6: Flussi di massa delle sorgenti puntuali – Scenario di ‘base-line’	27
Tabella 7: Valori limite autorizzati.....	28
Tabella 8: Flussi di massa delle sorgenti puntuali – Scenario alla massima capacità produttiva con progetto HOOP®.....	29
Tabella 9: Valori limite autorizzati e previsti da Progetto.....	30
Tabella 10: Valori massimi calcolati mediante le simulazioni.....	32
Tabella 11: Vie di esposizione associate al singolo contaminante	36
Tabella 12: Concentrazioni in aria adottate nelle simulazioni	41
Tabella 13: Concentrazioni nel terreno adottate nelle simulazioni.....	42
Tabella 14: Fattori di esposizione utilizzati nelle simulazioni	43
Tabella 15: Parametri tossicologici desunti dalla banca dati ISS-INAIL di marzo 2018: Inhalation Unit Risk (IUR) e Reference Concentration (RfC).....	44
Tabella 16: Parametri tossicologici: Reference Concentration (RfC).....	44
Tabella 17: Calcolo del rischio per inalazione polveri da deposizione outdoor – scenario industriale	46
Tabella 18: Calcolo del rischio per inalazione vapori/polveri outdoor – scenario industriale	47
Tabella 19: Calcolo del rischio cumulato – Scenario industriale	48
Tabella 20: Calcolo del rischio per inalazione polveri da deposizione outdoor – scenario residenziale.....	49
Tabella 21: Calcolo del rischio per inalazione di vapori/polveri outdoor – scenario residenziale	50
Tabella 22: Calcolo del rischio cumulato – scenario residenziale.....	52
Tabella 23: Calcolo del rischio per inalazione polveri da deposizione outdoor – scenario ricreativo	53
Tabella 24: Calcolo del rischio per inalazione di vapori/polveri outdoor – scenario ricreativo	54
Tabella 25: Calcolo del rischio cumulato – scenario ricreativo.....	56
Tabella 26: Calcolo del rischio per inalazione polveri da deposizione outdoor – scenario agricolo	57
Tabella 27: Calcolo del rischio per inalazione di vapori/polveri outdoor – scenario agricolo	58
Tabella 28: Calcolo del rischio cumulato – scenario agricolo.....	59
Tabella 29: Schema di riepilogo delle elaborazioni eseguite per il calcolo del rischio cumulato – scenario industriale	62
Tabella 30: Schema di riepilogo delle elaborazioni eseguite per il calcolo del rischio cumulato – scenario residenziale.....	62
Tabella 31: Schema di riepilogo delle elaborazioni eseguite per il calcolo del rischio cumulato – scenario ricreativo	63
Tabella 32: Schema di riepilogo delle elaborazioni eseguite per il calcolo del rischio cumulato – scenario agricolo	64

FIGURE

Figura 1: Approccio metodologico per la valutazione della distribuzione dell'inquinante nell'ambiente e del rischio sanitario.....	9
Figura 2: Fasi dell'analisi di rischio.....	11
Figura 3: Mappatura delle aree a destinazione d'uso diversa.....	21
Figura 4: Velocità del vento – Anno 2019.....	24
Figura 5: Direzione del vento – Anno 2019.....	24
Figura 6: Schema operativo del sistema Calmet-Calpuff-Calpost.....	31
Figura 7: Parametri per la deposizione secca delle polveri.....	34
Figura 8: Parametri per la deposizione umida delle polveri.....	34

ACRONIMI

ASTM: American Society for Testing and Materials

C_{POE}: Concentrazione nel punto di esposizione

CSC: Concentrazioni soglia di contaminazione

CSS: Combustibili Solidi Secondari

D.Lgs. 152/06: Decreto Legislativo n. 152 del 3 aprile 2006 "Norme in materia ambientale"

D.Lgs. 155/2010: Decreto Legislativo n. 155 del 13/08/2010 "Attuazione della direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa.

EM: Portata effettiva di esposizione

FT: Fattore di trasporto della migrazione dei contaminanti attraverso i vari comparti ambientali.

HI: Indice di pericolo per le sostanze non cancerogene

HI_{CUM}: Rischio per la salute umana dovuto alla cumulazione di più sostanze inquinanti per una o più vie di esposizione per sostanze non cancerogene

IATP: Inquinanti tossici e persistenti

INAIL: Istituto Nazionale per l'assicurazione contro gli infortuni sul lavoro

ISPRA: Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

ISS: Istituto Superiore di Sanità

IUR: Inhalation Unit Risk

Manuale ISPRA: Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati – revisione 2

R: valore di rischio per la singola sostanza cancerogena

R_{CUM}: Rischio per la salute umana dovuto alla cumulazione di più sostanze inquinanti per una o più vie di esposizione per sostanze cancerogene

RBCA: Risk-Based Corrective Action

RBSL: Risk Based Screening Levels

RECONNET: Rete Nazionale sulla gestione e la Bonifica dei Siti Contaminati

RfC: *Reference Concentration*, tossicità della sostanza per la via di esposizione inalazione, stima dell'esposizione continua a cui è sottoposto l'uomo che non produce effetti avversi durante tutto il corso della vita

RfD: *Chronic Reference Dose* o dose di riferimento, concentrazione soglia della sostanza che non comporta effetti negativi per la salute umana

SF: *Slope Factor*, probabilità di casi incrementali di tumore nella vita riferito ad una dose unitaria di una sostanza

SSTL: Site-Specific Target Levels

VIS: Valutazione di Impatto Sanitario

1.0 PREMESSA

Il presente documento illustra i risultati dell'approfondimento specialistico finalizzato alla valutazione degli effetti delle emissioni di inquinanti in atmosfera dallo stabilimento di Versalis S.p.A. ("Versalis") di Mantova, in via Talierno n.14 ("Stabilimento") a seguito dell'entrata in esercizio del nuovo impianto pilota denominato Progetto HOOP® sulla salute della popolazione esposta.

In sintesi, il Progetto HOOP® consiste nella realizzazione di un impianto Demo di pirolisi (capacità pari a circa 6000 t/a) alimentato da una materia prima seconda derivante da materiali plastici a fine uso opportunamente selezionati e trattati al fine di poter essere utilizzati come materia prima per la produzione di nuovi polimeri. Il Progetto prevede la realizzazione di 6 nuovi punti di emissione convogliata in atmosfera.

Il presente studio si basa sui risultati dello studio modellistico atto a valutare la ricaduta al suolo degli inquinanti emessi in atmosfera dallo Stabilimento a seguito dell'entrata in esercizio del Progetto HOOP®. A tale documento (Rel. 21493955/13366 ALLEGATO 1) si rimanda per una descrizione di dettaglio dell'analisi modellistica eseguita.

Questo studio è stato redatto in conformità a quanto richiesto dalla Provincia di Mantova e dalla Commissione Tecnica di Verifica dell'Impatto Ambientale – VIA e VAS (CTVA) nell'ambito del procedimento istruttorio riguardante la verifica di assoggettabilità alla procedura di Valutazione di Impatto Ambientale ("VIA") del Progetto HOOP® ai sensi dell'art. 19 del D. Lgs. 152/2006, a conclusione del quale la CTVA ha richiesto di sottoporre il Progetto HOOP® a procedura di VIA.

In particolare, al punto n. 6 della lettera Prot. GE 2021/0027041 del 10 maggio 2021 la Provincia di Mantova ha riportato quanto segue:

"6) per quanto riguarda gli impatti attesi sulla salute della popolazione, non è stato prodotto uno specifico approfondimento, redatto ai sensi delle "Linee guida per la componente salute pubblica negli studi di impatto ambientale (SIA) e negli studi preliminari ambientali (SPA)" di Regione Lombardia, approvate con Deliberazione della Giunta regionale in data 08/2/2016 – n. X/4792, in revisione delle "Linee guida per la componente ambientale salute pubblica degli studi di impatto ambientale" approvati con D.G.R. 20/01/2014 – n. X/1266. Alla luce delle osservazioni sopra formulate circa la valutazione effettuata dal proponente sugli effetti attesi sulla qualità dell'aria, che non ha evidenziato la significatività degli impatti generati già allo stato attuale dalle emissioni dell'intero stabilimento, si ritiene che la valutazione degli impatti attesi sulla salute della popolazione residente nell'intorno dello stabilimento sia opportuna."

Tali indicazioni sono state riprese dalla CTVA al punto n. 8 all'interno del Parere n. 240 emesso il 7 maggio 2021 trasmesso con Decreto n. 270 del 27/07/2021 come segue:

"8) per quanto riguarda la valutazione degli impatti attesi sulla salute della popolazione residente nell'intorno dello stabilimento, si rileva che manca un specifico approfondimento redatto ai sensi delle "Linee guida per la componente ambientale salute pubblica degli studi di impatto ambientale (SIA) e negli studi preliminari ambientali (SPA)" della Regione Lombardia, approvate con Deliberazione della Giunta regionale in data 08/2/2016 – n. X/4792, in revisione delle "Linee guida per la componente ambientale salute pubblica degli studi di impatto ambientale" approvati con D.G.R. 20/01/2014 – n. X/1266."

2.0 METODOLOGIA DELLO STUDIO

Lo studio è stato condotto ai sensi delle “Linee guida per la componente salute pubblica negli studi di impatto ambientale (SIA) e negli studi preliminari ambientali (SPA)” di Regione Lombardia, approvate con Deliberazione della Giunta regionale in data 08/2/2016 – n. X/4792 e, in particolare, seguendo l’approccio metodologico di tipo Tossicologico (Risk Assessment).

La previsione dell’impatto sulla salute è consistita in una Valutazione del Rischio sanitario, secondo il seguente iter procedurale:

- identificazione dei contaminanti tossici e persistenti emessi dalla sorgente;
- identificazione dei potenziali recettori;
- definizione del regime di emissione e delle principali caratteristiche in grado di influenzare il trasporto e la diffusione atmosferica;
- valutazione della diffusione atmosferica e del deposito al suolo degli inquinanti;
- identificazione dei percorsi di esposizione dei recettori esposti e quantificazione dell’esposizione stessa;
- stima del rischio associato al recettore esposto derivante da una sorgente a concentrazione nota. A partire dalla concentrazione della sorgente, tenendo conto dell’attenuazione dovuta ai fattori di trasporto e della tossicità delle sostanze, si valuta l’esposizione del recettore e, infine, si calcola il rischio ad esso associato.

L’obiettivo è di seguire il percorso dell’inquinante nei diversi comparti ambientali di interesse, dall’emissione fino al contatto con l’organismo umano; la stima dell’esposizione e del rischio viene condotta tenendo conto di tutte le vie (percorsi multipli d’impatto) con le quali i contaminanti possono raggiungere i recettori esposti. Nella valutazione della distribuzione ambientale delle sostanze emesse in atmosfera si è ricorsi all’utilizzo di modelli matematici per la descrizione dei principali fenomeni di trasporto e dispersione nell’ambiente.

La sequenza metodologica adottata (Figura 1), comprende due macro fasi:

- trasporto e diffusione degli inquinanti in atmosfera e deposizione al suolo (FASE 1);
- valutazione e stima del rischio sanitario (approccio tossicologico) (FASE 2).

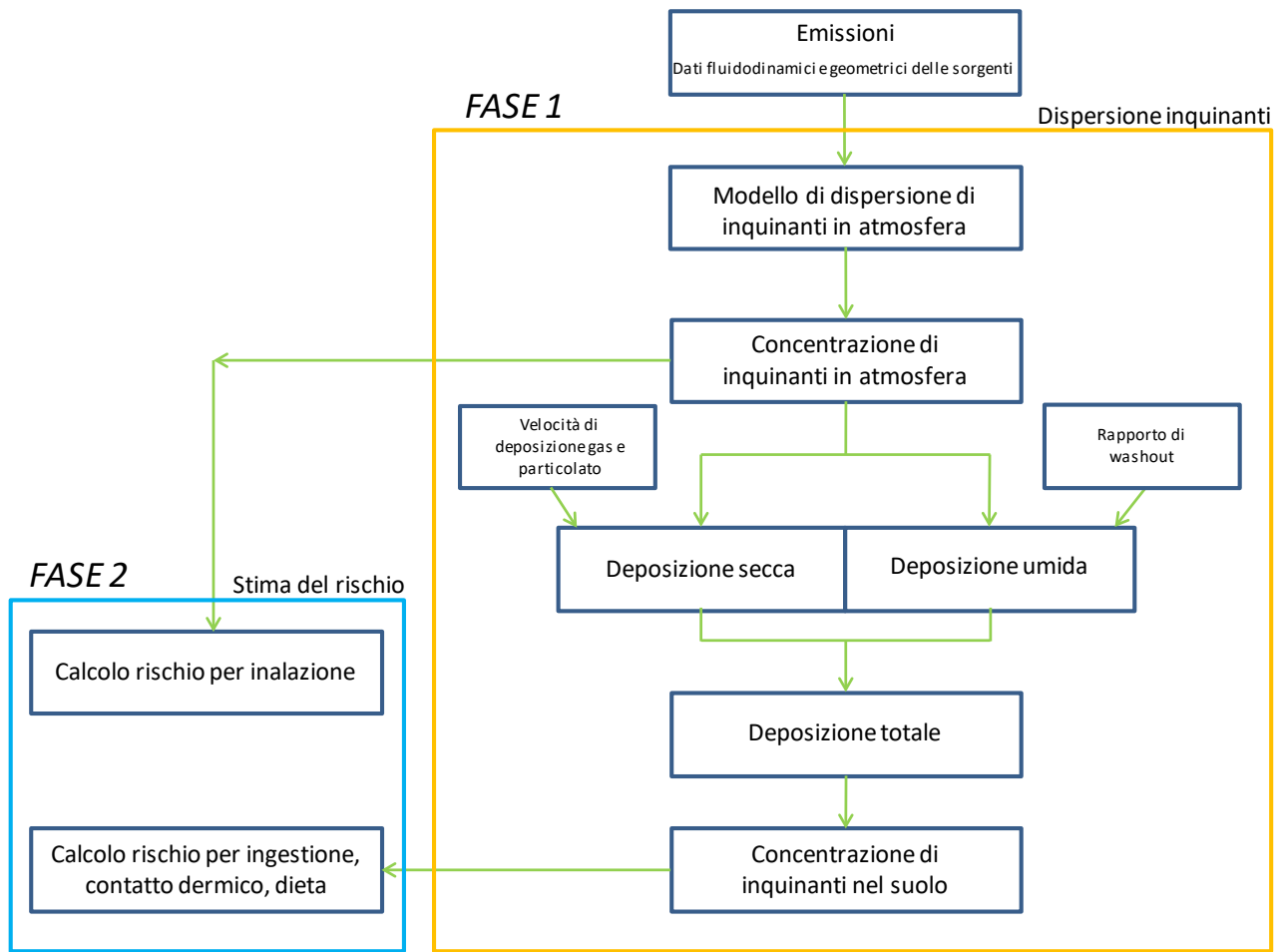


Figura 1: Approccio metodologico per la valutazione della distribuzione dell'inquinante nell'ambiente e del rischio sanitario.

Relativamente alla FASE 1, Golder ha redatto, come indicato in premessa, un documento tecnico che riporta i risultati di uno studio di dispersione di inquinanti in atmosfera emessi dal Sito. Lo studio di dispersione è stato condotto per gli inquinanti CO, NO_x, PM₁₀, HCl, COT, benzene.

Per il calcolo dei valori di ricaduta al suolo dei parametri considerati nello studio emessi dalle sorgenti convogliate e areali, sono stati considerati i seguenti scenari:

- **Scenario di 'base-line'**: flusso di massa emesso da ciascun camino corrispondente al prodotto della portata fumi e della concentrazione massima per ciascun parametro, secondo quanto previsto dall'autorizzazione vigente;
- **Scenario alla massima capacità produttiva con Progetto HOOP®**: flusso di massa emesso da ciascun camino corrispondente al prodotto della portata fumi autorizzata per la concentrazione massima autorizzata per ciascun parametro e le emissioni in atmosfera previste alla massima capacità produttiva dal Progetto HOOP®.

Lo studio di dispersione è stato condotto utilizzando come strumento di calcolo il software Calpuff. Le simulazioni con Calpuff sono state eseguite una volta definito il campo meteorologico attraverso l'ausilio del modello Calmet, mentre l'output di Calpuff è stato trattato con il software di postprocessamento Calpost.

Attraverso il modello di dispersione di inquinanti in atmosfera, per ciascun inquinante, sono stati calcolati i valori di concentrazione al livello del suolo negli opportuni termini medi e/o percentili necessari per effettuare i confronti con gli standard di qualità dell'aria ove previsti. Il calcolo dei valori di concentrazione al suolo degli inquinanti emessi dal Sito ha evidenziato il rispetto della legislazione vigente per tutti gli inquinanti considerati presso tutti i punti della griglia di calcolo e per tutti gli scenari considerati.

A partire dai risultati del modello, è stata calcolata la deposizione secca e umida degli inquinanti e successivamente i dati sono stati utilizzati per la FASE 2 dello studio.

L'elaborazione di un'analisi di rischio costituisce una procedura avanzata per la valutazione dei rischi per la salute umana e per l'ambiente circostante, connessi con l'inquinamento in oggetto.

L'approccio tossicologico ha seguito la procedura indicata in Figura 2.

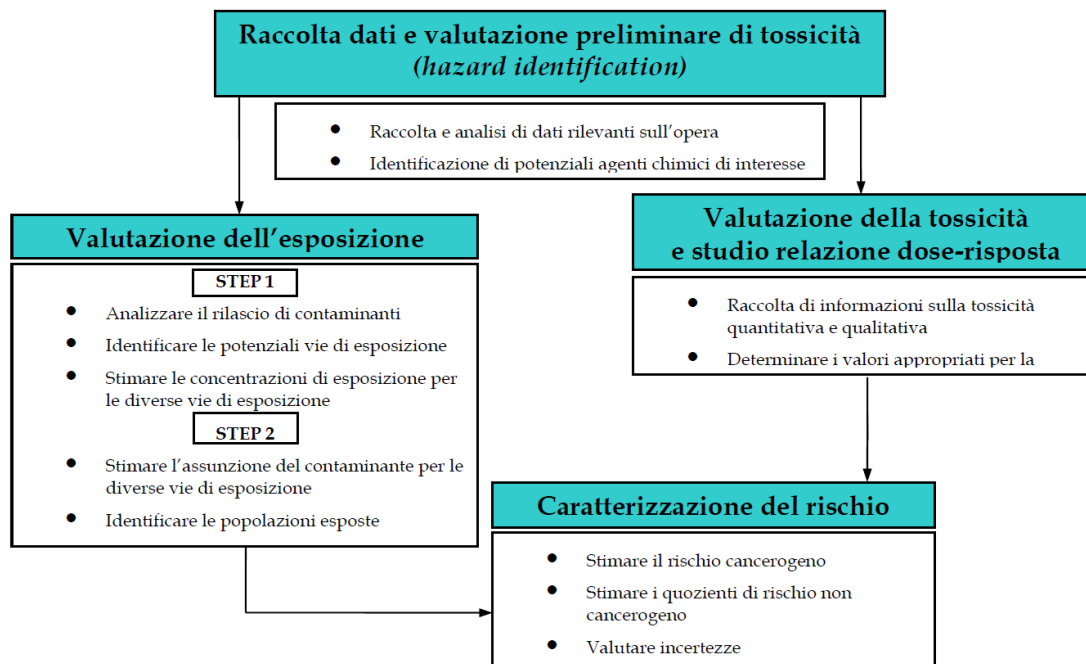


Figura 2: Fasi dell'analisi di rischio.

3.0 RIFERIMENTI NORMATIVI

3.1 Aria

Il principale riferimento normativo a livello nazionale in materia di qualità dell'aria è il D.lgs. 155/2010, entrato in vigore il 30 settembre 2010, e che recepisce la direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell'aria e per un'aria più pulita in Europa.

Con riferimento agli inquinanti esaminati nel presente studio, i valori limite per la tutela della qualità dell'aria e i livelli critici a protezione della vegetazione stabiliti dal D.Lgs. 155/2010, Allegato XI, sono indicati in **Tabella 1**.

Tabella 1: Valori limite e obiettivo per la qualità dell'aria e livelli critici per la vegetazione (D.Lgs. 155/2010)

Inquinante	Livello di concentrazione	Periodo di mediazione	Valore limite
CO	Valore limite per la protezione della salute umana	Media massima giornaliera calcolata su 8 ore	10 mg/m ³
NO ₂	Valore limite orario per la protezione della salute umana	1 ora	200 µg/m ³ da non superare più di 18 ¹ volte per anno civile
	Valore limite annuale per la protezione della salute umana	Anno civile	40 µg/m ³
NO _x	Livello critico annuale per la protezione della vegetazione	Anno civile	30 µg/m ³
PM ₁₀	Valore limite giornaliero per la protezione della salute umana	24 ore	50 µg/m ³ da non superare più di 35 ² volte per anno civile
	Valore limite annuale per la protezione della salute umana	Anno civile	40 µg/m ³
Benzene	Valore limite annuale per la protezione della salute umana	Anno civile	5 µg/m ³
COT	Valore limite annuale per la protezione della salute umana	Anno civile	/*
HCI	Valore limite annuale per la protezione della salute umana	Anno civile	/*

* Non disponibile

¹ Tale valore, calcolato su un intero anno di dati su base oraria, corrisponde al 99,8° percentile

² Tale valore, calcolato su un intero anno di dati su base giornaliera, corrisponde al 90,4° percentile

3.2 Flusso di deposizione al suolo

La Direttiva 2004/107/CE ha tra i suoi obiettivi la raccolta di informazioni sui flussi di deposizioni atmosferiche totali. Tuttavia, ancora non sono stati stabiliti dei valori limiti o dei valori obiettivo per le deposizioni atmosferiche totali e per i metalli e i semi-metalli nelle deposizioni.

Con riferimento agli inquinanti esaminati nel presente studio, si riporta, di seguito il valore di riferimento medio annuale (VRif) per il PM₁₀ desunto dalla letteratura tecnica in materia di ricaduta e di dispersione degli inquinanti atmosferici. È bene precisare che si tratta di un valore di riferimento non vincolante (non cogente), cioè un “valore obiettivo” definito per indirizzare l'eventuale applicazione di specifici ‘piani di tutela ambientale’. Il valore di deposizione presentato nella tabella successiva è espresso come contenuto totale in massa dell'inquinante considerato (mg o equivalenti), depositato sull'unità di superficie (m²) e nell'unità di tempo (d = giorno).

Tabella 2: Valori di riferimento definiti in letteratura tecnica

Inquinante	Unità di misura	Valore riferimento
PM ₁₀	mg/m ² d	350

4.0 IDENTIFICAZIONE DEGLI INQUINANTI

Lo studio di dispersione di inquinanti in atmosfera è stato condotto per gli inquinanti emessi dal Sito per i quali sono disponibili misure a camino delle concentrazioni e per i quali sono stabiliti valori limite di emissione (CO, NO_x, PM₁₀, HCl, COT, benzene).

Il presente studio sulla salute pubblica considera gli stessi inquinanti, per i quali si riporta di seguito una descrizione sintetica con un'analisi dei potenziali effetti pericolosi sull'uomo e sull'ambiente.

4.1 Monossido di carbonio (CO)

Il monossido di carbonio è un gas incolore, inodore, infiammabile, e molto tossico. Si forma durante le combustioni delle sostanze organiche, quando sono incomplete per difetto di aria (cioè per mancanza di ossigeno).

Il CO permane in atmosfera per circa 3-4 mesi e viene rimosso attraverso reazioni di ossidazione ad anidride carbonica o attraverso reazioni fotochimiche coinvolgenti il metano e i radicali OH. Per questa sua scarsa reattività viene spesso utilizzato come tracciante dell'andamento temporale degli inquinanti a livello del suolo.

4.1.1 Effetti sull'uomo e sull'ambiente

Il monossido di carbonio, essendo incolore, insapore, inodore e non irritante, rappresenta un inquinante molto insidioso, soprattutto nei luoghi chiusi dove si può accumulare in concentrazioni letali determinando morti accidentali senza che le vittime si rendano conto di quel che sta loro succedendo. Tali situazioni sono purtroppo frequenti e innumerevoli sono i casi di avvelenamento e gli incidenti anche mortali imputabili alle stufe o agli scaldabagni difettosi o non controllati. I primi sintomi dell'avvelenamento, oltre all'emicrania e al senso di vertigine, comprendono purtroppo uno stato di sonnolenza che sovente impedisce alle vittime di avvertire il pericolo e di areare il locale.

Una volta respirato, il CO si lega all'emoglobina con una affinità che è 220 volte superiore a quella dell'ossigeno, formando un composto fisiologicamente inattivo che viene chiamato carbossiemoglobina. Questa sostanza, al contrario dell'emoglobina, non è in grado di garantire l'ossigenazione ai tessuti, in particolare al cervello ed al cuore. La morte sopravviene pertanto per asfissia. Nel sangue è presente una percentuale di carbossiemoglobina che dipende dalla concentrazione di CO alla quale una persona è esposta: per ogni ppm di CO presente in aria, lo 0,16% di emoglobina viene trasformato in carbossiemoglobina; sono necessarie però alcune ore perché si raggiunga la massima saturazione, e in proporzione periodi di esposizione più brevi formano meno carbossiemoglobina. L'effetto del CO risulta maggiore in altitudine, per la ridotta percentuale di ossigeno nell'aria. In caso di intossicazione bisogna immediatamente portare all'aria aperta il soggetto colpito.

Sono considerate fisiologiche le concentrazioni di carbossiemoglobina minori dell'1% dell'emoglobina circolante nel sangue. Quando nell'aria la concentrazione di CO è di 12-31 ppm si arriva al 2-5% di carbossiemoglobina e si manifestano i primi segni con aumento delle pulsazioni cardiache, della frequenza respiratoria e comparsa di disturbi psicomotori (nei guidatori di auto si allungano in modo pericoloso i tempi di reazione). Un'esposizione a concentrazioni di 100 ppm per diverse ore (come nel caso di lunghe soste in gallerie stradali) comporta vertigini, cefalea e senso generale di spossatezza, che possono essere seguiti da collasso. Una concentrazione di CO nell'aria pari a 2000-4000 ppm (0,2%-0,4%) provoca la morte in circa 15 minuti, dopo aver portato alla perdita di conoscenza. In presenza di una concentrazione di 1000 ppm si sopravvive circa 90 minuti.

A causa del traffico automobilistico, la popolazione urbana è spesso soggetta a esposizioni a basse concentrazioni. La lenta intossicazione da monossido di carbonio prende il nome di ossicarbonismo e si manifesta con sintomi nervosi e respiratori.

L'esposizione a monossido di carbonio comporta, inoltre, l'aggravamento delle malattie cardiovascolari, un peggioramento dello stato di salute nelle persone sane ed un aggravamento delle condizioni circolatorie in generale.

Gli effetti sull'ambiente sono da considerarsi trascurabili.

4.2 Ossidi di Azoto (NO_x)

Pur essendo presenti in atmosfera diverse specie di ossidi di azoto, si fa quasi esclusivamente riferimento al termine NO_x che sta ad indicare la somma pesata del monossido di azoto (NO) e del biossido di azoto (NO₂).

Il monossido di azoto (NO) è un gas incolore, insapore ed inodore; è anche chiamato ossido nitrico. È prodotto soprattutto nel corso dei processi di combustione ad alta temperatura assieme al biossido di azoto (che costituisce meno del 5% degli NO_x totali emessi). Viene poi ossidato in atmosfera dall'ossigeno e più rapidamente dall'ozono producendo biossido di azoto. La tossicità del monossido di azoto è limitata, al contrario di quella del biossido di azoto che risulta invece notevole.

Il biossido di azoto è un gas tossico di colore giallo-rosso, dall'odore forte e pungente e con grande potere irritante; è un energico ossidante, molto reattivo e quindi altamente corrosivo. Esiste nelle due forme N₂O₄ (forma dimera) e NO₂ che si forma per dissociazione delle molecole dimere. Il colore rossastro dei fumi è dato dalla presenza della forma NO₂ (che è quella prevalente). Rappresenta un inquinante secondario dato che deriva, per lo più, dall'ossidazione in atmosfera del monossido di azoto. Il biossido di azoto svolge un ruolo fondamentale nella formazione dello smog fotochimico in quanto costituisce l'intermedio di base per la produzione di tutta una serie di inquinanti secondari molto pericolosi come l'ozono, l'acido nitrico, l'acido nitroso, gli alchilnitrati, i perossiacetilnitrati, e così via.

La concentrazione di fondo del monossido di azoto in atmosfera varia da 0,2 a 10 µg/m³; nell'aria inquinata la concentrazione di NO è in genere di 62-930 µg/m³ (50-750 ppb). Da notare che gli NO_x vengono per lo più emessi da sorgenti al suolo e sono solo parzialmente solubili in acqua: questo influenza notevolmente il trasporto e gli effetti a distanza.

Nel caso in cui l'inquinamento sia dovuto ad una casualità fortuita, la concentrazione dell'inquinante nell'aria cala rapidamente nel giro di 2-5 giorni: infatti l'ossido di azoto viene sempre rimosso per ossidazione. Nelle atmosfere inquinate in modo continuativo (in genere dagli autoveicoli) si assiste ad un ciclo giornaliero di formazione di inquinanti secondari: il monossido di azoto viene ossidato tramite reazioni fotochimiche (catalizzate dalla luce) a biossido di azoto; si forma così una miscela NO-NO₂, che raggiunge il picco di concentrazione nelle zone e nelle ore di traffico più intenso. Attraverso una serie di reazioni, ancora catalizzate dalla luce solare, si giunge alla formazione di ozono e di composti organici ossidanti (vedi smog fotochimico). Durante la notte queste sostanze decadono formando composti organici nitrati, perossidi ed aerosol acidi.

4.2.1 Effetti sull'uomo e sull'ambiente

L'azione sull'uomo degli ossidi di azoto è relativamente blanda; inoltre, a causa della rapida ossidazione a biossido di azoto, si fa spesso riferimento esclusivo solo a quest'ultimo inquinante, in quanto risulta molto più tossico del monossido.

Il biossido di azoto è un gas irritante per le mucose e può contribuire all'insorgere di varie alterazioni delle funzioni polmonari, bronchiti croniche, asma ed enfisema polmonare. I suoi effetti si manifestano generalmente parecchie ore dopo l'esposizione, così che spesso le persone non si rendono conto che il loro malessere è dovuto all'aria inquinata che hanno respirato. Lunghe esposizioni anche a basse concentrazioni di questo inquinante provocano una drastica diminuzione delle difese polmonari, con conseguente aumento di rischio di affezioni alle vie respiratorie.

Per il biossido di azoto l'Organizzazione Mondiale per la Sanità (OMS) raccomanda il limite guida orario di 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, il limite per la media annuale è invece 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Brevi esposizioni a 50-150 mg/m^3 provocano risentimenti polmonari; 100 mg/m^3 , inalati per 1 minuto, provocano notevoli danni al tratto respiratorio; concentrazioni di 300-400 mg/m^3 portano alla morte per fibrosi polmonare. Per un'esposizione di mezz'ora la concentrazione di 560 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ è la più alta concentrazione alla quale non si hanno effetti rilevabili.

Per quanto concerne gli effetti ambientali, il meccanismo principale di aggressione è rappresentato dall'acidificazione del suolo; gli inquinanti acidi causano un impoverimento del terreno per la perdita di ioni calcio, magnesio, sodio e potassio e conducono alla liberazione di ioni metallici tossici per le piante. L'abbassamento del pH compromette anche molti processi microbici del terreno, fra cui l'azotofissazione. Si stima che gli ossidi di azoto contribuiscano per il 30% alla formazione delle piogge acide (il restante è imputabile al biossido di zolfo e ad altri inquinanti, come illustrato nei paragrafi successivi). Il ben noto colore giallognolo delle foschie che ricoprono le città ad elevato traffico è dovuto al biossido di azoto.

L'impatto sulla vegetazione è di minore entità rispetto al biossido di zolfo. In alcuni casi, brevi periodi di esposizione a basse concentrazioni possono incrementare i livelli di clorofilla; lunghi periodi causano invece la senescenza e la caduta delle foglie più giovani.

Gli ossidi di azoto e i loro derivati danneggiano anche edifici e monumenti, provocando un invecchiamento accelerato in molti casi irreversibile.

4.3 Polveri sottili (PM₁₀ e PM_{2,5})

Il particolato atmosferico è una miscela complessa di particelle costituite da sostanze organiche e inorganiche condensate in fase liquida o solida. Queste particelle differiscono per composizione, origine e dimensioni. I principali costituenti sono rappresentati da solfati, nitrati, cloruro di sodio, carbonio, minerali, acqua, metalli e idrocarburi policiclici aromatici (IPA). Per la particolare struttura della superficie, le particelle possono anche adsorbire dall'aria sostanze chimiche cancerogene, e trascinandole nei tratti respiratori ne prolungano i tempi di residenza accentuandone gli effetti.

4.3.1 Effetti sull'uomo e sull'ambiente

L'inalazione è l'unico mezzo di esposizione per il particolato sospeso; una parte dell'aerosol inalato si deposita sulle superfici delle vie respiratorie mentre la rimanente porzione viene esalata. La respirazione orofaringea aumenta la porzione che si deposita nella parte polmonare e ciò accade spesso durante l'esercizio fisico e la conversazione (OMS, 2000). La tossicità delle particelle è funzione della loro composizione chimica e delle loro dimensioni, le quali determinano la profondità di penetrazione nelle vie respiratorie: nel processo della respirazione, le particelle maggiori di 15 μm vengono generalmente rimosse dal naso, mentre le particelle con un diametro aerodinamico compreso tra 2,5 e 10 μm (frazione grossolana del PM₁₀) sono in grado di penetrare nella parte superiore delle vie aeree e nei polmoni; le particelle più fini, ossia quelle con diametro aerodinamico inferiore a 2,5 μm (PM_{2,5}), penetrano invece più in profondità nei polmoni e possono raggiungere gli alveoli. Il particolato ultrafine, caratterizzato da un diametro inferiore a 0,1 μm , può addirittura entrare nel circolo sanguigno, con tutti i pericoli che questo può comportare.

Un aspetto importante legato alla tossicità del particolato sottile è che al momento non vi sono evidenze significative dell'esistenza di una soglia di tossicità, cioè di un valore di concentrazione al di sotto del quale non si manifestino effetti avversi sulla salute umana. Effetti avversi, infatti, sono stati evidenziati per livelli di concentrazione di PM_{2,5} di poco inferiori ai livelli di fondo ambientale (OMS, 2006).

Il particolato sottile aggrava le malattie respiratorie croniche come l'asma, la bronchite e l'enfisema. Le persone più vulnerabili sono gli anziani, gli asmatici, i bambini e chi svolge un'intensa attività fisica all'aperto, sia di tipo lavorativo che sportivo. Nei luoghi di lavoro più soggetti all'inquinamento da particolato, l'inalazione prolungata

di queste particelle può provocare reazioni fibrose croniche e necrosi dei tessuti che comportano una broncopneumite cronica accompagnata spesso da enfisema polmonare.

Il particolato che si deposita nel tratto superiore dell'apparato respiratorio (cavità nasali, faringe e laringe) può generare vari effetti irritativi come l'infiammazione e la secchezza del naso e della gola; tutti questi fenomeni sono molto più gravi se le particelle hanno assorbito sostanze acide (come il biossido di zolfo, gli ossidi di azoto, ecc.).

Una volta depositatesi nei polmoni, la maggior parte delle particelle sono rimosse attraverso vari meccanismi di eliminazione. Le particelle insolubili depositate su organi ciliati generalmente sono eliminate dalle vie respiratorie grazie all'attività mucociliare in 24-48 ore. L'eliminazione dalla regione polmonare può avvenire attraverso l'azione dei macrofagi alveolari o di meccanismi alternativi delle cellule epiteliali polmonari. Il tempo di dimezzamento delle particelle insolubili depositatesi nella regione polmonare può essere dell'ordine di settimane, mesi o persino anni.

Il particolato atmosferico, così come l'ozono o gli ossidi d'azoto, sviluppa una potente azione ossidante, sia attraverso un'azione diretta dei suoi costituenti su proteine e lipidi sia attivando le vie di ossidazione intracellulare (Brunekreef and Holgate 2002). Lo stress ossidativo determinato dalle polveri sottili sarebbe alla base delle associazioni tra esposizione a PM10 ed esacerbazione delle malattie polmonari e del cancro ai polmoni. Studi in vivo e in vitro hanno evidenziato che il particolato atmosferico determina potenti effetti proinfiammatori a carico delle cellule epiteliali e dei macrofagi alveolari.

L'interazione diretta di queste cellule con il particolato inalato determina l'attivazione delle vie di ossidazione e il rilascio dei mediatori dell'infiammazione (citochine, chemiochine, leucotrieni/prostaglandine) che comportano a loro volta un'estensiva migrazione di neutrofili e attivazione dei linfociti T. Questa risposta infiammatoria sistemica determina la stimolazione del sistema ematopoietico, in particolare del midollo osseo, risultando in un aumento dei leucociti circolanti e dei loro precursori. A breve termine il risultato è un danno tissutale acuto con l'attivazione della via del recettore per il fattore di crescita epidermico (EGFR, Epidermal Growth Factor Receptor) e di meccanismi di riparazione, il cui ripetersi in un ciclo danno-riparazione può portare allo sviluppo e alla cronicizzazione delle malattie respiratorie.

A livello cardiovascolare, il meccanismo d'azione del particolato non è ancora chiaro. Alcuni studi recenti indicano che le particelle fini e ultrafini possono interferire con il processo di coagulazione del sangue e di conseguenza con lo sviluppo di aterosclerosi e trombosi. Questi effetti potrebbero essere dovuti al rilascio di mediatori solubili dai polmoni o alla diretta traslocazione delle particelle più fini all'interno del sistema circolatorio. Un altro meccanismo ipotizzato riguarda la capacità del particolato di indurre ipertrofia muscolare nel cuore, il che aumenta la probabilità di infarto.

Le evidenze epidemiologiche riguardanti gli effetti avversi sulla salute in seguito a esposizione a PM10 riguardano l'esposizione sia a breve che a lungo termine. Lo studio di mortalità APHEA-2 (Air Pollution and Health: an European Approach) ha coperto una popolazione di oltre 43 milioni di persone in 29 città europee. I risultati (Atkinson et al., 2001) indicavano che, per un aumento di PM10 pari a $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, la mortalità totale aumentava dello 0,6% (95% CI 0,4-0,8), quella per le malattie cardiovascolari dello 0,76% (95% CI 0,47-1,05) e quella per cause respiratorie dello 0,58% (95% CI 0,21-0,95) (Analitis et al., 2006). Inoltre, sempre un incremento di PM10 pari a $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ era associato ad un aumento dei ricoveri ospedalieri per asma e malattie polmonari croniche dell'1% (95% CI 0,4-1,5) e di quelle cardiovascolari di circa lo 0,5% (95% CI 0,2-0,8).

Recentemente sono stati resi pubblici i risultati di uno studio sugli effetti del PM10 e ozono relativo a 13 città Italiane per un totale di quasi 9 milioni di persone (Martuzzi et al., 2006). Le concentrazioni di PM10 (esprese come media annua) in queste città, per il periodo 2002-2004, variavano tra 26,3 (Trieste) e $61,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Verona); a Milano la media per lo stesso periodo era di $57,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Secondo questo studio 8220 morti all'anno sono

attribuibili a concentrazioni di PM10 superiori a $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, e questo numero di decessi corrisponde al 9% della mortalità totale della popolazione sopra i trent'anni (escludendo i decessi per incidenti). Se si considerano solo i decessi per cancro al polmone la percentuale attribuibile al PM10 sale all'11,6%, mentre per l'infarto si arriva al 19,8%.

Esposizioni su lungo periodo a particolato atmosferico possono determinare una riduzione notevole della aspettativa di vita (OMS, 2006), soprattutto a causa dell'aumento della mortalità per malattie cardio-polmonari e per il cancro al polmone. L'esposizione a lungo termine sembra essere associata oltre che alla riduzione della aspettativa di vita, a un aumento della mortalità infantile, delle bronchiti croniche e della percentuale dei malati cronici di malattie ostruttive (COPD), alla riduzione della funzionalità polmonare e probabilmente ad anche altri effetti cronici.

Prove significative degli effetti su lungo periodo dell'esposizione al particolato hanno trovato riscontro anche in numerosi altri studi. In quelli condotti dell'American Cancer Society (Pope et al., 2002), l'esposizione a lungo termine al particolato fine era associata alla mortalità per tutte le cause, a quella per il cancro ai polmoni e alla mortalità per malattie cardiopolmonari. Per un incremento di $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ di PM2,5 venivano osservati aumenti del rischio di mortalità per tutte le cause, per cancro ai polmoni o per eventi cardiopolmonari rispettivamente del 4, 6 e 8%. In questi studi, né la frazione grossolana del particolato (PM10-2,5) né il particolato totale sospeso (PM10) risultavano invece associati in modo consistente agli effetti sopra menzionati.

In uno studio (Miller et al., 2007) condotto su donne in post-menopausa senza una storia pregressa di malattie cardiovascolari in 36 aree metropolitane degli Stati Uniti, è risultato che l'esposizione a lungo termine a particolato fine era correlata con l'incidenza della malattia cardiovascolare e la mortalità fra le donne in post-menopausa. Un aumento di $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ di PM2,5 era associato a un aumento del 24% nel rischio di evento cardiovascolare e un aumento del 76% del rischio di morte per malattia cardiovascolare. Il rischio di eventi cerebrovascolari risultava anch'esso associato con l'aumento dei livelli di PM2,5. Un altro studio (Downs et al., 2007) ha inoltre dimostrato che piccole riduzioni nell'esposizione a PM10 producono benefici misurabili nella funzione polmonare; inoltre, il declino della funzione polmonare è risultato avere un andamento essenzialmente lineare per un range compreso tra i 5 e $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$, quindi che si estende di sotto dei valori limite stabiliti dalle organizzazioni internazionali.

Secondo le valutazioni della OMS, gli effetti dell'esposizione a breve termine su mortalità e morbilità sono tali che, in una popolazione di 1 milione di persone, l'esposizione per tre giorni ad una concentrazione di PM10 pari a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ causa un lieve aumento di decessi e ricoveri ospedalieri per problemi respiratori, ma un aumento (4000-5000 individui) estremamente significativo dei soggetti che subiscono un peggioramento dei sintomi respiratori e necessitano di cure. L'effetto, invece, dell'esposizione a lungo termine di un incremento di $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ di PM2,5 causa 3350 nuovi casi all'anno di bronchite e 4000 nuovi casi di diminuita funzione polmonare in una popolazione di 200.000 bambini.

Gli effetti del particolato sul clima e sui materiali sono piuttosto evidenti. Il particolato dei fumi e delle esalazioni provoca una diminuzione della visibilità atmosferica; allo stesso tempo diminuisce anche la luminosità, assorbendo o riflettendo la luce solare. Negli ultimi 50 anni si è notata una diminuzione della visibilità del 50%, ed il fenomeno risulta tanto più grave quanto più ci si avvicina alle grandi aree abitative ed industriali. Le polveri sospese favoriscono la formazione di nebbie e nuvole, costituendo i nuclei di condensazione attorno ai quali si condensano le gocce d'acqua. Di conseguenza favoriscono il verificarsi dei fenomeni delle nebbie e delle piogge acide, che comportano effetti di erosione e corrosione dei materiali e dei metalli. Il particolato inoltre danneggia i circuiti elettrici ed elettronici, imbratta gli edifici, contamina le opere d'arte e riduce la durata dei tessuti. Le polveri possono depositarsi sulle foglie delle piante e formare così una patina opaca che, schermata la luce, ostacola il processo della fotosintesi.

Gli effetti del particolato sul clima della terra sono invece piuttosto discussi. Sicuramente un aumento del particolato in atmosfera comporta una diminuzione della temperatura terrestre per un effetto di riflessione e schermatura della luce solare, in ogni caso tale azione è comunque mitigata dal fatto che le particelle riflettono anche le radiazioni infrarosse provenienti dalla terra. È stato comunque dimostrato che negli anni immediatamente successivi alle più grandi eruzioni vulcaniche di tipo esplosivo (caratterizzate dalla emissione in atmosfera di un'enorme quantità di particolato) sono seguiti degli anni con inverni particolarmente rigidi. Alcune ricerche affermano che un aumento di 4 volte della concentrazione del particolato in atmosfera comporterebbe una diminuzione della temperatura globale della terra pari a 3,5°C.

4.4 Acido cloridrico (HCl)

L'acido cloridrico è un composto chimico appartenente al gruppo degli idracidi formato da idrogeno e cloro. Si scioglie facilmente in acqua. È uno dei liquidi più corrosivi esistenti. A temperatura ambiente si presenta allo stato gassoso incolore, passa allo stato liquido a -85°C ed allo stato solido a -114,2°C. La miscela di acido cloridrico ed acqua genera un acido forte (acido muriatico) in grado di reagire con gli ossidi metallici.

In natura ha origine dalle eruzioni vulcaniche ed è uno dei componenti del succo gastrico nei mammiferi. L'acido cloridrico è anche uno dei residui dei processi di combustione che coinvolgono la materia organica e il cloro ed è pertanto presente in atmosfera. La produzione mondiale industriale di acido cloridrico è stimata intorno a venti milioni di tonnellate annue. La sintesi dell'acido cloridrico è destinata prevalentemente alla lavorazione della gomma, dei metalli e delle plastiche.

L'acido cloridrico è classificato come inquinante atmosferico poiché si tratta di un composto altamente pericoloso, caustico e irritante, dannoso per la salute umana.

4.4.1 Effetti sull'uomo e sull'ambiente

L'inalazione acuta di vapori di acido cloridrico può causare immediatamente tosse, faringodinia e raucedine, dolore toracico costrittivo, fino al soffocamento, tachicardia e la comparsa di cianosi a livello labiale e cutaneo, specie alle dita. Effetti più gravi comprendono bruciore o infiammazione della trachea e delle vie aeree, tosse con emottisi ed edema polmonare. L'esposizione prolungata ai vapori di acido cloridrico può causare gravi danno polmonari, sino alla bronchite cronica. Altri segni e sintomi includono gastrite, lesioni della trachea (osservate, secondo lo US EPA, anche su roditori da laboratorio esposti a vapori di questo acido), della cavità nasale e della laringe, fotosensibilità, insufficienza circolatoria, fino a determinare la morte del soggetto esposto. L'US EPA afferma che "non sono disponibili informazioni sugli effetti cancerogeni di acido cloridrico in esseri umani".

4.5 Carbonio Organico Totale (COT)

Gli idrocarburi non metanici sono composti organici a base di carbonio ed idrogeno di natura alifatica (catena lineare o ramificata) o aromatica (catene cicliche). Assieme agli ossidi di azoto, costituiscono i "precursori" dell'ozono troposferico.

Nelle aree urbane, la loro concentrazione in atmosfera è direttamente correlabile al traffico veicolare. È, tuttavia, un indicatore "grezzo": identificando le varie componenti chimiche che lo costituiscono, è possibile ottenere una maggior quantità di informazioni relativamente al grado di inquinamento ambientale.

Tra gli idrocarburi rivestono importanza i VOC (Composti Organici Volatili) cioè un insieme di composti di natura organica caratterizzati da basse pressioni di vapore a temperatura ambiente, che si trovano quindi in atmosfera principalmente in fase gassosa. Il numero dei composti organici volatili osservati in atmosfera, sia in aree urbane sia remote, è estremamente alto e comprende oltre agli idrocarburi volatili semplici anche specie ossigenate quali chetoni, aldeidi, alcoli, acidi ed esteri. Le emissioni naturali dei VOC provengono dalla vegetazione e dalla degradazione del materiale organico; le emissioni antropiche, invece, sono principalmente dovute alla

combustione incompleta degli idrocarburi ed all'evaporazione di solventi e carburanti. Il principale ruolo atmosferico dei composti organici volatili è connesso alla formazione di inquinanti secondari. In particolare, di maggiore interesse in campo atmosferico a causa del loro importante ruolo nella formazione di specie ossidanti, è la classe degli alcheni, fra cui l'isoprene e i monoterpeni, composti particolarmente reattivi emessi naturalmente dalle piante. I veicoli a benzina contribuiscono più degli altri alle emissioni di idrocarburi, essendo la benzina una miscela di idrocarburi semplici e molto volatili.

4.5.1 Effetti sull'uomo e sull'ambiente

Gli idrocarburi interferiscono sui processi respiratori ed irritano gli occhi; inoltre, alcuni idrocarburi policiclici aromatici sono cancerogeni. Il solo idrocarburo che eserciti un effetto dannoso sulle piante è l'etilene: esso rallenta la loro crescita interferendo con gli ormoni che ne regolano il metabolismo.

Gli idrocarburi non metanici hanno una spiccata tendenza a reagire, in presenza di luce, con gli ossidi d'azoto e con l'ossigeno per dare origine allo smog fotochimico (tanto che il limite riportato dal DPCM 28/03/1983 non aveva un significato sanitario, ma doveva essere considerato un riferimento da non superare per limitare il fenomeno dello smog fotochimico e contenere la produzione di ozono).

4.6 Benzene

Il benzene a temperatura ambiente si presenta come un liquido incolore che evapora all'aria molto velocemente ed è altamente infiammabile. Rappresenta la sostanza aromatica con la struttura molecolare più semplice e per questo lo si può definire il composto-base della classe degli idrocarburi aromatici.

Componente dei derivati del petrolio e del petrolio greggio ha una diffusione ubiquitaria in atmosfera a causa di: eventi naturali (incendi dei boschi o fuoriuscita di gas dai vulcani); attività umane ed industriali che utilizzano petrolio greggio e suoi derivati come combustibili o per la produzione di lubrificanti, solventi e collanti; gas di scarico di veicoli a motore, alimentati a benzina. Il benzene, infatti, insieme ad altre sostanze come toluene e xilene, viene aggiunto alla benzina verde come antidetonante in sostituzione del piombo tetraetile usato in precedenza ed eliminato per i suoi effetti tossici. Il benzene costituisce circa l'80% delle emissioni totali nell'aria dove, in pochi giorni, si degrada reagendo con altri composti.

Il benzene, inoltre, può anche contaminare l'acqua a causa della diffusione nell'ambiente di sostanze derivate dal petrolio o per la presenza di scarichi prodotti da specifici impianti industriali (come industrie chimiche o fonderie).

4.6.1 Effetti sull'uomo e sull'ambiente

Il benzene è un riconosciuto agente cancerogeno per l'uomo. L'intossicazione acuta da benzene non avviene di frequente. Il benzene inalato è facilmente assorbito nei polmoni. Si accumula nel tessuto adiposo, midollo osseo, sangue e fegato, dove viene metabolizzato per essere eliminato nelle urine e nell'aria espirata. I "bersagli" della intossicazione acuta del benzene nel corpo umano sono, quindi, il sistema nervoso ed il cuore.

Periodi di esposizione di maggiore durata e a basse dosi di benzene hanno effetti sul sangue (sistema emopoietico). Il benzene, infatti, provoca tossicità al midollo osseo (produttore delle cellule del sangue), causando una riduzione dei globuli rossi e bianchi con conseguente anemia. Può anche determinare sanguinamenti ed effetti sul sistema immunitario aumentando, così, il rischio di contrarre un'infezione. Esposizioni a lungo termine (croniche) al benzene possono, inoltre, provocare varie forme di leucemia. Gli effetti sulla salute nei bambini, fino ad oggi, sono ritenuti simili a quelli riscontrati negli adulti.

5.0 IDENTIFICAZIONE DEI POTENZIALI BERSAGLI

Il sito in cui è prevista la realizzazione delle opere in progetto è situato all'interno dell'area dello stabilimento Versalis (Stabilimento) nel territorio comunale di Mantova sulla riva sinistra del fiume Mincio, a circa 5 km dal centro della città.

Lo Stabilimento si estende su una superficie di 125 ettari dei quali 116 sono occupati da impianti e si avvale di un'efficiente rete di collegamenti (strade, ferrovia, fiume navigabile, pipeline), attraverso la quale sono movimentate ogni anno circa 2 milioni di tonnellate di materie prime e prodotti finiti.

Lo Stabilimento è compreso in una più ampia area industriale nella quale sono presenti più società che operano in settori industriali diversi.

Nell'area dello Stabilimento sono presenti altre tre società oltre Versalis:

- EniPower Mantova - Società appartenente al gruppo ENI, che si occupa della produzione di energia elettrica e che fornisce a Versalis vapore acqueo ed energia elettrica.
- SOL - Società, che ha realizzato un impianto per la produzione di gas tecnici (ossigeno ed azoto), sostituendosi a Versalis nella produzione di azoto e aria compressa.
- Eni Rewind Società appartenente al gruppo ENI, che si occupa delle bonifiche delle aree dismesse.

Per identificare i recettori sensibili all'interno del dominio del modello (reticolo di calcolo di 10 x 10 km) (Figura 3), è stato utilizzato il Corine Land Cover Mapping^(*) che ha permesso la mappatura delle aree a destinazione d'uso diversa.

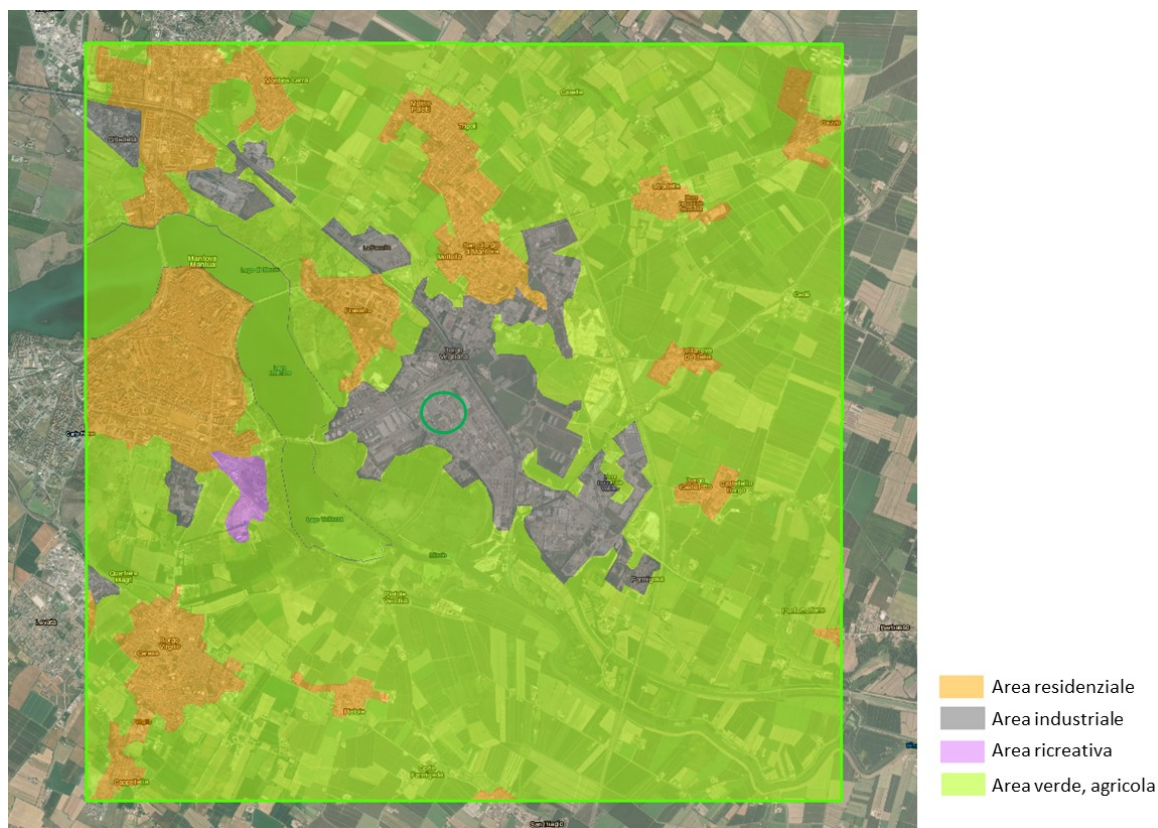


Figura 3: Mappatura delle aree a destinazione d'uso diversa

^{*)} Il CORINE è stato istituito dalla Comunità europea (CE) come mezzo per la compilazione di informazioni ambientali geo-spaziali in modo standardizzato e comparabile in tutto il continente europeo. La prima edizione è dell'anno 1990, con le successive releases per gli anni 2000, 2006, 2012 e 2018.

Le aree indicate in grigio sono relative alle zone industriali e commerciali, mentre in arancio sono indicate le zone urbanizzate e in viola le aree ricreative. Le aree in verde indicano aree destinate a seminativi, aree agricole eterogenee o zone boschive. Alla luce delle destinazioni d'uso riscontrate nell'area di studio, sono stati identificati i seguenti bersagli potenzialmente esposti alla contaminazione:

- adulto lavoratore in uno scenario industriale;
- adulto e bambino in uno scenario residenziale;
- adulto e bambino in uno scenario ricreativo;
- adulto e bambino in uno scenario agricolo.

6.0 DEFINIZIONE DELLE CONDIZIONI METEOCLIMATICHE E DEL REGIME DI EMISSIONE

6.1 Dati meteorologici

Le caratteristiche meteo-climatiche dell'area in esame sono state esaminate quale dato essenziale nello studio di dispersione degli inquinanti nell'atmosfera.

I dati meteorologici usati nelle simulazioni rappresentano l'output dell'applicazione del modello CALMET dei dati rilevati nelle stazioni SYNOP ICAO (International Civil Aviation Organization) di superficie e profilometriche presenti sul territorio nazionale e ai dati rilevati nelle stazioni locali sito-specifiche della rete ARPA Lombardia presenti in un dominio di 20 x 20 km centrato nello Stabilimento.

In Tabella 3 sono indicate le stazioni della rete ARPA considerate.

Tabella 3: Stazioni meteo ARPA Lombardia considerate per la ricostruzione delle caratteristiche meteo-climatiche dell'area

Stazione	Coordinate (WGS84)	Distanza dal centro dello Stabilimento
Mantova Lunetta 2	45.15799347°N 10.82393997°E	1,7 km
Mantova Tridolino	45.15333°N 10.85927181°E	1,9 km
Bigarello	45.18849826°N 10.88713683°E	6,1 km

Oltre alle stazioni sopracitate sono state utilizzate le seguenti stazioni meteorologiche:

- Stazioni sinottiche:
 - Stazioni di superficie SYNOP ICAO:
 - VILLAFRANCA LIPX 160900 [41.132999°N - 16.766982°E].
 - Stazione radiosondaggi SYNOP ICAO:
 - 16080 - Linate [45.429983°N - 9.279980°E];
 - 16144 - San Pietro Capofiume [44.649997°N - 11.619995°E];
 - 16045 - Udine Rivolto [45.970000°N - 13.049983°E].

Il modello CALMET ricostruisce per interpolazione 3D "mass consistent", pesata sull'inverso del quadrato della distanza, un campo iniziale tridimensionale (FIRST GUESS) che viene modificato per incorporare gli effetti geomorfologici ed orografici del sito in esame alla risoluzione spaziale richiesta (campo meteo STEP 1); il processo di interpolazione avviene per strati orizzontali, l'interazione tra i vari strati orizzontali viene definita attraverso opportuni fattori di BIAS che permettono di pesare strato per strato l'influenza dei dati di superficie rispetto ai dati profilometrici (es: nel primo strato verticale adiacente al terreno che va da 0 a 20 metri sul suolo in genere viene azzerato il peso del profilo verticale rispetto a quello delle stazioni di superficie mentre negli strati verticali superiori al primo viene gradatamente aumentato il peso dei dati profilometrici rispetto a quelli di superficie fino ad azzerare il peso di questi ultimi dopo alcune centinaia di metri dal suolo).

Sul campo meteo (STEP 1) così definito vengono infine reinserite le osservabili misurate per ottenere il campo finale (STEP 2) all'interno del quale in questo modo vengono recuperate le informazioni sito-specifiche delle misure meteo.

Per la descrizione di dettaglio dell'analisi dei dati meteo per l'anno 2019 condotta per i principali parametri meteorologici e del quadro emissivo considerato si rimanda alla Rel. 21493955/13366 ALLEGATO 1 "Studio modellistico delle ricadute al suolo di inquinanti emessi in atmosfera", novembre 2021.

Di seguito si riporta un riepilogo del regime anemologico dell'area.

La velocità media annuale del vento è di 1,88 m/s. In generale si osserva una predominanza dei venti di intensità medio-bassa: le velocità più frequenti (59%) sono quelle comprese nella classe 1-3 m/s. I venti con velocità superiore a 5 m/s sono presenti in percentuale minima.

I valori di velocità del vento si riferiscono ad una quota di 10 metri dal p.c.

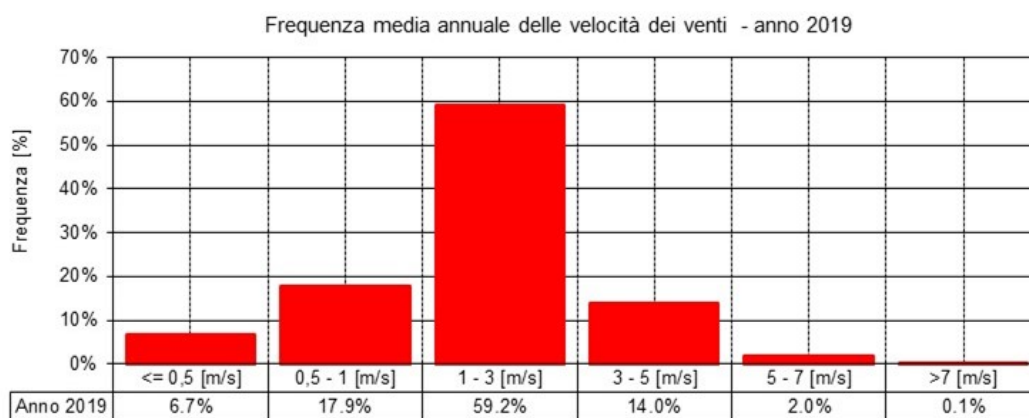


Figura 4: Velocità del vento – Anno 2019

La rosa dei venti alla quota di 10 m da p.c. (Figura 5) denota che i venti sono principalmente distribuiti lungo l'asse Est-Ovest, con una netta predominanza di venti provenienti dai settori E, ENE e W,WNW.

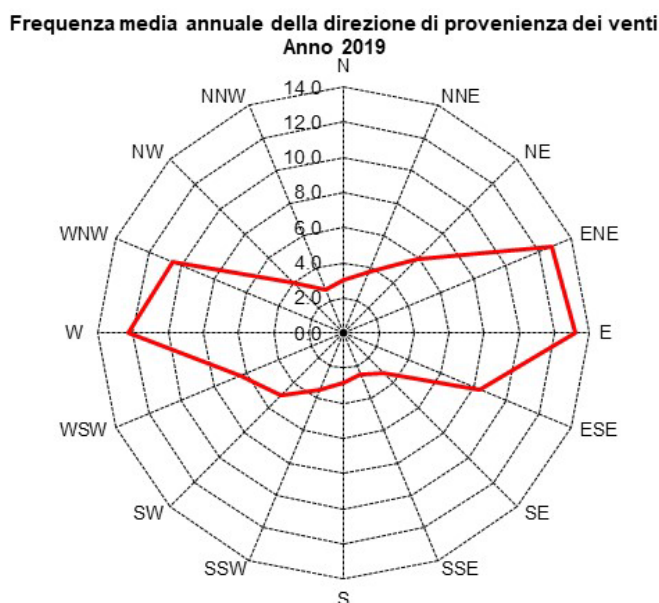


Figura 5: Direzione del vento – Anno 2019

6.2 Sorgenti convogliate e areali

Ai fini della modellizzazione, in funzione degli inquinanti simulati, sono state considerate le sorgenti dello Stabilimento che producono emissioni convogliate significative (come previsto dal Decreto Legislativo 15 novembre 2017 n.183 che ha aggiornato l'elenco degli impianti ed attività di cui all'art. 272, comma 1, sono state escluse tutte le emissioni del Centro ricerche/laboratori e le emissioni occasionali esistenti e future). In Tabella 4 sono riportati i parametri geometrici dei punti di emissione considerati; essi comprendono l'altezza e il diametro di ogni camino.

Tabella 4: Parametri geometrici delle sorgenti convogliate considerate

Camino	Unità di provenienza	Altezza (m)	Diametro (m)
E90	Fase 2 - PR7 ossidatori di cumene	30	1,2
E2001	Fase 2 - PR7 serbatoi di stoccaggio, rampe di carico e ciclo del vuoto, sfiati PR7-11	20	1
E602	Fase 3 - ST15 Forni BY6101A/B	30	0,3
E563	Fase 3 - ST16 forni B1002-B2101	30	0,5
E2000	Fase 3 - ST17 sfiati impianti Polimeri (ossidatore termico U6)	25	0,8
E666	Fase 1 - ST20 Forni B101, B201, B2201	56	2,25
E1101	Fase 1 - ST40 forno B151 (sez. alchilazione)	40	0,9
E1103	Fase 1 - ST40 Forno B401 (sez. deidrogenazione)	40	1,33
E2015	Fase 4 - LCE carico Stirene su chiatte fluviali e colonna C10 (attualmente non collegata)	8	0,25
E2016	Fase 4 - LCE serbatoi Stirene, Acrilonitrile, Cicloesanone e Olone (gli ultimidue attualmente non collegati) carico in autobotte di benzina semilavorata, riscaldamento ferrocisterne Benzene (in inverno)	8	0,4
E364	Fase 5 - SG30 Inceneritore rifiuti	30	1,2
E2017	Fase 2 - PR11 Analizzatori di H2 (trattamento sfiati densimetri PR11)	11	0,5
E564	Fase 3 - ST16-18 granulatori	25	0,5
E89	Fase 2 - PR7 Forno B1201 < 3MW alimentato a metano	21	0,5
E409	GSA Serbatoi stoccaggio Acido Cloridrico e AlCl3 in soluzione	8	0,08
E569	Fase 3 - ST18 essiccatori granulo	30	0,5
E661	Fase 1 - ST20 stoccaggio di AlCl3	10	0,1
E663	Fase 1 - ST20 sfiati sez. alchilazione	10	0,05
E146	Fase 2 - PR11 Rigenerazione catalizzatore dei reattori di idrogenazione Fenolo, bonifica reattori	12	0,1

In aggiunta ai punti di emissione convogliata autorizzati, il progetto prevede la realizzazione, nell'ambito del Progetto HOOP®, di n°6 nuovi punti di emissione convogliata in atmosfera.

Escludendo le emissioni occasionali, di seguito si riportano le caratteristiche geometriche dei nuovi punti emissivi considerati (Tabella 5).

Tabella 5: Caratteristiche geometriche dei nuovi punti emissivi

Sorgente	Altezza (m)	Diametro (m)
Camino E2036	20	0,40
Camino E2037	20	0,25
Camino E2038	15	0,25
Camino E2039	15	0,30

6.3 Scenari dello studio di ricaduta

Lo studio di dispersione ha previsto due differenti scenari emissivi:

- **Scenario di 'base-line'**: flusso di massa emesso da ciascun camino corrispondente al prodotto della portata fumi e della concentrazione massima per ciascun parametro, secondo quanto previsto dall'autorizzazione vigente;
- **Scenario alla massima capacità produttiva con Progetto HOOP®**: flusso di massa emesso da ciascun camino corrispondente al prodotto della portata fumi autorizzata per la concentrazione massima autorizzata per ciascun parametro e le emissioni in atmosfera previste alla massima capacità produttiva dal Progetto HOOP®.

6.3.1 Scenario di 'base-line'

In **Tabella 6** sono riportati i flussi di massa dei punti di emissione considerati per ciascun parametro nello scenario come autorizzazione vigente (rif. massima capacità produttiva).

Tabella 6: Flussi di massa delle sorgenti puntuali – Scenario di 'base-line'.

Camino	Portata (Nm ³ /h)	Flussi di massa (kg/h)					
		NO _x	CO	PM ₁₀	Benzene	COT	HCl
E90	50.000	-	-	-	0,25	-	-
E2001	20.000	4	20	-	0,02	0,40	-
E602	9.600	1,44	0,192	0,048	-	-	-
E563	12.000	1,8	0,24	0,06	-	-	-
E2000	12.000	2,4	-	-	-	0,12	-
E666	99.445	14,917	1,989	0,497	0,099	1,989	-
E1101	16.000	2,4	0,32	0,08	0,016	0,32	-
E1103	40.000	6	0,8	0,2	0,04	0,80	-
E2015	1.200	1,2	-	-	0,001	0,012	-
E2016	6.000	6	-	-	0,006	0,06	-
E364	15.000	2,7	0,3	0,075	-	0,15	0,12
E564	10.000	-	-	-	0,005	0,05	-
E2017	2	-	-	-	0,00001	-	-
E89	8.000	2,8	8	-	-	-	-
E409	25	-	-	-	-	-	0,3
E569	12.000	-	-	-	-	0,06	-
E661	300	-	-	-	-	-	0,3
E663	5	-	-	-	-	-	0,0002
E146	250	-	-	-	0,025	-	-

Nello scenario in oggetto, le concentrazioni a camino considerate nel calcolo dei flussi di massa sono quelle riportate in **Tabella 7**.

Tabella 7: Valori limite autorizzati

Camino	Concentrazione (mg/Nm ³)					
	NO _x	CO	PM ₁₀	Benzene	COT	HCl
E90	-	-	-	5	-	-
E2001	200	1000	-	1	20	-
E602	150	20	5	-	-	-
E563	150	20	5	-	-	-
E2000	200	-	-	-	10	-
E666	150	20	5	1	20	-
E1101	150	20	5	1	20	-
E1103	150	20	5	1	20	-
E2015	1000	-	-	1	10	-
E2016	1000	-	-	1	10	-
E364	180	20	5	-	10	8
E564	-	-	-	0,5	5	-
E2017	-	-	-	5	-	-
E89	350	1000	-	-	-	-
E409	-	-	-	-	-	0,3 kg/h*
E569	-	-	-	-	5	-
E661	-	-	-	-	-	0,3 kg/h*
E663	-	-	-	-	-	30
E146	-	-	-	5	-	-

*Limite di emissione autorizzato in flusso di massa

6.3.2 Scenario alla massima capacità produttiva con progetto HOOP®

In **Tabella 8** sono riportati i flussi di massa dei punti di emissione considerati per ciascun parametro nello scenario alla massima capacità produttiva.

Tabella 8: Flussi di massa delle sorgenti puntuali – Scenario alla massima capacità produttiva con progetto HOOP®

Camino	Portata (Nm ³ /h)	Flussi di massa (kg/h)					
		NOx	CO	PM ₁₀	Benzene	COT	HCl
E90	50.000	-	-	-	0,25	-	-
E2001	20.000	4	20	-	0,02	0,40	-
E602	9.600	1,44	0,192	0,048	-	-	-
E563	12.000	1,8	0,24	0,06	-	-	-
E2000	12.000	2,4	-	-	-	0,12	-
E666	99.445	14,917	1,989	0,497	0,099	1,989	-
E1101	16.000	2,4	0,32	0,08	0,016	0,32	-
E1103	40.000	6	0,8	0,2	0,04	0,80	-
E2015	1.200	1,2	-	-	0,001	0,012	-
E2016	6.000	6	-	-	0,006	0,06	-
E364	15.000	2,7	0,3	0,075	-	0,15	0,12
E564	10.000	-	-	-	0,005	0,05	-
E2017	2	-	-	-	0,00001	-	-
E89	8.000	2,8	8	-	-	-	-
E409	25	-	-	-	-	-	0,3
E569	12.000	-	-	-	-	0,06	-
E661	300	-	-	-	-	-	0,3
E663	5	-	-	-	-	-	0,0002
E146	250	-	-	-	0,025	-	-
E2036	3.000	0,6	0,45	0,015	0,003	0,03	0,045
E2037	1050	-	-	0,0105	-	-	-
E2038	1275	-	-	0,0128	-	-	-
E2039	860	-	-	0,0086	-	-	-

Nello scenario alla massima capacità produttiva, le concentrazioni a camino considerate nel calcolo dei flussi di massa sono quelle riportate in **Tabella 9**.

Tabella 9: Valori limite autorizzati e previsti da Progetto

Camino	Concentrazione (mg/Nm ³)					
	NO _x	CO	PM ₁₀	Benzene	COT	HCl
E90	-	-	-	5	-	-
E2001	200	1000	-	1	20	-
E602	150	20	5	-	-	-
E563	150	20	5	-	-	-
E2000	200	-	-	-	10	-
E666	150	20	5	1	20	-
E1101	150	20	5	1	20	-
E1103	150	20	5	1	20	-
E2015	1000	-	-	1	10	-
E2016	1000	-	-	1	10	-
E364	180	20	5	-	10	8
E2017	-	-	-	5	-	-
E564	-	-	-	0,5	5	-
E89	350	1000	-	-	-	-
E409	-	-	-	-	-	0,3 kg/h*
E569	-	-	-	-	5	-
E661	-	-	-	-	-	0,3 kg/h*
E663	-	-	-	-	-	30
E146	-	-	-	5	-	-
E2036	200	150	5	1	10	15
E2037	-	-	10	-	-	-
E2038	-	-	10	-	-	-
E2039	-	-	10	-	-	-

*Limite di emissione autorizzato in flusso di massa

7.0 VALUTAZIONE DELLA DISPERSIONE ATMOSFERICA E DEL DEPOSITO AL SUOLO DEGLI INQUINANTI

Lo studio di dispersione è stato condotto utilizzando il software Calpuff come strumento di calcolo. Il modello Calpuff è un modello a “puff” gaussiani, non stazionario, in grado di simulare il trasporto, la diffusione e la deposizione degli inquinanti inerti o debolmente reattivi, anche in presenza di orografia complessa e per calme di vento. Il modello può operare a scale spaziali molto diverse sia per applicazioni di tipo *short-term* che *long-term*.

Le simulazioni con Calpuff sono state eseguite utilizzando i dati meteo acquisiti per l’anno 2019.

Le simulazioni eseguite, cautelativamente, non considerano la riduzione delle concentrazioni in atmosfera dovuta alle trasformazioni chimiche degli inquinanti.

Le simulazioni hanno fornito un output che contiene le concentrazioni per ogni contaminante per ogni nodo della griglia di calcolo, per ogni periodo della simulazione.

Per ciascun inquinante sono stati calcolati i valori di concentrazione al livello del suolo negli opportuni termini medi e/o percentili richiesti dagli standard di qualità dell’aria dal D.Lgs. 155/2010, ove previsti.

L’output di Calpuff è stato trattato con il software Calpost che ha permesso di estrapolare i risultati di interesse e di gestirli ed elaborarli attraverso un sistema GIS con cui sono state elaborate le mappe di concentrazione al suolo.

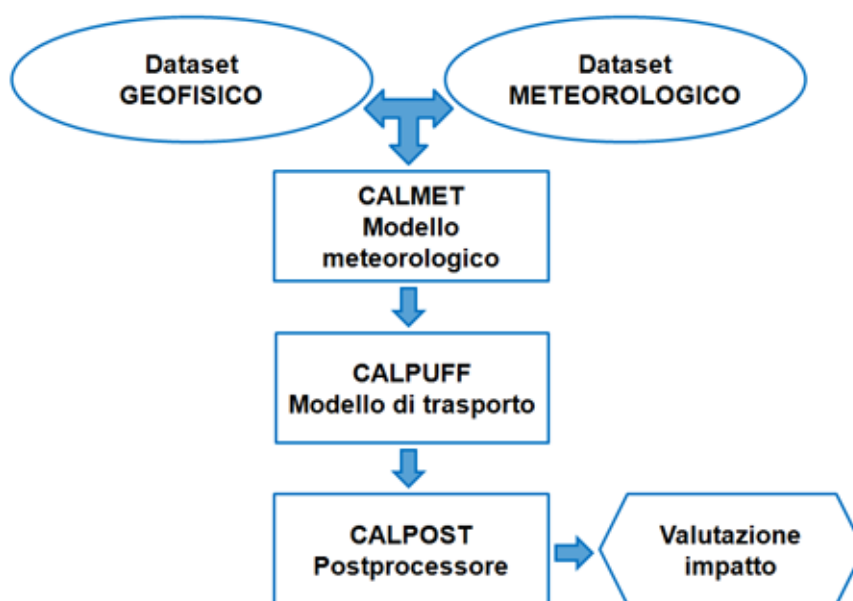


Figura 6: Schema operativo del sistema Calmet-Calpuff-Calpost

Si riporta di seguito una tabella riassuntiva dei risultati⁴ delle simulazioni (Tabella 10).

Tabella 10: Valori massimi calcolati mediante le simulazioni

Inquinante	Periodo di mediazione	Valore limite	Scenario base-line	Scenario max. capacità produttiva con progetto HOOP®
CO	Media massima giornaliera calcolata su 8 ore	10 mg/m ³	0,128	0,128
NO₂	1 ora	200 µg/m ³ da non superare più di 18 volte per anno civile	144,4	144,8
	Anno civile	40 µg/m ³	7,27	7,58
NO_x	Anno civile	30 µg/m ³	7,27	7,58
PM₁₀	24 ore	50 µg/m ³ da non superare più di 35 volte per anno civile	0,188	0,215 (E2036) 0,357 (E2036, E2037, E2038 e E2039)
	Anno civile	40 µg/m ³	0,079	0,105 (E2036) 0,189 (E2036, E2037, E2038 e E2039)
PTS	24 ore	/*	/	0,142
	Anno civile	/*	/	0,084
Benzene	Anno civile	5,0 µg/m ³	0,233	0,235
COT	Anno civile	/*	0,473	0,527
HCl	Anno civile	/*	7,20	7,28

Per lo scenario alla massima capacità produttiva con Progetto HOOP® sono state eseguite due diverse simulazioni. Nella prima simulazione, rispetto al quadro emissivo di base-line, è stato considerato il contributo aggiuntivo della nuova emissione E2036, che prevede un'emissione di polveri legata al processo di combustione e pertanto assimilabile al PM₁₀. Nella seconda simulazione, cautelativamente, come richiesto dalla Provincia, sono state incluse e considerate PM₁₀ anche le nuove emissioni E2037, E2038, E2039, sebbene si riferiscano alle emissioni di polveri da trasporto pneumatico di materie prime, additivi e prodotti e non derivino da processi di combustione. Tale assunzione di cautela sovrastima la concentrazione calcolata con il progetto HOOP®. Sempre a titolo di estrema cautela, tali emissioni, per lo più discontinue, sono state considerate continue e contemporanee.

⁴ L'unità di misura delle concentrazioni è la stessa riportata nella colonna "valore limite".

Ai fini del confronto con i limiti normativi, i risultati di queste simulazioni sono stati confrontati con i limiti previsti per la frazione PM_{10} .

Infine è stata eseguita un'ulteriore simulazione per valutare il solo contributo delle nuove emissioni E2037, E2038, E2039, considerate come polveri aventi un diametro $> 10 \mu m$.

Nel presente documento, per le elaborazioni a supporto della valutazione di impatto sulla salute, sono stati considerati cautelativamente i risultati della simulazione che comprende tutte le nuove emissioni (E2036, E2037, E2038 e E2039).

7.1 Stima dei flussi di deposizione al suolo

Il deposito atmosferico si sviluppa attraverso processi di rimozione che avvengono per via secca o umida. Il primo, attivo in assenza di precipitazioni, trasporta l'inquinante sulla superficie di deposizione tramite l'azione combinata di complessi meccanismi di diffusione turbolenta, sedimentazione gravitazionale ed impatto inerziale. Il secondo coinvolge le precipitazioni (pioggia, neve, grandine) tramite processi di inglobamento dell'inquinante nelle nubi ("rainout") e di dilavamento atmosferico ("washout"): quest'ultimo può considerarsi largamente prevalente su scale spaziali ridotte, quali quelle locali dell'area di incidenza della sorgente, mentre il primo è attivo soprattutto nel trasporto e la deposizione a grandi distanze.

In Calpuff esiste una limitata libreria di parametri specifici per la definizione dei fenomeni di deposizione secca e umida. In assenza di una lista esaustiva di parametri da poter utilizzare per alcuni inquinanti considerati nel presente studio, si è fatto riferimento a parametri di letteratura fortemente cautelativi indicati dall'Agenzia statunitense per la protezione dell'ambiente (US EPA) nel documento "Human Health Risk Assessment Protocol for Hazardous Waste Combustion Facilities" (Chapter 3: Air Dispersion and Deposition Modeling, US EPA, Office of Solid Waste, Settembre 2005) e nel documento "ISC User's Guide" (US EPA, 1995 – Volume II).

Nelle schematizzazioni di più comune utilizzo, tanto il deposito secco che quello umido vengono valutati in termini di flusso di massa per unità di superficie sulla base di formulazioni che ne prevedono una dipendenza lineare con la concentrazione a livello del suolo e nelle quali il coefficiente di proporzionalità rappresenta la velocità di deposizione dell'inquinante. Tale parametro presenta dipendenze piuttosto complesse con il tipo di deposizione (secca o umida), il tipo di inquinante, le condizioni meteorologiche ed alcune caratteristiche della superficie di deposizione. Per ciò che si riferisce al deposito per via secca, il fenomeno è fortemente dipendente dalle dimensioni del particolato (per inquinanti veicolati da quest'ultimo). Nel caso del deposito per via umida, la velocità di deposizione è strettamente correlata all'intensità delle precipitazioni.

Con riferimento agli inquinanti gassosi esaminati nel presente studio, CO, NOx, Benzene, COT e HCl la deposizione non è stata calcolata, in quanto di norma trasformati e rimossi dall'atmosfera senza che si attivino nuovi percorsi di impatto diversi dall'inalazione diretta di tali contaminanti.

7.1.1 Deposizione secca

La libreria di Calpuff permette di poter considerare il fenomeno della deposizione secca per il particolato PM₁₀, in funzione dei parametri riportati in Figura 7.

Dry (Gas) Dry (Particle) Wet		
Species	Geometric Mass Mean Diameter	Geometric Standard Deviation
PM10	1.500	3.000

Figura 7: Parametri per la deposizione secca delle polveri

7.1.2 Deposizione umida

La libreria di Calpuff permette di poter considerare il fenomeno della deposizione umida per il particolato PM₁₀, in funzione dei parametri riportati in Figura 8.

Dry (Gas) Dry (Particle) Wet		
Species	Scavenging Coefficient (1/s) Liquid Precipitation	Scavenging Coefficient (1/s) Frozen Precipitation
PM10	1.00E-04	3.00E-05

Figura 8: Parametri per la deposizione umida delle polveri

7.1.3 Calcolo delle concentrazioni nel terreno

La modifica della qualità del suolo in seguito al deposito di inquinanti è stata simulata assumendo che il grado di esposizione dovuto al contaminante dipenda dalla presenza dello stesso nei primi centimetri di suolo.

Per stimare le quantità massime di inquinanti accumulate nel suolo è stato considerato uno spessore di suolo pari a 10 cm ed una densità dello strato superficiale di terreno interessato dalle deposizioni pari a 1500 kg/m³. Lo spessore considerato è stato scelto in quanto rappresentativo delle profondità raggiungibili dalle radici delle principali specie vegetali commestibili attraverso le quali i contaminanti possono essere assimilati dalla popolazione.

Il periodo di accumulo nel terreno è stato posto pari a 30 anni, in funzione del tempo di esposizione del bersaglio composito adulto + bambino (24 anni + 6 anni), come indicato nel documento dell'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale e per i Servizi Tecnici "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati", revisione 2 di marzo 2008 (Manuale ISPRA).

8.0 IDENTIFICAZIONE DEI PERCORSI DI MIGRAZIONE E DELLE VIE DI ESPOSIZIONE

Attraverso la costruzione del Modello Concettuale del Sito sono stati esplicitati i legami tra le diverse componenti dell'analisi di rischio, permettendo di valutare la presenza delle condizioni di rischio, per la salute umana, in conseguenza del fenomeno d'inquinamento in esame.

Si riportano nel seguito alcune considerazioni riguardo le componenti che concorrono alla determinazione del potenziale rischio sanitario a seguito del fenomeno di inquinamento in esame:

- sorgenti di contaminazione;
- percorsi di migrazione e vie di esposizione;
- bersagli.

8.1 Sorgenti di contaminazione

La sorgente primaria di contaminazione è rappresentata dall'elemento che è causa di inquinamento, nel caso in esame le emissioni a camino che causano il rilascio in atmosfera di inquinanti atmosferici, mentre la sorgente secondaria è identificata con ciascuna delle matrici ambientali circostanti la sorgente primaria in cui sono presenti inquinanti nelle diverse fasi, che tendono a spostarsi attraverso potenziali percorsi di migrazione (fonte Manuale ISPRA).

Per quanto riguarda le sorgenti secondarie di contaminazione è possibile individuare le seguenti:

- matrice aria, con presenza di inquinanti gassosi e particolati rilasciati dai camini del Sito;
- matrice suolo superficiale, con presenza di inquinanti depositati al suolo e accumulati nei primi 10 centimetri di terreno.

8.2 Percorsi di migrazione e vie di esposizione

I possibili percorsi di migrazione potenzialmente attivi sono di seguito elencati per le sorgenti secondarie di contaminazione individuate.

Matrice aria:

- trasporto in atmosfera degli inquinanti emessi a camino.

Matrice suolo superficiale:

- deposizione del materiale particolato dall'atmosfera al suolo superficiale;
- erosione a opera del vento degli inquinanti depositati al suolo e dispersione in atmosfera delle polveri.
- trasferimento e accumulo degli inquinanti dapprima nella vegetazione e nei tessuti animali sino al consumatore finale del prodotto.

Le vie di esposizione sono state individuate in relazione ai diversi contaminanti considerati e con riferimento ai percorsi di migrazione ritenuti attivi:

- ingestione e contatto dermico con il suolo superficiale contaminato;
- inalazione outdoor di vapori e polveri presenti in atmosfera;
- inalazione outdoor di polveri provenienti dal suolo superficiale.
- ingestione di prodotti agroalimentari provenienti dalle aree oggetto di studio.

Per la maggior parte degli inquinanti considerati nello studio di dispersione in atmosfera (CO, NO_x, HCl, COT e Benzene), la valutazione degli effetti delle emissioni sulla salute della popolazione esposta è consistita nel confronto tra la concentrazione calcolata ed i valori limiti di qualità dell'aria e nella quantificazione del rischio sanitario associato alla sola via di esposizione dell'inalazione diretta.

Un'analoga valutazione per gli inquinanti tossici e persistenti (es. PCB, diossine) richiederebbe, viceversa, un approccio più complesso. L'impatto sulla salute di tali inquinanti si sviluppa, infatti, attraverso percorsi multipli di interazione con i soggetti esposti, tra i quali, quelli relativi all'esposizione indiretta (ingestione di terreno contaminato e contatto dermico con esso, assunzione con la dieta) possono rappresentare il contributo di maggior significato. In tali casi la stima degli effetti sulla salute viene condotta con metodologie che traducono, in termini di rischio atteso, il complesso dei percorsi di esposizione attivi nel contesto territoriale di localizzazione dell'attività emissiva.

Poiché nel presente studio l'unico contaminante particolato soggetto a deposizione e accumulo nel suolo superficiale è costituito dal PM₁₀, per il quale tuttavia non sono disponibili in letteratura parametri tossicologici relativi a contatto dermico e ingestione, le vie di esposizione di ingestione e contatto dermico con il suolo superficiale contaminato e di ingestione di prodotti agroalimentari provenienti dalle aree oggetto di studio non sono state considerate. Per tale contaminante è stato invece valutato il potenziale impatto sulla salute derivante dall'inalazione di polveri disperse in atmosfera per erosione ad opera del vento.

Di seguito si riporta una tabella riepilogativa delle vie di esposizione associate ai singoli contaminanti.

Tabella 11: Vie di esposizione associate al singolo contaminante

Inquinante	Inalazione vapori/polveri outdoor	Inalazione polveri da deposizione	Contatto dermico e ingestione di suolo	Ingestione cibo contaminato
CO	X	/	/	/
NO _x	X	/	/	/
COT	X	/	/	/
HCl	X	/	/	/
Benzene	X	/	/	/
PM ₁₀	X	X	/	/

8.3 Bersagli

I bersagli potenzialmente esposti alla contaminazione, attraverso i percorsi di migrazione e le vie di esposizione sopra descritti ed in funzione delle destinazioni d'uso dei suoli individuate, sono identificati in:

- adulto lavoratore in uno scenario industriale;
- adulto e bambino in uno scenario residenziale;
- adulto e bambino in uno scenario ricreativo;
- adulto e bambino in uno scenario agricolo.

8.4 Criteri generali dell'analisi di rischio

L'elaborazione di un'analisi di rischio costituisce una procedura avanzata per la valutazione del grado di contaminazione di un sito e dei rischi per la salute umana e per l'ambiente circostante connessi con l'inquinamento rilevato.

L'analisi di rischio costituisce lo strumento più indicato per supportare le strategie di gestione della contaminazione e per quantificare i pericoli legati alla presenza di sostanze in concentrazioni superiori a quelle ammesse dalla normativa vigente.

La procedura dell'analisi di rischio, introdotta e in seguito standardizzata dall'*American Society for Testing and Materials* ("ASTM") per la valutazione del rischio, comporta le seguenti fasi:

- definizione del Modello Concettuale (individuazione delle interazioni esistenti tra le componenti sorgenti di contaminazione, percorsi di migrazione e bersagli, che concorrono alla determinazione del potenziale rischio ambientale legato alla contaminazione);
- studio del trasporto della contaminazione dalla sorgente al punto di esposizione e determinazione delle concentrazioni del contaminante al recettore;
- calcolo del rischio;
- analisi decisionale (valutazione delle incertezze presenti nell'analisi di rischio e dell'accettabilità del rischio, calcolo delle eventuali concentrazioni massime ammissibili alla sorgente e descrizione degli eventuali interventi necessari per la gestione del sito).

La procedura di analisi di rischio codificata dall'ASTM nel 1995 e 1998^(*5) ed acquisita dall'Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici (ISPRA ex APAT) nel 2005^(*6) prevede un approccio graduale di approfondimento, denominato Risk-Based Corrective Action (RBCA), articolato in tre differenti livelli di seguito descritti.

- Il primo livello (Tier 1) è essenzialmente costituito dal confronto tra le concentrazioni dei contaminanti rilevati nel sito e i limiti tabellari previsti che fanno riferimento a condizioni sito-generiche. L'analisi di primo livello non utilizza i parametri specifici del sito e il rischio viene calcolato mediante modelli semplificati e ipotesi molto conservative. I valori ottenuti, denominati Risk Based Screening Levels (RBSL), sono utilizzati come valori di screening per il Sito.
- Il secondo livello (Tier 2) consiste in un'analisi di rischio elaborata con modelli analitici semplificati in cui i dati di input sono in parte ricavati da indagini ambientali condotte in campo. Per i dati non noti sono utilizzati valori riportati in letteratura o validati da studi condotti in contesti ambientali analoghi a quelli in esame. In tal caso si usano valori che massimizzano la conservatività del modello, sbilanciando così i risultati dell'analisi a favore della tutela dell'ambiente e della salute umana. L'analisi di secondo livello prevede solitamente l'analisi dei processi di trasporto e degradazione della contaminazione e consente di calcolare il rischio anche al di fuori della sorgente di inquinamento. Mediante l'elaborazione di un'Analisi di Rischio di secondo livello è possibile determinare i limiti di accettabilità alla sorgente specifici per il sito, denominati Site-Specific Target Levels (SSTL) che possono definire gli obiettivi di bonifica di un sito contaminato.
- Il terzo livello (Tier 3) costituisce uno stadio maggiormente approfondito di analisi di rischio. Tale livello è caratterizzato dall'uso di strumenti di calcolo più sofisticati, costituiti da modelli numerici e stocastici per la simulazione dei fenomeni di degradazione e trasporto della contaminazione. L'esecuzione di analisi di rischio di terzo livello è consentita dalla disponibilità dei dati chimici, biologici e fisici specifici del sito necessari alla completa determinazione dei fenomeni di riduzione del carico di contaminante in atto nel sottosuolo. Le analisi di rischio di terzo livello costituiscono lo strumento di valutazione del rischio meno conservativo e maggiormente vicino alla realtà.

*5 "Standard guide for Risk Based Corrective Action Applied at Petroleum Sites - RBCA" ASTM E-1793 (1995) ASTM PS 104 (1998).

*6 "Criteri Metodologici per l'applicazione dell'Analisi di Rischio assoluta ai siti contaminati" APAT (rev. 0 giugno 2005, rev. 1 luglio 2006, rev. 2 marzo 2008).

8.5 Il calcolo del rischio

L'analisi di rischio può avere un duplice obiettivo: stimare quantitativamente il rischio in termini di valutazione delle conseguenze legate a una situazione di inquinamento oppure individuare i valori di concentrazione che costituiscono gli obiettivi di bonifica sito-specifici.

In relazione all'obiettivo del presente lavoro l'analisi di rischio è stata condotta in modalità diretta (forward mode) che permette il calcolo del rischio associato al recettore esposto derivante da una sorgente a concentrazione nota. A partire dalla concentrazione della sorgente, tenendo conto dell'attenuazione dovuta ai fattori di trasporto e della tossicità delle sostanze, si valuta l'esposizione del recettore e, infine, si calcola il rischio ad esso associato.

La stima del rischio (R) per la salute umana, connesso alla esposizione ad una specie chimica contaminante, deriva dalla applicazione della seguente relazione:

$$R = E \times T$$

dove E ([mg/kg d]) rappresenta l'assunzione cronica giornaliera del contaminante e T (mg/kg giorno) la tossicità dello stesso.

Il fattore E è dato dal prodotto tra la concentrazione, calcolata in corrispondenza del punto di esposizione C_{poe} , es. mg/m³, e la portata effettiva di esposizione EM, es. m³/kg giorno, che può rappresentare ad esempio la quantità di aria inalata al giorno per unità di peso corporeo.

Il termine EM si traduce nella stima della dose giornaliera della matrice ambientale considerata, che può essere assunta dai recettori umani identificati nel modello concettuale. L'equazione generica per il calcolo della portata effettiva di esposizione EM (mg/kg/giorno) (esclusa la stima del rischio sanitario inalatorio) è la seguente:

$$E = C_{POE} \times EM$$

A sua volta, la concentrazione nel punto di esposizione C_{poe} , si calcola attraverso la seguente relazione:

$$C_{POE} = FT \times C_s$$

dove C_s rappresenta la concentrazione in corrispondenza della sorgente di contaminazione e FT è il fattore di trasporto, che tiene conto dei fenomeni di attenuazione che intervengono durante la migrazione dei contaminanti attraverso i vari comparti ambientali.

Il calcolo del rischio per la salute umana associato ad una singola specie chimica inquinante e ad una specifica modalità di esposizione si differenzia a seconda della tipologia degli effetti (cancerogeni e/o tossici) che la sostanza in oggetto può avere sull'uomo.

I contaminanti, infatti, sono generalmente classificati come sostanze non cancerogene o sostanze cancerogene.

Le prime sono definite come sostanze a soglia limite; la loro assunzione al di sotto di una certa concentrazione soglia non comporta effetti negativi per la salute umana. Questa concentrazione limite viene definita dose di riferimento o Chronic Reference Dose (RfD) e risulta espressa in mg/(kg-giorno).

Le seconde sono definite invece sostanze senza soglia limite; la loro assunzione anche minima può generare effetti negativi sulla salute umana creando condizioni favorevoli allo sviluppo di malattie cancerogene. Poiché si assume che tale propensione aumenti in modo proporzionale con la crescita delle dosi assunte, non è quantificabile una soglia limite di pericolo. Per tali sostanze è individuato un coefficiente denominato Slope Factor (SF), che indica la probabilità di casi incrementali di tumore nella vita riferito ad una dose unitaria ed è espresso in (mg/kg-giorno)⁻¹.

Per la stima del rischio sanitario da inalazione, nella revisione del documento di supporto alla Banca dati ISS-INAIL (Marzo 2018) si è ritenuto opportuno sostituire i due parametri tossicologici inalatori RfD Inal. e SF Inal., con i parametri Reference Concentration (“RfC”), espressa in mg/m³, e l’Inhalation Unit Risk (“IUR”), espressa in (µg/m³)⁻¹. Ciò in accordo con quanto contenuto nel documento [EPA, 2009], secondo cui i parametri tossicologici da utilizzare per la stima del rischio sanitario inalatorio debbono essere espressi in termini di concentrazione e non di dose.

Il calcolo del rischio per la salute umana, associato ad una specifica modalità di esposizione e ad una singola specie chimica inquinante, comporta il calcolo delle grandezze **indice di pericolo (HI)** per le sostanze non cancerogene e valori di **rischio (R)** per le sostanze cancerogene.

Gli HI per le sostanze non cancerogene sono definiti come:

$$HI = \text{Dose Assunta} / \text{Reference Dose o Reference Concentration}$$

ed esprimono di quanto la dose dovuta all’esposizione alla sostanza non cancerogena supera la dose tollerabile o di riferimento.

I valori di rischio per le sostanze cancerogene sono calcolati come:

$$R = \text{Dose Assunta} \times \text{Slope Factor o Inhalation Unit Risk}$$

e rappresentano la probabilità di casi incrementali di tumore nel corso della vita, causati dall’esposizione alla sostanza.

Il rischio cumulativo per la salute umana, associato alla presenza di una o più specie chimiche contaminanti determinato da diverse modalità d’esposizione, si calcola sommando i rischi dovuti alle diverse specie di contaminanti e alle varie vie di contaminazione.

8.6 Criteri di tollerabilità del rischio

Il rischio per la salute umana associato ad una singola specie chimica, relativamente ad una o più modalità di esposizione, secondo quanto riportato nell’Allegato 1 al Titolo V della Parte Quarta del D.Lgs. 152/2006 come modificato dal D.Lgs.4/2008, è ritenuto accettabile se sussistono le seguenti condizioni:

- $HI \leq 1$ per sostanze non cancerogene;
- $R \leq 10^{-6}$ per sostanze cancerogene.

Il rischio per la salute umana dovuto alla cumulazione di più sostanze inquinanti per una o più vie di esposizione, è ritenuto accettabile se sussistono le seguenti condizioni:

- $HICUM \leq 1$ per sostanze non cancerogene;
- $RCUM \leq 10^{-5}$ per sostanze cancerogene.

Per quanto concerne l’HI, la letteratura (Benson, 2009) riporta una distinzione in classi di rischio come di seguito specificato:

- da 1 a 100: possibilità di osservare eventi avversi per la salute;
- 100 o superiore: alta probabilità di eventi avversi per la salute; le dosi di esposizione sono all’incirca pari a quelle dei NOAEL e LOAEL osservate negli animali di laboratorio.

8.7 Software di calcolo impiegati

Nel presente documento, il calcolo del rischio è stato condotto usando il software di calcolo Risk-net versione 3.1.1 Pro (Risk-net). Tale software è stato sviluppato su iniziativa del Dipartimento di Ingegneria Civile

dell'Università di Roma "Tor Vergata", con l'obiettivo di fornire uno strumento che ricalchi la procedura APAT-ISPRA di Analisi di Rischio (Manuale ISPRA) in accordo con quanto previsto dalla normativa italiana (D.Lgs. 152/2006 e D.Lgs. 04/2008).

Risk-net è stato sviluppato nell'ambito della Rete Nazionale sulla gestione e la Bonifica dei Siti Contaminati (Reconnet)^(*7). La rete Reconnet nasce da un accordo tra Università, Istituti di Ricerca e Agenzie Ambientali (quali ISPRA, INAIL e ARPA regionali), incoraggiando la collaborazione e promuovendo i contatti e gli scambi di informazioni tra enti di ricerca, enti di controllo ed imprese. Il software Risk-net è stato oggetto di validazione da parte della rete Reconnet che ha sancito^(*8) come il software permetta l'applicazione della procedura di analisi di rischio "in completo accordo" con il Manuale ISPRA.

*7 <http://www.reconnet.net/>

*8 <http://www.reconnet.net/Docs/Validazione%20Risk-net.pdf>

8.8 Dati di ingresso – concentrazione alla sorgente

I dati di ingresso usati per l'elaborazione dei rischi sanitari sono stati stimati sulla base di diversi scenari emissivi, coerentemente con quanto restituito dallo studio modellistico delle ricadute al suolo di inquinanti emessi in atmosfera (Rel. 21493955/13366 ALLEGATO 1). Per ciascuno scenario i dati utilizzati sono stati determinati per la matrice aria e per la matrice suolo.

8.8.1 Concentrazioni nella matrice aria

Le concentrazioni in aria sono ricavate dai risultati del modello di dispersione in atmosfera, opportunamente corrette per tener conto del contributo di rimozione operato dalla deposizione secca e umida e distinte in funzione oltre che degli scenari emissivi (attuale e futuro atteso e massimo autorizzato) anche in funzione degli scenari di esposizione individuati (industriale, residenziale, ricreativo e agricolo).

A partire dai risultati del modello di dispersione, per cui si disponeva di una concentrazione media annuale di ogni singolo contaminante, per ogni nodo della griglia di calcolo, sono stati selezionati i valori massimi di concentrazione ricadenti in ognuna delle 3 tipologie di destinazione d'uso riscontrate nell'area di studio (aree industriali e commerciali, aree urbanizzate e aree agricole). Tale procedura è stata eseguita per i due scenari emissivi previsti.

Tabella 12: Concentrazioni in aria adottate nelle simulazioni

Scenario di base line			
Inquinante	Scenario industriale (mg/m ³)	Scenario residenziale/ricreativo (mg/m ³)	Scenario agricolo (mg/m ³)
CO	1,34E-02	1,80E-03	4,73E-03
NO _x	7,27E-03	2,50E-03	5,89E-03
PM ₁₀	7,85E-05	2,80E-05	5,21E-05
Benzene	2,33E-04	2,70E-05	6,90E-05
COT	4,73E-04	1,36E-04	2,56E-04
HCI	7,20E-03	6,41E-05	1,69E-04

Scenario alla massima capacità produttiva con Progetto HOOP®			
Inquinante	Scenario industriale (mg/m ³)	Scenario residenziale/ricreativo (mg/m ³)	Scenario agricolo (mg/m ³)
CO	1,42E-02	1,83E-03	4,80E-03
NO _x	7,58E-03	2,54E-03	5,98E-03
PM ₁₀	1,89E-04	3,18E-05	6,24E-05
Benzene	2,35E-04	2,72E-05	6,95E-05
COT	5,27E-04	1,38E-04	2,62E-04
HCI	7,28E-03	6,71E-05	1,75E-04

8.8.2 Concentrazioni nella matrice suolo

Le concentrazioni nel terreno sono state quantificate a partire dalle deposizioni al suolo delle concentrazioni in aria calcolate attraverso il modello di dispersione in atmosfera. Le deposizioni al suolo sono state cumulate per un periodo di 30 anni. Le concentrazioni al suolo adottate per singolo recettore e per gli scenari considerati sono state quindi definite nel modo seguente:

- Bersaglio Lavoratore. A partire dalle concentrazioni cumulate nel terreno per un periodo di 30 anni, la concentrazione adottata è pari alla concentrazione media calcolata su un periodo di esposizione pari agli ultimi 25 anni dei 30 totali (25 anni è il tempo di esposizione caratteristico del bersaglio lavoratore - Manuale ISPRA);
- Bersaglio Adulto Residente. A partire dalle concentrazioni cumulate nel terreno per un periodo di 30 anni, la concentrazione adottata è pari alla concentrazione media calcolata su un periodo di esposizione pari agli ultimi 24 anni dei 30 totali (24 anni è il tempo di esposizione caratteristico del bersaglio adulto residente - Manuale ISPRA);
- Bersaglio Bambino Residente. A partire dalle concentrazioni cumulate nel terreno per un periodo di 30 anni, la concentrazione adottata è pari alla concentrazione media calcolata su un periodo di esposizione pari agli ultimi 6 anni dei 30 totali (6 anni è il tempo di esposizione caratteristico del bersaglio bambino residente - Manuale ISPRA).

Le concentrazioni rappresentative alla sorgente per la matrice terreno sono riportate in Tabella 13.

Tabella 13: Concentrazioni nel terreno adottate nelle simulazioni

Scenario di base line			
Inquinante	Scenario industriale Adulto (mg/kg)	Scenario resid./ricreat./agric. Adulto (mg/kg)	Scenario resid./ricreat./agric. Bambino (mg/kg)
PM ₁₀	1,62E+00	1,67E+00	2,47E+00

Scenario alla massima capacità produttiva con Progetto HOOP®			
Inquinante	Scenario industriale Adulto (mg/kg)	Scenario resid./ricreat./agric. Adulto (mg/kg)	Scenario resid./ricreat./agric. Bambino (mg/kg)
PM ₁₀	1,96E+00	2,01E+00	2,99E+00

8.9 Dati di ingresso - parametri di esposizione umana

I calcoli della portata effettiva di esposizione per la via di esposizione inalazione di vapori e polveri sono stati eseguiti utilizzando le “concentrazioni di riferimento” (EC) secondo la relazione riportata di seguito (Manuale ISPRA e Manuale d’uso di Risk-net 3.1.1 Pro, 2019):

- Inalazione di vapori e polveri outdoor

$$EC[-] = \frac{EF_{go} \cdot EF \cdot ED}{AT \cdot 365 \frac{\text{giorni}}{\text{anno}} \cdot 24 \frac{\text{ore}}{\text{giorno}}}$$

I fattori di esposizione utilizzati nelle simulazioni per i bersagli considerati sono genericamente quelli di default riportati nel Manuale ISPRA. Qualora nelle simulazioni sia stato utilizzato un valore differente, nelle note a piè di pagina, è riportata la giustificazione dell'assunzione operata.

In Tabella 14 si riporta l'elenco dei fattori di esposizione dei recettori utilizzati.

Tabella 14: Fattori di esposizione utilizzati nelle simulazioni

Fattori di esposizione (EF)	Simbolo	U.M.	Residenziale		Ricreativo		Com/Ind	Agricolo	
			Adulto	Bambino	Adulto	Bambino	Adulto	Adulto	Bambino
Fattori comuni									
Peso corporeo	Bw	Kg	70	15	70	15	70	70	15
Tempo medio di esposizione per sostanze canc.	ATc	anni	70	70	70	70	70	70	70
Tempo medio di esposizione per sostanze non canc.	ATn	anni	ED	ED	ED	ED	ED	ED	ED
<i>Inalazione di Aria Outdoor</i>									
Durata di esposizione	ED	anni	24	6	24	6	25	24	6
Frequenza di esposizione	EF	giorni/anno	350	350	350		250	350	350
Frequenza giornaliera di esposizione outdoor	EFgo	ore/giorno	8 ^(*13)		3	3	8	8 ^(*9)	
Frazione di particelle di suolo nella polvere	Fsd	adim.	1	1	1	1	1	1	1

8.10 Dati di ingresso – fattori di trasporto

I fattori di trasporto che intervengono nel calcolo del rischio per inalazione di vapori e polveri sono i seguenti:

- ADF = 1. Il fattore di dispersione in atmosfera non è stato calcolato poiché i fenomeni dispersivi degli inquinanti emessi a camino dal Sito sono stati precedentemente trattati attraverso l'elaborazione del modello Calpuff. Si considera quindi la concentrazione calcolata da Calpuff in corrispondenza del nodo di griglia del modello;
- VF_{ss} = N.C.. Il fenomeno di volatilizzazione di vapori da suolo superficiale in ambienti aperti è un processo secondo il quale i flussi di vapore organici presenti nella porzione superficiale di terreno (generati per la volatilizzazione delle sostanze volatili presenti nel terreno) migrano verso l'aria al di sopra della superficie del terreno stesso. In questo caso la concentrazione in sorgente è quella relativa alla matrice aria, calcolata dal modello Calpuff e pertanto vale la relazione: $CRS \times VF_{ss} = C_{aria}$;
- PEF = $2,90 \times 10^{-9}$. Il fenomeno di emissione di particolato da suolo superficiale (SS) è un processo secondo il quale avviene il sollevamento per erosione di polveri dal suolo superficiale contaminato (a seguito di

^{*9} Valori bibliografici non omogenei. La frequenza giornaliera di esposizione outdoor è definita considerando una suddivisione tra esposizione indoor e outdoor pari a 16 ore (indoor) + 8 ore (outdoor).

fenomeni di deposizione) e il rimescolamento di queste polveri con l'aria della zona sovrastante la sorgente di contaminazione.

$$PEF = \frac{P_e W'}{U_{air} \delta_{air}} 10^3$$

dove:

P_e = Portata di particolato per unità di superficie ($g/cm^2/s$) = $6,90 \times 10^{-14}$ (valore di default Manuale ISPRA);

W' = Estensione della sorgente nella direzione del vento (m) = 10000 (estensione del dominio del modello di ricaduta);

U_{air} = Velocità del vento (m/s) = 1,48 (velocità all'altezza di riferimento di 2 m da p.c., calcolata sulla base di una velocità media di 1,88 m/s alla quota di 10 metri dal p.c., desunta dai dati meteo utilizzati per il modello di ricaduta, considerando un contesto rurale e una classe di stabilità atmosferica D);

δ_{air} = Altezza della zona di miscelazione (m) = 2 (valore di default Manuale ISPRA).

8.11 Dati di ingresso – valori dei parametri chimico-fisici e tossicologici

Per il parametro benzene, i valori dei parametri chimico-fisici e tossicologici (Tabella 15) sono desunti dalla banca dati ISS-INAIL elaborata a supporto del Manuale ISPRA e aggiornata a marzo 2018, trasmessa con nota del 4 aprile 2018 al Ministero per l'Ambiente e la Tutela del Territorio e del Mare.

Tabella 15: Parametri tossicologici desunti dalla banca dati ISS-INAIL di marzo 2018: Inhalation Unit Risk (IUR) e Reference Concentration (RfC).

Inquinante	IUR Inalazione ($\mu g/m^3$ giorno) ⁻¹	RfC Inalazione (mg/m^3 giorno)
Benzene	7,80E-06	3,00E-02

Per i rimanenti parametri non riportati nella banca dati ISS-INAIL, per la via di esposizione inalazione, la RfC è stata desunta da fonti bibliografiche. Di seguito si riporta la RfC adottata con indicazione della fonte in cui è stato reperito il dato.

Tabella 16: Parametri tossicologici: Reference Concentration (RfC)

Inquinante	RfC Inalazione ($\mu g/m^3$)	Fonte
CO	10000 $\mu g/m^3$	Valore limite 8hr D.Lgs. 155/2010
NO _x	40 $\mu g/m^3$	Valore limite annuale D.Lgs. 155/2010
PTS*	25 $\mu g/m^3$	Valore limite annuale D.Lgs. 155/2010
COT	200 $\mu g/m^3$	Valore limite annuale D.P.C.M. del 28/3/83
HCI	20 $\mu g/m^3$	Integrated Risk Information System

* Per le polveri, è stata cautelativamente considerata la classe PM_{2.5}.

9.0 STIMA DEL RISCHIO ASSOCIATO AL RECETTORE ESPOSTO

9.1 Calcolo del rischio tossico e cancerogeno

L'indice di pericolo (HI) per le sostanze non cancerogene e i valori di rischio (R)¹⁰ per le sostanze cancerogene, nelle varie vie di esposizione considerate (inalazione di vapori outdoor, inalazione di particolato outdoor) sono calcolati secondo le seguenti relazioni (Manuale ISPRA e Documento di Supporto, Banca dati ISS-INAIL, Marzo 2018):

Inalazione di vapori e particolato

$$R = \frac{C_{aria} * IUR * EF_g * EF * ED}{AT * 365 \frac{giorni}{anno} * 24 \frac{h}{giorno}} \quad (\text{per effetti cancerogeni})$$

$$HQ = \frac{C_{aria} * EF_g * EF * ED}{RfC * 10^3 * AT * 365 \frac{giorni}{anno} * 24 \frac{h}{giorno}} \quad (\text{per effetti non cancerogeni})$$

dove:

R e HQ: Rischio e Hazard Quotient [adim.]

C_{aria}: concentrazione dell'inquinante in aria [µg/m³], stimata a mezzo del fattore di trasporto

EF_g: frequenza giornaliera di esposizione [h/giorno]

EF: frequenza di esposizione [giorni/anno]

ED: durata dell'esposizione [anni]

AT: tempo medio di esposizione [anni]

¹⁰ Nelle tabelle dei risultati riportate ai paragrafi 9.2-9.5, qualora sia presente il simbolo "f", significa che la sostanza non è cancerogena, pertanto non è stato possibile calcolare il valore di rischio "R" per quella specifica via di esposizione.

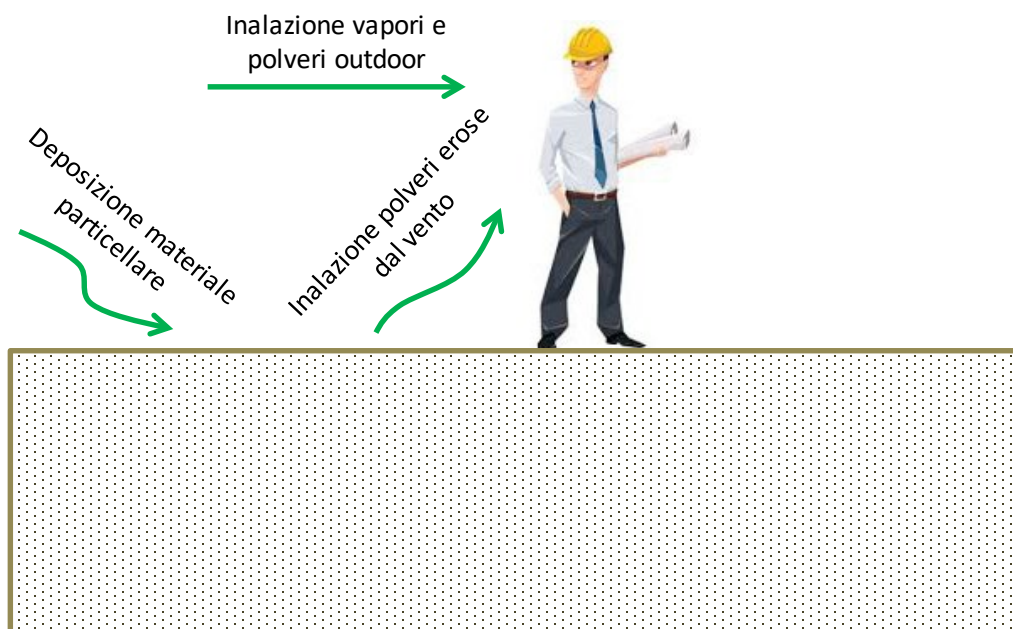
9.2 Scenario Industriale

Alla luce della ricostruzione del modello concettuale del Sito, lo scenario industriale prevede i seguenti percorsi di migrazione:

- trasporto in atmosfera degli inquinanti emessi dalle sorgenti convogliate e areali;
- deposizione del materiale particolato dall'atmosfera al suolo superficiale;
- erosione a opera del vento degli inquinanti depositati al suolo e dispersione in atmosfera delle polveri.

Le vie di esposizione sono state individuate in relazione ai diversi contaminanti considerati e con riferimento ai percorsi di migrazione ritenuti attivi:

- inalazione outdoor di vapori e polveri presenti in atmosfera;
- inalazione outdoor di polveri provenienti dal suolo superficiale.



Nelle tabelle seguenti (Tabella 17-Tabella 18) sono riportati i risultati relativi alle diverse vie di esposizione alle sostanze inquinanti negli scenari emissivi considerati.

Tabella 17: Calcolo del rischio per inalazione polveri da deposizione outdoor – scenario industriale

Scenario di 'base-line'

Inquinante	CRS (mg/kg)	R	HI
PM ₁₀	1,62E+00	/	2,88E-08
TOTALE Inalazione polveri da deposizione outdoor (R_{CUM} e HI_{CUM})		/	2,88E-08

Scenario alla massima capacità produttiva con Progetto HOOP®

Inquinante	CRS (mg/kg)	R	HI
PM ₁₀	1,96E+00	/	3,49E-08
TOTALE Inalazione polveri da deposizione outdoor (R_{CUM} e HI_{CUM})		/	3,49E-08

Tabella 18: Calcolo del rischio per inalazione vapori/polveri outdoor – scenario industriale

Scenario di 'base-line'

Inquinante	CRS (mg/m ³)	R	HI
NO _x	7,27E-03	/	4,15E-02
CO	1,34E-02	/	3,06E-04
PM ₁₀	7,85E-05	/	7,17E-04
HCl	7,20E-03	/	8,22E-02
COT	4,73E-04	/	5,40E-04
Benzene	2,33E-04	1,48E-07	1,77E-03
TOTALE Inalazione vapori/polveri outdoor (R_{CUM} e HI_{CUM})		1,48E-07	1,27E-01

Scenario alla massima capacità produttiva con Progetto HOOP®

Inquinante	CRS (mg/m ³)	R	HI
NO _x	7,58E-03	/	4,33E-02
CO	1,42E-02	/	3,24E-04
PM ₁₀	1,89E-04	/	1,73E-03
HCl	7,28E-03	/	8,31E-02
COT	5,27E-04	/	6,02E-04
Benzene	2,35E-04	1,49E-07	1,79E-03
TOTALE Inalazione vapori/polveri outdoor (R_{CUM} e HI_{CUM})		1,49E-07	1,31E-01

Dalle analisi condotte e fin qui riportate (Tabella 17-Tabella 18), è emerso che, per quanto riguarda lo scenario espositivo industriale e per ciascuna delle vie di esposizione considerate (inalazione di polveri da deposizione outdoor e inalazione di vapori/polveri outdoor), i rischi stimati per la salute umana legati allo scenario emissivo con Progetto HOOP® presentano un aumento limitato rispetto allo scenario di 'base-line' e risultano accettabili, in quanto i valori permangono sotto le soglie previste ($R < 10^{-6}$ e $RCUM < 10^{-5}$; HI e $HICUM < 1$).

Tabella 19: Calcolo del rischio cumulato – Scenario industriale

RECETTORE LAVORATORE – Σ RISCHI	<u>Scenario di 'base-line'</u>		<u>Scenario alla massima capacità produttiva con Progetto HOOP®</u>	
	<i>R_{CUM}</i>	<i>HI_{CUM}</i>	<i>R_{CUM}</i>	<i>HI_{CUM}</i>
Inalazione polveri da deposizione outdoor	/	2,88E-08	/	3,49E-08
Inalazione vapori/polveri outdoor	1,48E-07	1,27E-01	1,49E-07	1,31E-01
TOTALE	1,48E-07	1,27E-01	1,49E-07	1,31E-01

I risultati riportati in Tabella 19 evidenziano l'accettabilità del rischio cumulato per il recettore lavoratore nel complesso delle vie di esposizione considerate nello scenario emissivo con Progetto HOOP®, con variazioni trascurabili dei valori di rischio tossico e cancerogeno cumulato rispetto allo scenario di 'base-line'.

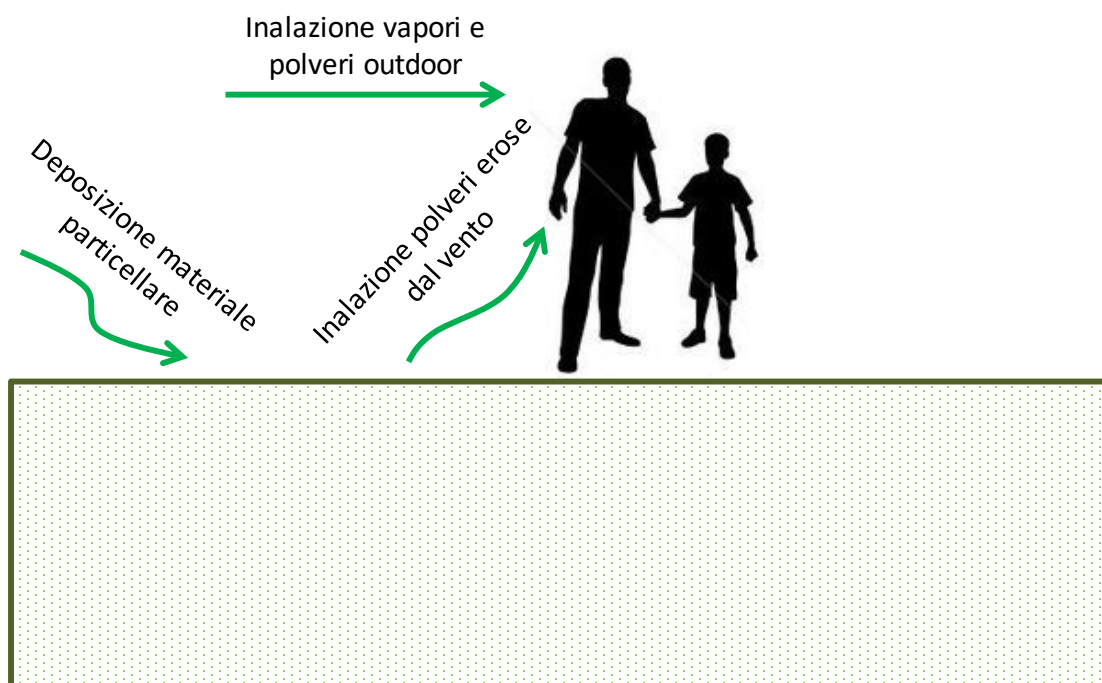
9.3 Scenario Residenziale

Alla luce della ricostruzione del modello concettuale del Sito, lo scenario residenziale, come già il precedente, prevede i seguenti percorsi di migrazione:

- trasporto in atmosfera degli inquinanti emessi dalle sorgenti convogliate e areali;
- deposizione del materiale particolato dall'atmosfera al suolo superficiale;
- erosione a opera del vento degli inquinanti depositati al suolo e dispersione in atmosfera delle polveri.

Le vie di esposizione sono state individuate in relazione ai diversi contaminanti considerati e con riferimento ai percorsi di migrazione ritenuti attivi:

- inalazione outdoor di vapori e polveri presenti in atmosfera;
- inalazione outdoor di polveri provenienti dal suolo superficiale.



Nelle tabelle seguenti (Tabella 20-Tabella 21) sono riportati i risultati relativi alle diverse vie di esposizione alle sostanze inquinanti negli scenari emissivi considerati.

Tabella 20: Calcolo del rischio per inalazione polveri da deposizione outdoor – scenario residenziale

Scenario di 'base-line'

Adulto			
Inquinante	CRS (mg/kg)	R	HI
PM ₁₀	1,67E+00	/	4,98E-08
TOTALE Inalazione polveri da deposizione outdoor (R_{CUM} e HI_{CUM})		/	4,98E-08

Bambino			
Inquinante	CRS (mg/kg)	R	HI
PM ₁₀	2,47E+00	/	7,36E-08
TOTALE Inalazione polveri da deposizione outdoor (R_{CUM} e HI_{CUM})		/	7,36E-08

Scenario alla massima capacità produttiva con Progetto HOOP®

Adulto			
Inquinante	CRS (mg/kg)	R	HI
PM ₁₀	2,01E+00	/	6,16E-08
TOTALE Inalazione polveri da deposizione outdoor (R_{CUM} e HI_{CUM})		/	6,16E-08

Bambino			
Inquinante	CRS (mg/kg)	R	HI
PM ₁₀	2,99E+00	/	9,16E-08
TOTALE Inalazione polveri da deposizione outdoor (R_{CUM} e HI_{CUM})		/	9,16E-08

Tabella 21: Calcolo del rischio per inalazione di vapori/polveri outdoor – scenario residenziale

Scenario di 'base-line'

Adulto			
Inquinante	CRS (mg/m³)	R	HI
NOX	2,50E-03	/	2,00E-02
CO	1,80E-03	/	5,75E-05
PM ₁₀	2,80E-05	/	3,58E-04
HCl	6,41E-05	/	1,02E-03
COT	1,36E-04	/	2,17E-04
Benzene	2,70E-05	2,31E-08	2,88E-04
TOTALE Inalazione vapori/polveri outdoor (R_{CUM} e HI_{CUM})		2,31E-08	2,19E-02

Bambino			
Inquinante	CRS (mg/m ³)	R	HI
NOX	2,50E-03	/	2,00E-02
CO	1,80E-03	/	5,75E-05
PM ₁₀	2,80E-05	/	3,58E-04
HCl	6,41E-05	/	1,02E-03
COT	1,36E-04	/	2,17E-04
Benzene	2,70E-05	5,77E-09	2,88E-04
TOTALE Inalazione vapori/polveri outdoor (R_{CUM} e HI_{CUM})		5,77E-09	2,19E-02

Scenario alla massima capacità produttiva con Progetto HOOP®

Adulto			
Inquinante	CRS (mg/m ³)	R	HI
NOX	2,54E-03	/	2,03E-02
CO	1,83E-03	/	5,85E-05
PM ₁₀	3,18E-05	/	4,07E-04
HCl	6,71E-05	/	1,07E-03
COT	1,38E-04	/	2,21E-04
Benzene	2,72E-05	2,33E-08	2,90E-04
TOTALE Inalazione vapori/polveri outdoor (R_{CUM} e HI_{CUM})		2,33E-08	2,23E-02

Bambino			
Inquinante	CRS (mg/m ³)	R	HI
NOX	2,54E-03	/	2,03E-02
CO	1,83E-03	/	5,85E-05
PM ₁₀	3,18E-05	/	4,07E-04
HCl	6,71E-05	/	1,07E-03
COT	1,38E-04	/	2,21E-04
Benzene	2,72E-05	5,81E-09	2,90E-04

Bambino			
Inquinante	CRS (mg/m ³)	R	HI
TOTALE Inalazione vapori/polveri outdoor (R_{CUM} e HI_{CUM})		5,81E-09	2,23E-02

Dalle analisi condotte e sopra riportate (Tabella 20-Tabella 21), è emerso che, per quanto riguarda lo scenario di esposizione residenziale e per ciascuna delle vie di esposizione considerate (inalazione di polveri da deposizione outdoor e inalazione di vapori/polveri outdoor) i rischi stimati per la salute umana legati allo scenario emissivo con Progetto HOOP® presentano un aumento limitato rispetto allo scenario di 'base-line' e risultano accettabili, in quanto i valori permangono sotto le soglie previste ($R < 10^{-6}$ e $RCUM < 10^{-5}$; HI e $HICUM < 1$).

Tabella 22: Calcolo del rischio cumulato – scenario residenziale

Scenario di 'base-line'	Adulto		Bambino	
	R _{CUM}	HI _{CUM}	R _{CUM}	HI _{CUM}
RESIDENZIALE – Σ RISCHI				
Inalazione polveri da deposizione outdoor	/	4,98E-08	/	7,36E-08
Inalazione vapori/polveri outdoor	2,31E-08	2,19E-02	5,77E-09	2,19E-02
TOTALE	2,31E-08	2,19E-02	5,77E-09	2,19E-02

Scenario massima capacità produttiva con HOOP®	Adulto		Bambino	
	R _{CUM}	HI _{CUM}	R _{CUM}	HI _{CUM}
RESIDENZIALE – Σ RISCHI				
Inalazione polveri da deposizione outdoor	/	6,16E-08	/	9,16E-08
Inalazione vapori/polveri outdoor	2,33E-08	2,23E-02	5,81E-09	2,23E-02
TOTALE	2,33E-08	2,23E-02	5,81E-09	2,23E-02

I risultati in Tabella 22 evidenziano l'accettabilità del rischio cumulato per entrambi i recettori in uno scenario residenziale nel complesso delle vie di esposizione considerate nello scenario emissivo con Progetto HOOP®, con variazioni trascurabili dei valori di rischio tossico e cancerogeno cumulato rispetto allo scenario di 'base-line'.

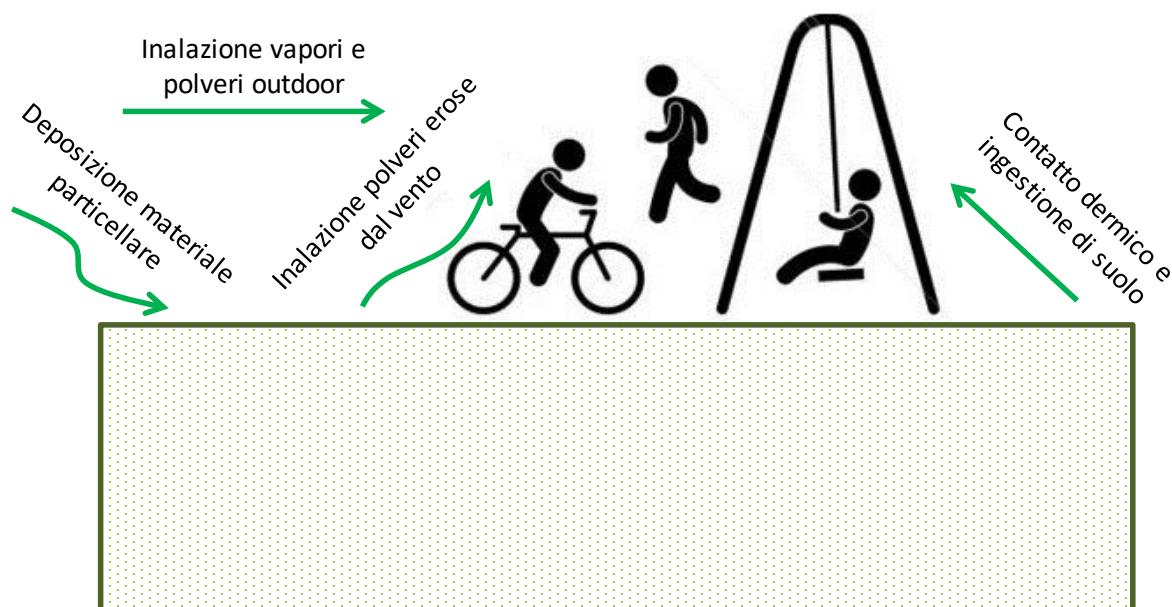
9.4 Scenario Ricreativo

Alla luce della ricostruzione del modello concettuale del Sito, lo scenario ricreativo prevede i seguenti percorsi di migrazione:

- trasporto in atmosfera degli inquinanti emessi dalle sorgenti convogliate e areali;
- deposizione del materiale particolato dall'atmosfera al suolo superficiale;
- erosione a opera del vento degli inquinanti depositati al suolo e dispersione in atmosfera delle polveri;

Le vie di esposizione sono state individuate in relazione ai diversi contaminanti considerati e con riferimento ai percorsi di migrazione ritenuti attivi:

- ingestione e contatto dermico con il suolo superficiale;
- inalazione outdoor di vapori e polveri presenti in atmosfera;
- inalazione outdoor di polveri provenienti dal suolo superficiale.



Nelle tabelle seguenti (Tabella 23-Tabella 24) sono riportati i risultati delle elaborazioni relative alle stime di rischio per lo scenario espositivo ricreativo per i diversi percorsi di esposizione, per gli scenari emissivi considerati.

Tabella 23: Calcolo del rischio per inalazione polveri da deposizione outdoor – scenario ricreativo

Scenario di 'base-line'

Adulto			
Inquinante	CRS (mg/kg)	R	HI
PM ₁₀	1,67E+00	/	1,92E-08
TOTALE Inalazione polveri da deposizione outdoor (R _{CUM} e HI _{CUM})		/	1,92E-08

Bambino			
Inquinante	CRS (mg/kg)	R	HI
PM ₁₀	2,47E+00	/	2,84E-08
TOTALE Inalazione polveri da deposizione outdoor (R_{CUM} e HI_{CUM})		/	2,84E-08

Scenario alla massima capacità produttiva con Progetto HOOP®

Adulto			
Inquinante	CRS (mg/kg)	R	HI
PM ₁₀	2,01E+00	/	2,31E-08
TOTALE Inalazione polveri da deposizione outdoor (R_{CUM} e HI_{CUM})		/	2,31E-08

Bambino			
Inquinante	CRS (mg/kg)	R	HI
PM ₁₀	2,99E+00	/	3,43E-08
TOTALE Inalazione polveri da deposizione outdoor (R_{CUM} e HI_{CUM})		/	3,43E-08

Tabella 24: Calcolo del rischio per inalazione di vapori/polveri outdoor – scenario ricreativo

Scenario di 'base-line'

Adulto			
Inquinante	CRS (mg/m³)	R	HI
NOX	2,50E-03	/	7,49E-03
CO	1,80E-03	/	2,16E-05
PM ₁₀	2,80E-05	/	1,34E-04
HCl	6,41E-05	/	3,84E-04
COT	1,36E-04	/	8,15E-05
Benzene	2,70E-05	8,65E-09	1,08E-04
TOTALE Inalazione vapori/polveri outdoor (R_{CUM} e HI_{CUM})		8,65E-09	8,22E-03

Bambino			
Inquinante	CRS (mg/m ³)	R	HI
NOX	2,50E-03	/	7,49E-03
CO	1,80E-03	/	2,16E-05
PM ₁₀	2,80E-05	/	1,34E-04
HCl	6,41E-05	/	3,84E-04
COT	1,36E-04	/	8,15E-05
Benzene	2,70E-05	2,16E-09	1,08E-04
TOTALE Inalazione vapori/polveri outdoor (R_{CUM} e HI_{CUM})		2,16E-09	8,22E-03

Scenario alla massima capacità produttiva con Progetto HOOP®

Adulto			
Inquinante	CRS (mg/m ³)	R	HI
NOX	2,03E-03	/	7,61E-03
CO	1,83E-03	/	2,19E-05
PM ₁₀	2,47E-05	/	1,52E-04
HCl	7,74E-05	/	4,02E-04
COT	1,16E-04	/	8,27E-05
Benzene	2,76E-05	8,72E-09	1,09E-04
TOTALE Inalazione vapori/polveri outdoor (R_{CUM} e HI_{CUM})		8,72E-09	8,38E-03

Bambino			
Inquinante	CRS (mg/m ³)	R	HI
NOX	2,03E-03	/	7,61E-03
CO	1,83E-03	/	2,19E-05
PM ₁₀	2,47E-05	/	1,52E-04
HCl	7,74E-05	/	4,02E-04
COT	1,16E-04	/	8,27E-05
Benzene	2,76E-05	2,18E-09	1,09E-04

Bambino			
Inquinante	CRS (mg/m ³)	R	HI
TOTALE Inalazione vapori/polveri outdoor (R_{CUM} e HI_{CUM})		2,18E-09	8,38E-03

Dalle analisi condotte e sopra riportate (Tabella 23-Tabella 24) è emerso che, per quanto riguarda lo scenario di esposizione ricreativo e per ciascuna delle vie di esposizione considerate (inalazione di polveri da deposizione outdoor e inalazione di vapori/polveri outdoor), i rischi stimati per la salute umana legati allo scenario emissivo con Progetto HOOP® presentano un aumento limitato rispetto allo scenario di 'base-line' e risultano accettabili, in quanto i valori permangono sotto le soglie previste ($R < 10^{-6}$ e $RCUM < 10^{-5}$; HI e HICUM < 1).

Tabella 25: Calcolo del rischio cumulato – scenario ricreativo

Scenario di 'base-line'	Adulto		Bambino	
	R _{CUM}	HI _{CUM}	R _{CUM}	HI _{CUM}
RICREATIVO – Σ RISCHI				
Inalazione polveri da deposizione outdoor	/	1,92E-08	/	2,84E-08
Inalazione vapori/polveri outdoor	8,65E-09	8,22E-03	2,16E-09	8,22E-03
TOTALE	8,65E-09	8,22E-03	2,16E-09	8,22E-03

Scenario massima capacità produttiva con HOOP®	Adulto		Bambino	
	R _{CUM}	HI _{CUM}	R _{CUM}	HI _{CUM}
RICREATIVO – Σ RISCHI				
Inalazione polveri da deposizione outdoor	/	2,31E-08	/	3,43E-08
Inalazione vapori/polveri outdoor	8,72E-09	8,38E-03	2,18E-09	8,38E-03
TOTALE	8,72E-09	8,38E-03	2,18E-09	8,38E-03

I risultati in Tabella 25 evidenziano l'accettabilità del rischio cumulato per entrambi i recettori in uno scenario ricreativo nel complesso delle vie di esposizione considerate nello scenario emissivo con Progetto HOOP®, con variazioni trascurabili dei valori di rischio tossico e cancerogeno cumulato rispetto allo scenario di 'base-line'.

9.5 Scenario Agricolo

Alla luce della ricostruzione del modello concettuale del Sito, lo scenario agricolo prevede i seguenti percorsi di migrazione:

- trasporto in atmosfera degli inquinanti emessi dalle sorgenti convogliate e areali;
- deposizione del materiale particolato dall'atmosfera al suolo superficiale;
- erosione a opera del vento degli inquinanti depositati al suolo e dispersione in atmosfera delle polveri;

Le vie di esposizione sono state individuate in relazione ai diversi contaminanti considerati e con riferimento ai percorsi di migrazione ritenuti attivi:

- inalazione outdoor di vapori e polveri presenti in atmosfera;
- inalazione outdoor di polveri provenienti dal suolo superficiale.

Le tabelle riportate in seguito (Tabella 26-Tabella 27) illustrano i risultati del calcolo del rischio per le diverse vie di esposizione negli scenari emissivi considerati.

Tabella 26: Calcolo del rischio per inalazione polveri da deposizione outdoor – scenario agricolo

Scenario di 'base-line'

Adulto			
Inquinante	CRS (mg/kg)	R	HI
PM ₁₀	1,67E+00	/	5,12E-08
TOTALE Inalazione polveri da deposizione outdoor (R _{CUM} e HI _{CUM})		/	5,12E-08

Bambino			
Inquinante	CRS (mg/kg)	R	HI
PM ₁₀	2,47E+00	/	7,57E-08
TOTALE Inalazione polveri da deposizione outdoor (R _{CUM} e HI _{CUM})		/	7,57E-08

Scenario alla massima capacità produttiva con Progetto HOOP®

Adulto			
Inquinante	CRS (mg/kg)	R	HI
PM ₁₀	2,01E+00	/	6,16E-08
TOTALE Inalazione polveri da deposizione outdoor (R _{CUM} e HI _{CUM})		/	6,16E-08

Bambino			
Inquinante	CRS (mg/kg)	R	HI
PM ₁₀	2,99E+00	/	9,16E-08
TOTALE Inalazione polveri da deposizione outdoor (R_{CUM} e HI_{CUM})		/	9,16E-08

Tabella 27: Calcolo del rischio per inalazione di vapori/polveri outdoor – scenario agricolo

Scenario di 'base-line'

Adulto			
Inquinante	CRS (mg/m³)	R	HI
NOX	5,89E-03	/	4,71E-02
CO	4,73E-03	/	1,51E-04
PM ₁₀	5,21E-05	/	6,66E-04
HCl	1,69E-04	/	2,70E-03
COT	2,56E-04	/	4,09E-04
Benzene	6,90E-05	5,90E-08	7,35E-04
TOTALE Inalazione vapori/polveri outdoor (R_{CUM} e HI_{CUM})		5,90E-08	5,17E-02

Bambino			
Inquinante	CRS (mg/m³)	R	HI
NOX	5,89E-03	/	4,71E-02
CO	4,73E-03	/	1,51E-04
PM ₁₀	5,21E-05	/	6,66E-04
HCl	1,69E-04	/	2,70E-03
COT	2,56E-04	/	4,09E-04
Benzene	6,90E-05	1,47E-08	7,35E-04
TOTALE Inalazione vapori/polveri outdoor (R_{CUM} e HI_{CUM})		1,47E-08	5,17E-02

Scenario alla massima capacità produttiva con Progetto HOOP®

Adulto			
Inquinante	CRS (mg/m³)	R	HI
NOX	5,98E-03	/	4,78E-02
CO	4,80E-03	/	1,53E-04
PM₁₀	6,24E-05	/	7,98E-04
HCI	1,75E-04	/	2,80E-03
COT	2,62E-04	/	4,19E-04
Benzene	6,95E-05	5,94E-08	7,40E-04
TOTALE Inalazione vapori/polveri outdoor (R_{CUM} e HI_{CUM})		5,94E-08	5,27E-02

Bambino			
Inquinante	CRS (mg/m³)	R	HI
NOX	7,69E-03	/	4,78E-02
CO	4,60E-03	/	1,53E-04
PM₁₀	6,57E-05	/	7,98E-04
HCI	1,91E-04	/	2,80E-03
COT	2,61E-04	/	4,19E-04
Benzene	7,29E-05	1,49E-08	7,40E-04
TOTALE Inalazione vapori/polveri outdoor (R_{CUM} e HI_{CUM})		1,49E-08	5,27E-02

Dalle analisi condotte e sopra riportate (Tabella 26-Tabella 27), è emerso che, per quanto riguarda lo scenario di esposizione agricolo e per ciascuna delle vie di esposizione considerate (inalazione di polveri da deposizione outdoor e inalazione di vapori/polveri outdoor), i rischi stimati per la salute umana legati allo scenario emissivo con Progetto HOOP® presentano un aumento limitato rispetto allo scenario di 'base-line' e risultano accettabili, in quanto i valori permangono sotto le soglie previste ($R < 10^{-6}$ e $RCUM < 10^{-5}$; HI e $HICUM < 1$).

Tabella 28: Calcolo del rischio cumulato – scenario agricolo

Scenario di 'base-line'	Adulto		Bambino	
	R_{CUM}	HI_{CUM}	R_{CUM}	HI_{CUM}
AGRICOLO – Σ RISCHI				
Inalazione polveri da deposizione outdoor	/	5,12E-08	/	7,57E-08
Inalazione vapori/polveri outdoor	5,90E-08	5,17E-02	1,47E-08	5,17E-02
TOTALE	5,90E-08	5,17E-02	1,47E-08	5,17E-02

Scenario massima capacità produttiva con HOOP®	Adulto		Bambino	
	<i>R_{CUM}</i>	<i>HI_{CUM}</i>	<i>R_{CUM}</i>	<i>HI_{CUM}</i>
AGRICOLO – Σ RISCHI				
Inalazione polveri da deposizione outdoor	0,00E+00	6,16E-08	0,00E+00	9,16E-08
Inalazione vapori/polveri outdoor	5,94E-08	5,27E-02	1,49E-08	5,27E-02
TOTALE	5,94E-08	5,27E-02	1,49E-08	5,27E-02

I risultati in Tabella 28 evidenziano l'accettabilità del rischio cumulato per entrambi i recettori in uno scenario agricolo nel complesso delle vie di esposizione considerate nello scenario emissivo con Progetto HOOP®, con variazioni trascurabili dei valori di rischio tossico e cancerogeno cumulato rispetto allo scenario di 'base-line'.

10.0 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Il presente documento illustra i risultati dell'approfondimento specialistico finalizzato alla valutazione degli effetti delle emissioni di inquinanti in atmosfera dallo stabilimento di Versalis S.p.A. ("Versalis") di Mantova, in via Taliercio n.14 ("Stabilimento") a seguito dell'entrata in esercizio del nuovo impianto pilota denominato Progetto HOOP® sulla salute della popolazione esposta.

Il presente studio si basa sui risultati dello studio modellistico atto a valutare la ricaduta al suolo degli inquinanti emessi in atmosfera dallo Stabilimento a seguito dell'entrata in esercizio del Progetto HOOP®. A tale documento (Rel. 21493955/13366 ALLEGATO 1) si rimanda per una descrizione di dettaglio dell'analisi modellistica eseguita.

Questo studio è stato redatto in conformità ai seguenti pareri:

- punto n. 6 della lettera della Provincia di Mantova Prot. GE 2021/0027041 del 10 maggio 2021
- punto n. 8 del Parere della CVTA n. 240 emesso il 7 maggio 2021 e trasmesso con Decreto n. 270 del 27/07/2021.

La sequenza metodologica adottata ha compreso la valutazione di due macro fasi:

- trasporto e diffusione degli inquinanti in atmosfera e deposizione al suolo (FASE 1);
- valutazione e stima del rischio ambientale e sanitario (Risk Assessment - approccio tossicologico) (FASE 2).

Relativamente alla FASE 1, Golder ha redatto, come indicato in premessa, un documento tecnico che riporta i risultati di uno studio di dispersione di inquinanti in atmosfera emessi dal Sito. Lo studio di dispersione è stato condotto per gli inquinanti CO, NOx, PM₁₀, HCl, COT, benzene ed ha previsto i seguenti scenari emissivi:

- **Scenario di 'base-line'**: flusso di massa emesso da ciascun camino corrispondente al prodotto della portata fumi e della concentrazione massima per ciascun parametro, secondo quanto previsto dall'autorizzazione vigente;
- **Scenario alla massima capacità produttiva con Progetto HOOP®**: flusso di massa emesso da ciascun camino corrispondente al prodotto della portata fumi autorizzata per la concentrazione massima autorizzata per ciascun parametro e le emissioni in atmosfera previste alla massima capacità produttiva dal Progetto HOOP®.

A partire dai risultati del modello, è stata calcolata la deposizione secca e umida degli inquinanti e successivamente questi stessi dati sono stati utilizzati come base documentale per la FASE 2 dello studio.

Attraverso la costruzione del Modello Concettuale del Sito sono stati esplicitati i legami tra le diverse componenti dell'Analisi di Rischio, permettendo di individuare i possibili percorsi di migrazione dei contaminanti e le vie di esposizione attive per i bersagli individuati, intendendo con il termine "bersagli" o "recettori" diverse e specifiche categorie di esposti (ad es. i bambini, gli adulti residenti, ecc.) agli inquinanti dispersi dal sito produttivo.

Di seguito si riporta schematicamente un riepilogo delle elaborazioni eseguite, ricordando che per il rischio cancerogeno cumulato (R) la soglia di sicurezza per la salute umana è pari a 1×10^{-5} (10^{-6} per il rischio legato alla singola sostanza), mentre per l'Hazard Index (HI), sia singolo che cumulato, la soglia è pari a 1.

Tabella 29: Schema di riepilogo delle elaborazioni eseguite per il calcolo del rischio cumulato – scenario industriale

RECETTORE LAVORATORE – Σ RISCHI	Scenario di 'base-line'		Scenario alla massima capacità produttiva con Progetto HOOP®	
	R_{CUM}	HI_{CUM}	R_{CUM}	HI_{CUM}
Inalazione polveri da deposizione outdoor	/	2,88E-08	/	3,49E-08
Inalazione vapori/polveri outdoor	1,48E-07	1,27E-01	1,49E-07	1,31E-01
TOTALE	1,48E-07	1,27E-01	1,49E-07	1,31E-01

I risultati evidenziano per lo scenario emissivo con Progetto HOOP® l'accettabilità del rischio cumulato per i percorsi di esposizione considerati nello scenario di esposizione industriale (Tabella 29), con un aumento limitato rispetto allo scenario di 'base-line'.

Tabella 30: Schema di riepilogo delle elaborazioni eseguite per il calcolo del rischio cumulato – scenario residenziale

RESIDENZIALE – Σ RISCHI	Adulto		Bambino	
	R_{CUM}	HI_{CUM}	R_{CUM}	HI_{CUM}
Inalazione polveri da deposizione outdoor	/	4,98E-08	/	7,36E-08
Inalazione vapori/polveri outdoor	2,31E-08	2,19E-02	5,77E-09	2,19E-02
TOTALE	2,31E-08	2,19E-02	5,77E-09	2,19E-02

RESIDENZIALE – Σ RISCHI	Adulto		Bambino	
	R_{CUM}	HI_{CUM}	R_{CUM}	HI_{CUM}
Inalazione polveri da deposizione outdoor	/	6,16E-08	/	9,16E-08
Inalazione vapori/polveri outdoor	2,33E-08	2,23E-02	5,81E-09	2,23E-02
TOTALE	2,33E-08	2,23E-02	5,81E-09	2,23E-02

I risultati evidenziano per lo scenario emissivo con Progetto HOOP® l'accettabilità del rischio cumulato per i percorsi di esposizione considerati, sia nel recettore adulto che nel recettore bambino, nello scenario di esposizione residenziale (Tabella 30), con un aumento limitato rispetto allo scenario di 'base-line'.

Tabella 31: Schema di riepilogo delle elaborazioni eseguite per il calcolo del rischio cumulato – scenario ricreativo

Scenario di 'base-line'	Adulto		Bambino	
	R_{CUM}	HI_{CUM}	R_{CUM}	HI_{CUM}
RICREATIVO – Σ RISCHI				
Inalazione polveri da deposizione outdoor	/	1,92E-08	/	2,84E-08
Inalazione vapori/polveri outdoor	8,65E-09	8,22E-03	2,16E-09	8,22E-03
TOTALE	8,65E-09	8,22E-03	2,16E-09	8,22E-03

Scenario massima capacità produttiva con HOOP®	Adulto		Bambino	
	R_{CUM}	HI_{CUM}	R_{CUM}	HI_{CUM}
RICREATIVO – Σ RISCHI				
Inalazione polveri da deposizione outdoor	/	2,31E-08	/	3,43E-08
Inalazione vapori/polveri outdoor	8,72E-09	8,38E-03	2,18E-09	8,38E-03
TOTALE	8,72E-09	8,38E-03	2,18E-09	8,38E-03

I risultati evidenziano per lo scenario emissivo con Progetto HOOP® l'accettabilità del rischio cumulato per i percorsi di esposizione considerati, sia nel recettore adulto che nel recettore bambino, nello scenario espositivo ricreativo (vedi

Tabella 31), con un aumento limitato rispetto allo scenario di 'base-line'.

Tabella 32: Schema di riepilogo delle elaborazioni eseguite per il calcolo del rischio cumulato – scenario agricolo

Scenario di 'base-line'	Adulto		Bambino	
	R_{CUM}	HI_{CUM}	R_{CUM}	HI_{CUM}
AGRICOLO – Σ RISCHI				
Inalazione polveri da deposizione outdoor	/	5,12E-08	/	7,57E-08
Inalazione vapori/polveri outdoor	5,90E-08	5,17E-02	1,47E-08	5,17E-02
TOTALE	5,90E-08	5,17E-02	1,47E-08	5,17E-02

Scenario massima capacità produttiva con HOOP®	Adulto		Bambino	
	R_{CUM}	HI_{CUM}	R_{CUM}	HI_{CUM}
AGRICOLO – Σ RISCHI				
Inalazione polveri da deposizione outdoor	0,00E+00	6,16E-08	0,00E+00	9,16E-08
Inalazione vapori/polveri outdoor	5,94E-08	5,27E-02	1,49E-08	5,27E-02
TOTALE	5,94E-08	5,27E-02	1,49E-08	5,27E-02

I risultati evidenziano per lo scenario emissivo con Progetto HOOP®, per lo scenario espositivo agricolo, l'accettabilità del rischio cumulato per i percorsi di esposizione considerati, sia per il recettore adulto che per il recettore bambino, nello scenario espositivo agricolo (Tabella 32), con un aumento limitato rispetto allo scenario di 'base-line'.

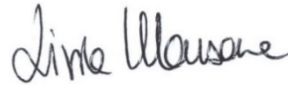
In conclusione, alla luce della valutazione effettuata sullo scenario con Progetto HOOP®, così come richiesto dalla Provincia di Mantova, tutti gli scenari espositivi risultano sempre entro i limiti di tollerabilità del rischio previsti per la sicurezza sanitaria (Allegato 1 al Titolo V della Parte Quarta del D.Lgs. 152/2006, come modificato dal D.Lgs. 4/2008).

Si sottolinea inoltre che lo scenario emissivo con Progetto HOOP® comporta, per tutti gli scenari di esposizione, variazioni trascurabili dei valori di rischio tossico e cancerogeno cumulato per il complesso dei percorsi di esposizione considerati, rispetto alla situazione alla massima capacità produttiva attuale, mantenendosi sempre ben al di sotto dei limiti di tollerabilità del rischio previsti per la sicurezza sanitaria.

Pagina delle firme



Roberto Gaveoglio
Senior Environmental Engineer



Livia Manzone
Project Director

C.F. e P.IVA 03674811009

Registro Imprese Torino

R.E.A. Torino n. TO-938498

Capitale sociale Euro 105.200.00 i.v.

Società soggetta a direzione e coordinamento di Enterra Holding Ltd. ex art. 2497 c.c.



golder.com