



LOCALITÀ CAVERNANO
COMUNE DI CHIANCIANO TERME
PROVINCIA DI SIENA

20
25

elaborato REL-009-GEN
valutazione delle emissioni di polveri sottili

*Ordinanza Commissariale n. 41 del
09/06/2023 - Intervento 09IR023/CI
Progetto di fattibilità tecnico
economica per i lavori di stabilizzazione
delle sponde del Fosso Cavernano*

committente:
Consorzio di Bonifica 2 Alto Valdarno



Dott. Geol. Michele Sani
Dott. Ing. Alessio Gabbrielli
Dott. Agr. Daniele Menabeni

prima emissione: 30/09/2024

revisione n. 1 del 29/01/2025

TERRA & OPERE S.R.L.

Dr. Geol. Gabriele Paolini
Dr. Geol. Fabio Picchi
Dr. Geol. Michele Sani

Via G. La Farina, 14, 50132 Firenze
tel. 0552477474 | fax 0550674063
e-mail: terraeopere@terraeopere.com
PEC: terraeopere@pec.terraeopere.com
sito web: www.terraeopere.com

INDICE

1. INTRODUZIONE	1
1.1. Generalità	1
1.2. Normativa di riferimento	1
1.3. Manipolazione, trasporto, carico, scarico e stoccaggio di materiali polverulenti	1
2. FOSSO CAVERNANO	2
2.1. Premessa	2
2.2. Disponibilità dell'area	2
2.3. Catasto	2
2.4. Introduzione al problema	2
2.5. Lavori previsti	5
2.6. Stima delle emissioni diffuse	8
2.6.1. Generalità	8
2.6.2. Dati a disposizione per lo sviluppo dei calcoli	8
2.6.3. Emissione E1: scavo per la nuova inalveazione (AP-42 13.2.3)	9
2.6.4. Emissione E2: formazione e stoccaggio dei cumuli (AP-42 13.2.4)	9
2.6.5. Emissione E3: erosione del vento dai cumuli (AP-42 13.2.5)	10
2.6.6. Emissione E4: riempimento del fosso (AP-42 13.2.3)	11
2.6.7. Emissione E5: Transito su strade e piste non pavimentate (AP-42 13.2.2)	12
2.6.8. Considerazioni conclusive	13
3. TORRENTE DEL RUOTI	16
3.1. Premessa	16
3.2. Ubicazione e catasto	18
3.3. Introduzione al problema	18
3.4. Lavori previsti	19
3.5. Stima delle emissioni diffuse	19
3.5.1. Generalità	19
3.5.2. Dati a disposizione per lo sviluppo dei calcoli	23
3.5.3. Emissione E1: scavo per la nuova inalveazione (AP-42 13.2.3)	23
3.5.4. Emissione E2: formazione e stoccaggio dei cumuli (AP-42 13.2.4)	24
3.5.5. Emissione E3: erosione del vento dai cumuli (AP-42 13.2.5)	25
3.5.6. Emissione E4: riempimento (AP-42 13.2.3)	26
3.5.7. Emissione E5: Transito su strade e piste non pavimentate (AP-42 13.2.2)	27
3.5.8. Considerazioni conclusive	27

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 - Ubicazione su carta topografica in scala 1:10.000 dell'area in oggetto.	3
Figura 2 - Ubicazione su ortofotocarta in scala 1:10.000 dell'area in oggetto.	4
Figura 3 - Aree che saranno occupate dal cantiere per la realizzazione dei lavori in progetto (particella 11 per intero e particella 25 per porzione).	6
Figura 4 - Recettori sensibili presenti intorno al cantiere dei lavori del Fosso Cavernano (scala 1:10.000).	7

Figura 5 - Vista dell'area di intervento ubicata nei pressi del Comune di Chianciano Terme– Provincia di Siena lungo il Torrente del Ruoti su immagine estratta da Google Earth PRO (data foto 13 febbraio 2024).	16
Figura 6 - Ubicazione su carta topografica in scala 1:25.000 dell'area oggetto della presente, posta lungo il Torrente del Ruoti nel territorio del Comune di Chianciano Terme (Provincia di Siena). Estratto dal Foglio n. 309b, Fonte dei dati Regione Toscana.	17
Figura 7 - Ubicazione su ortofotocarta con individuato il reticolo idrografico in scala 1:10.000 dell'area in oggetto.	20
Figura 8 - Individuazione della zona di intervento su estratto dalla Mappa Catastale del Comune di Chianciano Terme (scala 1:2.000).	21
Figura 9 - Recettori sensibili presenti intorno al cantiere dei lavori del Torrente del Ruoti (scala 1:10.000).	22

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 - Fattori di emissione areali per ogni movimentazione, per tipo di particolato.	11
Tabella 2 - Principali caratteristiche del cumulo di materiale fine che sarà realizzato durante i lavori del fosso Cavernano.	11
Tabella 3 - Sommatoria delle emissioni di PM ₁₀ in g/h delle varie fasi delle lavorazioni previste sul Fosso Cavernano.	13
Tabella 4 - Valutazione delle emissioni diffuse al variare della distanza tra recettore e sorgente per un numero di giorni annui di attività < 100 (da Allegato 2 al PRQA).	14
Tabella 5 - Quadro riassuntivo delle emissioni relative ai lavori del Fosso Cavernano.	15
Tabella 6 - Fattori di emissione areali per ogni movimentazione, per tipo di particolato.	25
Tabella 7 - Principali caratteristiche del cumulo di materiale fine che sarà realizzato durante i lavori del Torrente del Ruoti.	26
Tabella 8 - Sommatoria delle emissioni di PM ₁₀ in g/h delle varie fasi delle lavorazioni previste sul Torrente del Ruoti.	28
Tabella 9 - Valutazione delle emissioni diffuse al variare della distanza tra recettore e sorgente per un numero di giorni annui di attività < 100 (da Allegato 2 al PRQA).	28
Tabella 10 - Quadro riassuntivo delle emissioni relative ai lavori del Torrente del Ruoti.	29

* * *

1. INTRODUZIONE

1.1. Generalità

La presente relazione redatta su incarico del Consorzio di Bonifica 2 Alto Valdarno con sede in Via E.Rossi, 2/L in Arezzo, a seguito dell'Ordinanza Commissariale n. 41 del 9 giugno 2023, rappresenta la *Valutazione delle emissioni diffuse di polveri sottili* relativa all'intervento 09IR023/CI *Progetto di fattibilità tecnico economica per i lavori di stabilizzazione delle sponde del Fosso Cavernano*, ubicato in località Cavernano, nel territorio del Comune di Chianciano Terme (Provincia di Siena) e riguarda due diversi tratti di corsi d'acqua del bacino del Fosso Cavernano denominati rispettivamente Fosso Cavernano e Torrente del Ruoti che sono illustrati uno di seguito all'altro.

1.2. Normativa di riferimento

Per quanto riguarda le emissioni diffuse di polveri sottili la presente relazione tecnica è stata redatta con le indicazioni che sono contenute nell'Allegato 2 al Piano Regionale per la Qualità dell'Aria ambiente (in seguito PQRA) della Regione Toscana. L'Allegato 2 del PRQA ha come oggetto *Documento tecnico con determinazione di valori limite di emissione e prescrizione per le attività produttive*. Il presupposto fondamentale cui rimanda il documento citato è il D.Lgs. 3 aprile 2006, n. 152 avente come oggetto *Norme in materia ambientale* con tutte le sue successive modifiche e integrazioni. Dal punto di vista meramente tecnico, per le emissioni diffuse di polveri sottili l'Allegato 2 al PQRA fa riferimento ai modelli del *United States Environmental Protection Agency (US-EPA)* contenuti in *Emissions Factors & AP 42, Fifth Edition Compilation of Air Pollutant Emission Factors, Volume 1: Stationary Point and Area Sources*, reperibili sul sito web <https://www.epa.gov/air-emissions-factors-and-quantification/ap-42-compilation-air-emission-factors>.

1.3. Manipolazione, trasporto, carico, scarico e stoccaggio di materiali polverulenti

L'attività che verrà svolta nel cantiere di cui si tratta è quella di lavori di scavo, riempimento e realizzazione di scogliere e rivestimenti in pietrame.

L'allegato V - Parte I, alla Parte quinta del D.Lgs. 152/2006 indica le misure di mitigazione da prescrivere nelle fasi di produzione e manipolazione, trasporto, carico e scarico, stoccaggio e nel caso di materiali polverulenti contenenti specifiche categorie di sostanze (tabelle A1, A2 e B): dette sostanze sono assenti (la maggior parte) oppure saranno contenute nei limiti.

2. FOSSO CAVERNANO

2.1. Premessa

La presente relazione riguarda i lavori in progetto lungo le sponde di un tratto del Fosso Cavernano (figure 1 e 2), nel territorio del Comune di Chianciano Terme (Provincia di Siena) e rappresenta la valutazione delle emissioni diffuse di polveri sottili del cantiere in cui si svolgeranno i lavori.

2.2. Disponibilità dell'area

L'area in esame in cui verranno effettuati i lavori in progetto, è di proprietà del Comune di Chianciano Terme.

2.3. Catasto

L'area in cui si svolgeranno i lavori in progetto è identificata con le particelle n. 11 e n. 25 del foglio n. 1 della Mappa Catastale del Comune di Chianciano Terme (Provincia di Siena - figura 3).

2.4. Introduzione al problema

Le attività di movimento terra, formazione dei cumuli e transito su strade non pavimentate che verranno svolte nell'area in oggetto, posta in località Cavernano, comportano inevitabilmente la manipolazione, il trasporto, il carico e/o lo stoccaggio di materiali polverulenti e con la presente relazione tecnica, dopo un'attenta valutazione delle emissioni diffuse prodotte, si danno le indicazioni e le disposizioni su come contenere dette emissioni, oltre alla valutazione della compatibilità dell'attività in essere e di quella futura con i recettori sensibili esistenti nella zona (figura 4). Le polveri che saranno prodotte saranno piuttosto fini e costituite da materiale inerte, non contengono amianto e lo stesso si ritiene che sia anche per la silice cristallina.

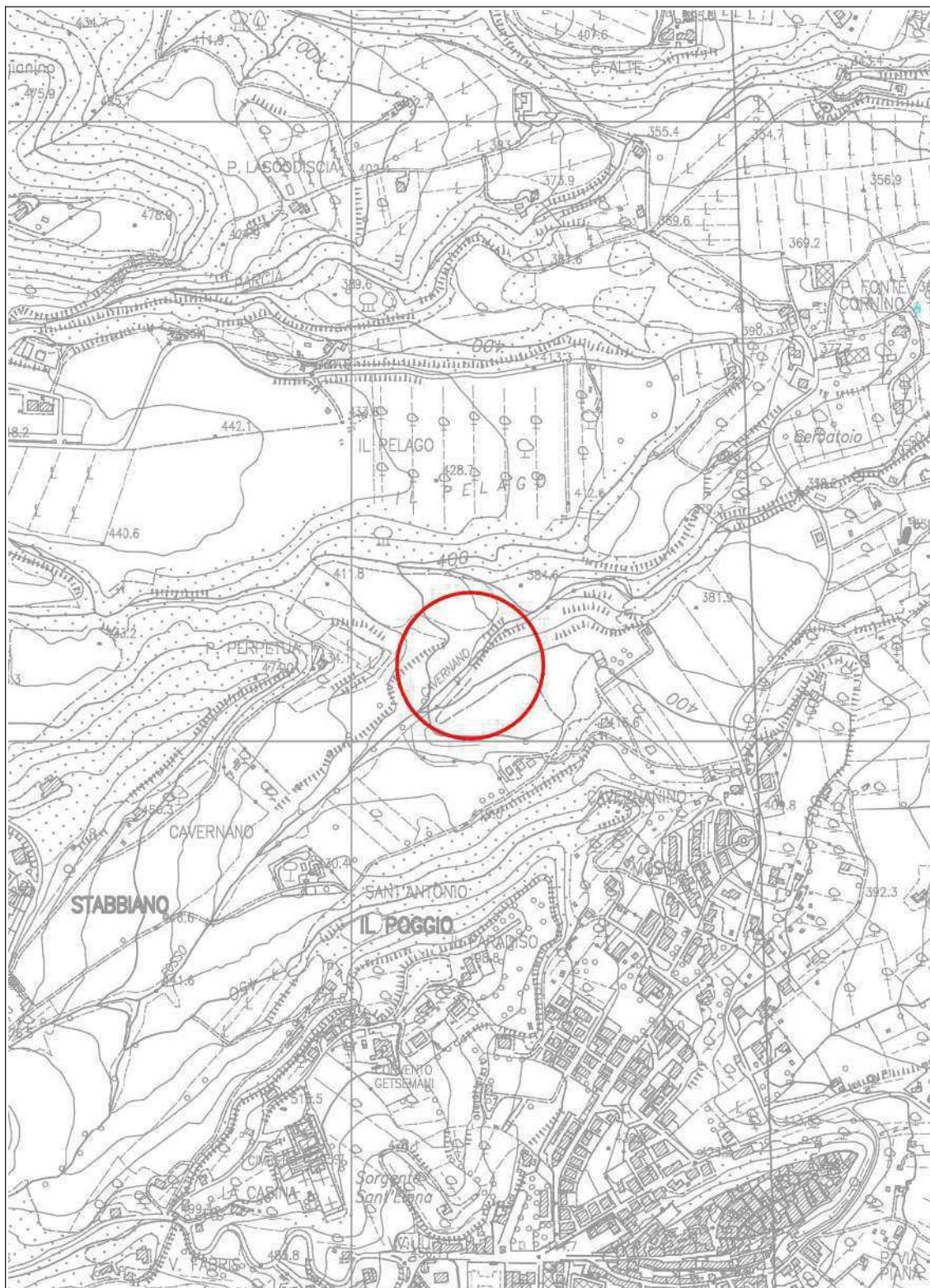


Figura 1 - Ubicazione su carta topografica in scala 1:10.000 dell'area in oggetto.

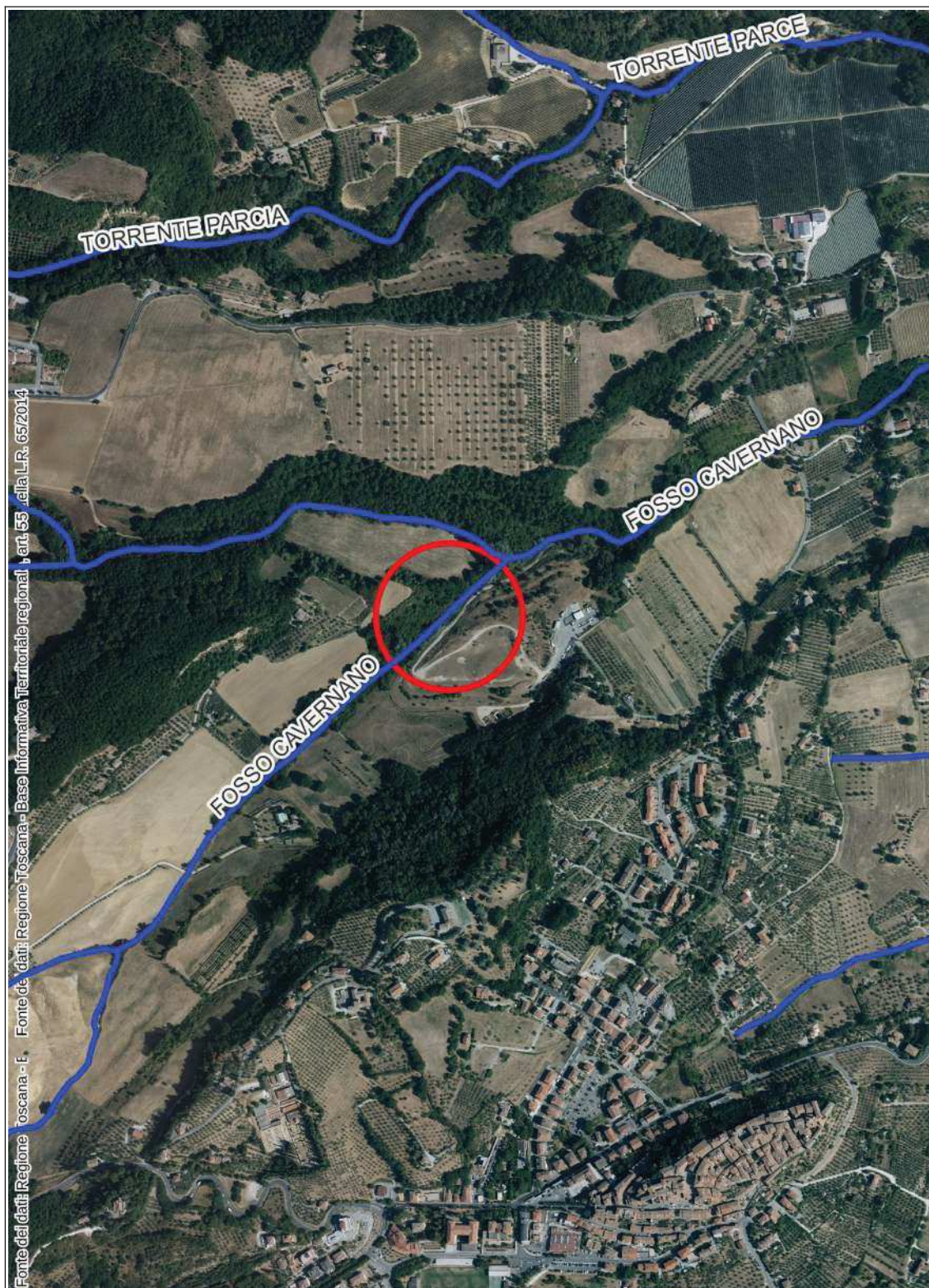


Figura 2 - Ubicazione su ortofotocarta in scala 1:10.000 dell'area in oggetto.

Le lavorazioni dureranno 100 (cento) giorni e dunque l'area potrà essere sottoposta a tutti i possibili agenti atmosferici quali la nebbia, la pioggia, la neve, la grandine, il vento, l'irraggiamento solare, ..., ecc..

L'area in cui si svolgeranno le attività in questione è rappresentata da una zona praticamente pianeggiante e non esistono, nelle vicinanze e nelle aree immediatamente limitrofe, situazioni morfologiche tali da convogliare e/o accelerare il normale scorrimento dei venti.

L'area ubicata lungo il Fosso Cavernano nel territorio del Comune di Chianciano Terme è abbastanza isolata e oltre al centro di raccolta all'interno della quale sono presenti degli uffici, tutti i recettori sensibili nei confronti dei quali devono essere valutate attentamente le emissioni di polveri sottili, distano oltre 150 m (figure 1 e 2).

2.5. Lavori previsti

Il progetto della sistemazione delle sponde del Fosso Cavernano consta sostanzialmente dello spostamento verso nord di un tratto del corso d'acqua lungo circa 140 m.

La nuova inalveazione avrà una sezione d'alveo di forma trapezia regolare con larghezza al fondo di 1 m. In particolare si procederà attraverso lo scavo del nuovo alveo e con le terre derivate sarà riempito l'alveo abbandonato. Lungo il nuovo tratto di alveo, con lo scopo di ridurre la pendenza e quindi la capacità erosiva, saranno realizzati tre salti di quota. La pendenza del nuovo tratto sarà quindi ridotta al 6%.

I salti d'acqua saranno realizzati con massi di grandi dimensioni mentre l'alveo sarà interamente rivestito con pietrame al fine di evitare problemi di erosione lineare. Il nuovo tratto dell'alveo del corso d'acqua avrà un andamento simil-rettilineo. Il tratto di intervento termina a valle con una vasca di calma dalla quale l'acqua ripartirà con scarsa velocità prendendo l'alveo di valle non oggetto di intervento.

L'obiettivo del progetto è semplicemente quello di allontanare il Fosso Cavernano dalla base del rilevato che costituisce la discarica di rifiuti solidi urbani (RSU) e di sistemarne le sponde evitando problemi di erosione.

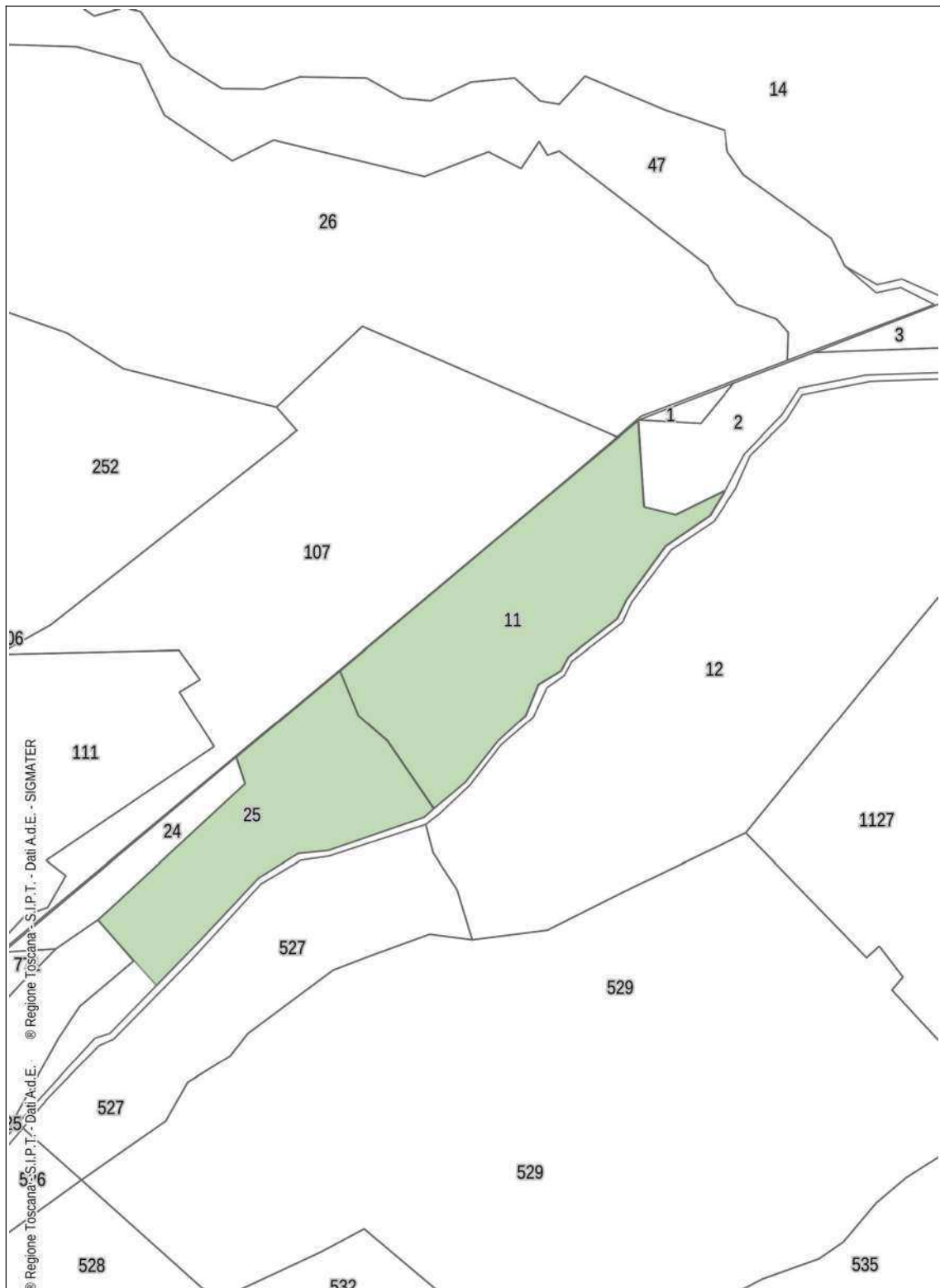


Figura 3 - Aree che saranno occupate dal cantiere per la realizzazione dei lavori in progetto (particella 11 per intero e particella 25 per porzione).

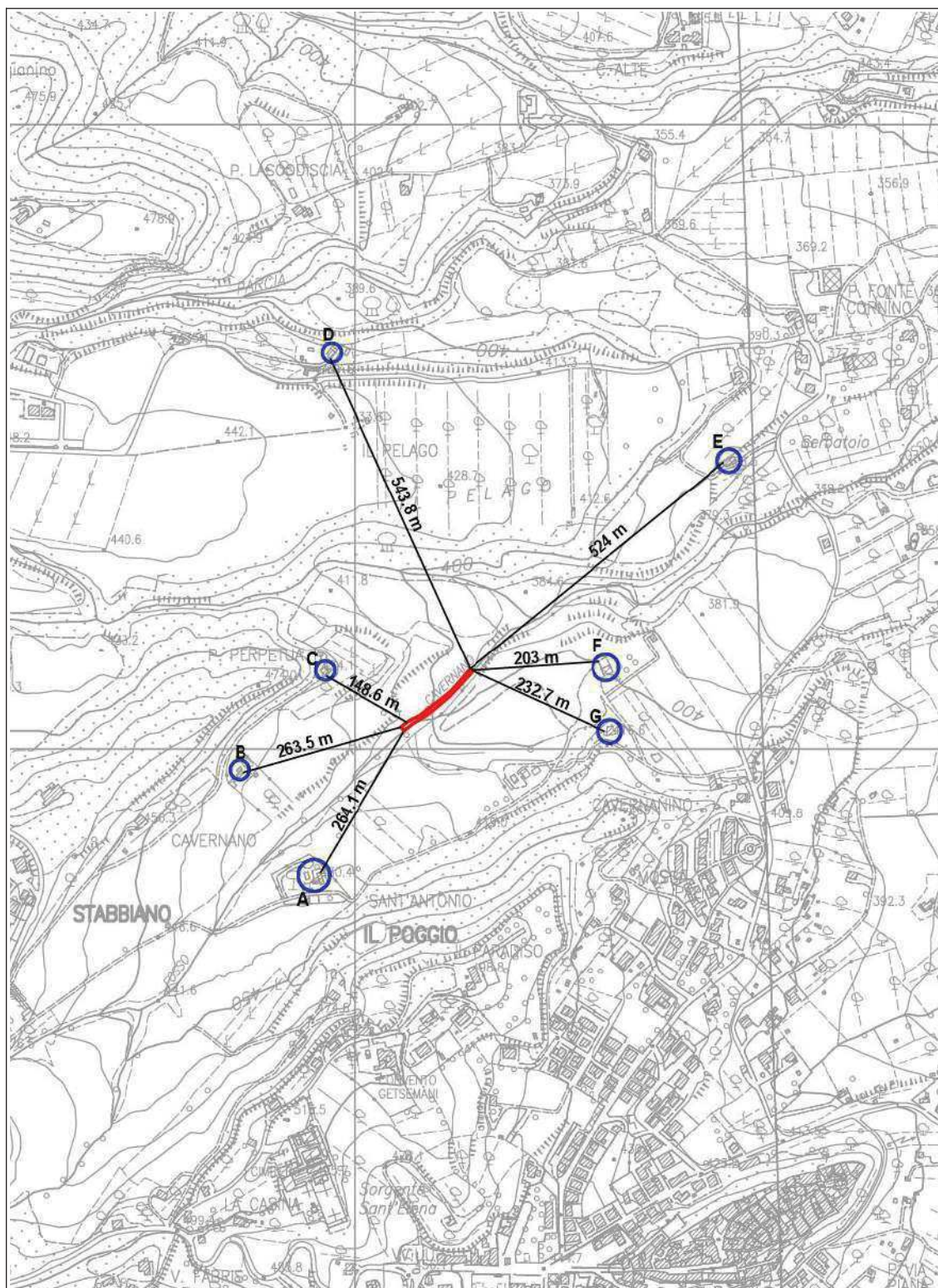


Figura 4 - Recettori sensibili presenti intorno all cantiere dei lavori del Fosso Cavernano (scala 1:10.000).

2.6. Stima delle emissioni diffuse

2.6.1. Generalità

Come prima cosa va detto che i modelli e le tecniche di stima dell'Allegato 2 al PRQA si riferiscono sia al PM₁₀ ma anche alle PTS (polveri totali sospese) e al PM_{2,5}. Per queste due ultime frazioni tuttavia non sono state sviluppate analoghe valutazioni a quelle del PM₁₀ e non esistono soglie emissive. Di fatto quindi in questo studio ci riferiremo al solo PM₁₀. I metodi di valutazione e di stima delle emissioni a cui facciamo riferimento nella presente relazione, sono quelli proposti e validati dall'US-EPA (con alcuni adattamenti e semplificazioni), e contenuti nel documento: AP-42 "*Compilation of Air Pollutant Emission Factors*". Ogni fase di attività capace di emettere polveri viene classificata tramite il codice SCC (Source Classification Codes). Le emissioni di PM₁₀ (PTS e PM_{2,5}) sono in genere espresse in termini di rateo emissivo orario espresso o in chilogrammi all'ora (kg/h) oppure in grammi all'ora (g/h).

Le sorgenti delle emissioni di polveri diffuse nel cantiere saranno legate allo scavo del nuovo alveo, allo stoccaggio e formazione dei cumuli, all'erosione del vento dai cumuli, al riempimento del fosso e al transito degli automezzi.

2.6.2. Dati a disposizione per lo sviluppo dei calcoli

I dati necessari per procedere con il calcolo delle emissioni dei vari processi sono facilmente disponibili una volta che sono note le caratteristiche della lavorazioni (quantità oraria di materiale inerte lavorato, tipologia delle lavorazioni, lunghezza dei percorsi effettuati dai mezzi meccanici, peso dei mezzi d'opera, dimensione dei cumuli, peso medio dei veicoli, quantità di calcestruzzo confezionato, ecc.). Per i lavori in progetto i dati utili possono essere schematizzati come segue:

- durata complessiva dei lavori 100 giorni
- durata del lavoro al giorno 8 (otto) ore
- scavo previsto 1.400 mc
- riempimento previsto 1.400 mc
- scogliera da trasportare 1.920 t

Di seguito viene calcolata quindi l'emissione giornaliera in ogni diversa fase di lavorazione procedendo poi alla sommatoria e alle necessarie conclusioni.

2.6.3. Emissione E1: scavo per la nuova inalveazione (AP-42 13.2.3)

Per l'attività di scavo della nuova inalveazione si è fatto riferimento al SCC 3-05-010-36 *Dragline: Overburden Removal* del *United States Environmental Protection Agency (US-EPA) in Emissions Factors & AP 42, Fifth Edition Compilation of Air Pollutant Emission Factors, Volume 1: Stationary Point and Area Sources*. Il rateo del fattore di emissione si calcola con la formula:

$$\frac{9.3 \times 10^{-4} \times (H / 0.30)^{0.7}}{M^{0.3}}$$

la quale determina il rateo emissivo in kg per Mg di materiale escavato dove:

H è l'altezza di caduta

M il contenuto in percentuale di umidità del materiale

Il rateo emissivo è pari a è pari a $1,641 \times 10^{-3}$ kg/Mg di materiale escavato. Visto che con la formula sopra riportata si calcolano le PTS, la determinazione del PM₁₀ è stata fatta prendendo il 60% delle PTS come suggerito dalle Linee Guida. L'emissione così calcolata è pari a **22,15 g/h**.

2.6.4. Emissione E2: formazione e stoccaggio dei cumuli (AP-42 13.2.4)

Il modello è proposto nel paragrafo 13.2.4 *Aggregate Handling and Storage Piles* dell'AP-42 ed è predisposto per calcolare l'emissione di polveri per quantità di materiale lavorato in base al fattore di emissione:

$$EF_i (kg/Mg) = k_i (0,0016) \frac{\left(\frac{u}{2,2}\right)^{1,3}}{\left(\frac{M}{2}\right)^{1,4}}$$

dove:

Efi è il fattore di emissione

i è il tipo di particolato (PTS, PM₁₀, PM_{2,5})

ki è un coefficiente che dipende dalle dimensioni del particolato e per il PM10 è pari a 0,35

u è la velocità del vento (va da 0,6 a 6,7 m/)

M è il contenuto in percentuale di umidità (%) (va da 0,2 a 4,8)

Come indicato nell'Allegato 2 del PRQA, in assenza di dati meteorologici sul vento, la formula sopra esposto può essere semplificata, per le ore diurne, come segue:

$$E_{\text{idiurno}} = K_i (0,0058) \frac{1}{M^{1,4}}$$

Una volta determinato che è stato il rateo emissivo deve essere rapportato con la quantità di materiale che viene accumulato in relazione alla durata della giornata lavorativa (8 ore) allo scopo di determinare il rateo emissivo orario in grammi. Dopo lo sviluppo dei calcoli, precisando che per cautela il contenuto in percentuale di umidità M è stato utilizzato come pari al 2,5% e che il materiale lavorato al giorno corrisponde a 180 Mg (tonnellate), utilizzando la cosiddetta formula semplificata è stato determinato il rateo emissivo che è risultato essere pari a **12,66 g/h**.

2.6.5. Emissione E3: erosione del vento dai cumuli (AP-42 13.2.5)

Il modello è proposto nel paragrafo 13.2.5 *Industrial Wind Erosion* dell'AP-42 ed è predisposto per calcolare l'emissione di polveri per cumulo in base al fattore di emissione:

$$E_i = EF_i \cdot a \cdot \text{movh}$$

dove

i è il particolato (PTS, PM₁₀, PM_{2,5})

Efi è il fattore areale di emissione dell'i-esimo tipo di particolato

a è la superficie dell'area movimentata in mq

movh è il numero di movimentazioni ora (tre per ognuno dei quattro cumuli)

In base all'altezza del cumulo e al diametro della base, si individuano i seguenti fattori areali per ogni movimentazione come nella tabella 1. Sarà presente solamente un cumulo lungo 140 m e largo 3 m costituito da materiale fine e quindi soggetto alle emissioni diffuse.

cumuli alti $H/D > 0,2$		cumuli bassi $H/D \leq 0,2$	
particolato	EF_i (Kg/m ²)	particolato	EF_i (Kg/m ²)
PTS	1,6E-05	PTS	5,1E-04
PM ₁₀	7,9E-06	PM ₁₀	2,5E-04
PM _{2,5}	1,3E-06	PM _{2,5}	3,8E-05

Tabella 1 - Fattori di emissione areali per ogni movimentazione, per tipo di particolato.

Le principali caratteristiche del due cumulo di materiale fine sono riportate in tabella 2.

Il rateo emissivo complessivo calcolato per il cumulo di materiale a granulometria fine è pari a **12,66 g/h**.

materiale	dimensioni				superficie laterale del cumulo (mq)	cumulo alto/ basso
	Largh. [m]	Lungh. [m]	altezza [m]	sup. di base [mq]		
Limo argilloso	3	140	3	420	4027,22	alto

Tabella 2 - Principali caratteristiche del cumulo di materiale fine che sarà realizzato durante i lavori del fosso Cavernano.

2.6.6. Emissione E4: riempimento del fosso (AP-42 13.2.3)

Per l'attività di riempimento del vecchio fosso, che verrà sostituito dalla nuova inalveazione, si è fatto riferimento al SCC 3-05-010-36 *Dragline*:

Overburden Removal del *United States Environmental Protection Agency (US-EPA)* in *Emissions Factors & AP 42, Fifth Edition Compilation of Air Pollutant Emission Factors, Volume 1: Stationary Point and Area Sources*. Il rateo del fattore di emissione si calcola con la formula:

$$\frac{9.3 \times 10^{-4} \times (H / 0.30)^{0.7}}{M^{0.3}}$$

la quale determina il rateo emissivo in kg per Mg di materiale collocato

dove:

H è l'altezza di caduta

M il contenuto in percentuale di umidità del materiale

Il rateo emissivo è pari a è pari a $1,641 \times 10^{-3}$ kg/Mg di materiale collocato. Visto che con la formula sopra riportata si calcolano le PTS, la determinazione del PM₁₀ è stata fatta prendendo il 60% delle PTS come suggerito dalle Linee Guida. L'emissione così calcolata è pari a **22,15 g/h**.

2.6.7. Emissione E5: Transito su strade e piste non pavimentate (AP-42 13.2.2)

Il transito dei camion che trasportano i materiali per la realizzazione della scogliera sulle strade non pavimentate, è certamente la criticità maggiore con cui ci si confronta ogni volta che ci si appropria a verificare l'emissione di polveri sottili. Per quanto riguarda le piste si è ipotizzato che il contenuto di "silt" del materiale che costituisce la pista sia pari al 12%, che gli autocarri abbiano mediamente un peso di 32 t e considerando la giornata lavorativa di otto ore. Inserendo questi dati nell'espressione "*Unpaved road*":

$$EF_i = K_i \left(\frac{s}{12} \right)^{a_i} \left(\frac{W}{3} \right)^{b_i}$$

dove:

Ef i è il fattore di emissione lineare in kg/km
i particolato (PTS, PM₁₀, PM_{2,5})
s contenuto di limo del suolo in percentuale in massa (%)
W il peso medio veicolo in t
Ki, ai, bi sono coefficienti che variano a seconda del tipo di particolato considerato (per il PM₁₀ valgono rispettivamente 0,43230, 0,9000, 0,4500)

si ottiene un fattore di emissione di 1,22731 kg/km con una emissione totale di **1.227,31 g/h**.

2.6.8. Considerazioni conclusive

La sommatoria delle emissioni diffuse di polveri sottili che si avrà nel cantiere dei lavori previsti nel Fosso di Cavernano (Comune di Chianciano Terme) può essere letta nella tabella 3 e il quadro emissivo nella tabella 5.

attività	emissioni in g/ora
E1 – scavo del materiale	22,15
E2 – formazione e stoccaggio cumuli	12,66
E3 – azione del vento sui cumuli	31,82
E4 – riempimento fosso	11,10
E5 – transito su strade non pavimentate	153,41
SOMMATORIA	231,15

Tabella 3 - Sommatoria delle emissioni di PM₁₀ in g/h delle varie fasi delle lavorazioni previste sul Fosso Cavernano.

La sommatoria delle emissioni diffuse di particolato che si avrà nell'area in cui si svolgeranno i lavori in progetto può essere letta nella tabella 3.

Vista l'entità dell'emissione e il fatto che tutti i recettori sensibili sono ad una distanza superiore a 50 m dalla sorgente (figura 4), non risulta necessario procedere a nessuna azione come evidente dalla tabella 4.

Intervallo di distanza (m) del recettore dalla sorgente	Soglia di emissione di PM ₁₀ (g/h)	risultato
0 ÷ 50	<104	Nessuna azione
	104 ÷ 208	Monitoraggio presso il recettore o valutazione modellistica con dati sito specifici
	>208	Non compatibile (*)
50 ÷ 100	<364	Nessuna azione
	364 ÷ 628	Monitoraggio presso il recettore o valutazione modellistica con dati sito specifici
	>628	Non compatibile (*)
100 ÷ 150	<746	Nessuna azione
	746 ÷ 1492	Monitoraggio presso il recettore o valutazione modellistica con dati sito specifici
	>1492	Non compatibile (*)
> 150	<1022	Nessuna azione
	1022 ÷ 2044	Monitoraggio presso il recettore o valutazione modellistica con dati sito specifici
	>2044	Non compatibile (*)

Tabella 4 - Valutazione delle emissioni diffuse al variare della distanza tra recettore e sorgente per un numero di giorni annui di attività < 100 (da Allegato 2 al PRQA).

Vista la durata del cantiere e le condizioni descritte nelle pagine che precedono si dettano le seguenti disposizioni:

- la velocità degli automezzi e dei camion non dovrà superare i 30 km/h al fine di contenere al massimo il sollevamento delle polveri sottili;
- poiché nell'area vi saranno diverse lavorazioni che produrranno emissioni di polveri sottili, è stata calcolata la sommatoria di tutte queste che però non è detto che si verifichino tutte con l'intensità dichiarata e nello stesso momento (anzi è certo che ciò non avverrà). Ci saranno dunque parecchi momenti in cui la sommatoria delle emissioni di particolato PM₁₀ sarà ben più bassa di quella stimata.

SIGLA EMISSIONE	ORIGINE DELL'EMISSIONE	PORTATA Nmc/h	SEZIONE DI SBOCCO mq	VELOCITÀ DI SBOCCO m/s	TEMPERATURA DI EMISSIONE °C	ALTEZZA DI EMISSIONE m	DURATA DELL'EMISSIONE		IMPIANTO DI ABBATTIMENTO	STIMA DEGLI INQUINANTI EMESSI		
							h/g	g/a		INQUINANTI	mg/Nmc	g/h
E1	Scavo del materiale	-	-	-	ambiente	-	8	100	-	Polveri totali	-	22,15
E2	Formazione e stoccaggio dei cumuli	-	-	-	ambiente	-	8	100	-	Polveri totali	-	12,66
E3	Azione del vento sui cumuli	-	-	-	ambiente	-	8	100	-	Polveri totali	-	31,82
E4	Riempimento del fosso di Cavernano	-	-	-	ambiente	-	8	100	-	Polveri totali	-	11,10
E5	Transito su strade non pavimentate	-	-	-	ambiente	-	8	100	-	Polveri totali	-	153,41

Tabella 5 - Quadro riassuntivo delle emissioni relative ai lavori del Fosso Cavernano.

3. TORRENTE DEL RUOTI

3.1. Premessa

La presente relazione riguarda i lavori in progetto lungo le sponde di un tratto del Torrente del Ruoti (figure 5 e 6), nel territorio del Comune di Chianciano Terme (Provincia di Siena) e rappresenta la valutazione delle emissioni diffuse di polveri sottili del cantiere in cui si svolgeranno i lavori.



Figura 5 - Vista dell'area di intervento ubicata nei pressi del Comune di Chianciano Terme– Provincia di Siena lungo il Torrente del Ruoti su immagine estratta da Google Earth PRO (data foto 13 febbraio 2024).

Il presente progetto di fattibilità tecnico economica (PFTE) è supportato da alcune indagini quali, un rilievo topografico planoaltimetrico dell'area e delle zone immediatamente limitrofe.

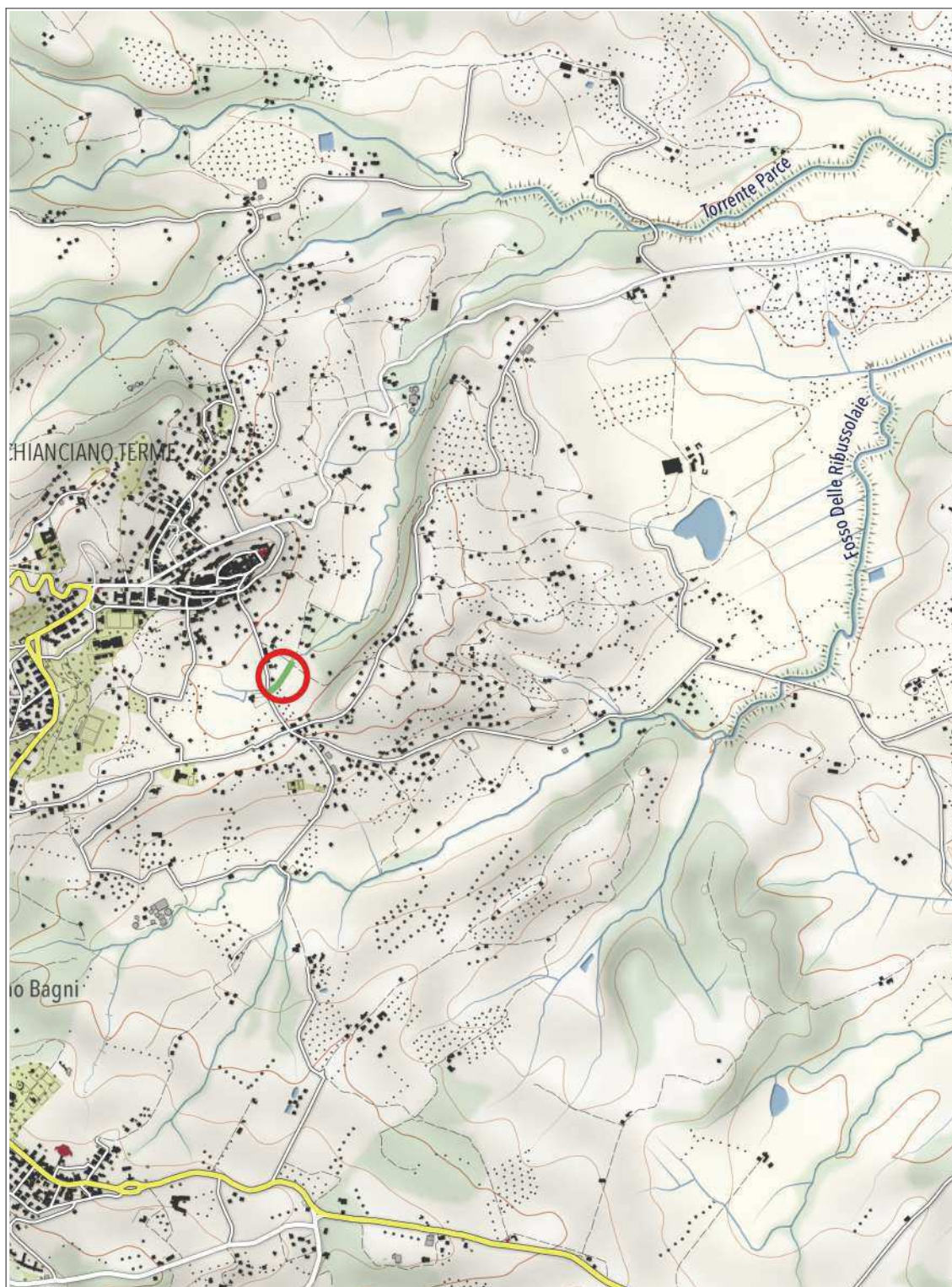


Figura 6 - Ubicazione su carta topografica in scala 1:25.000 dell'area oggetto della presente, posta lungo il Torrente del Ruoti nel territorio del Comune di Chianciano Terme (Provincia di Siena). Estratto dal Foglio n. 309b, Fonte dei dati Regione Toscana.

L'intervento in progetto è stato ritenuto necessario sia a causa dei numerosi fenomeni erosivi che stanno interessando il tratto del Torrente del Ruoti.

3.2. Ubicazione e catasto

Il *Progetto di fattibilità tecnico economica per i lavori di stabilizzazione delle sponde del Torrente del Ruoti* (PFTE) si riferisce ad un'area posta in un fondo valle a nord di Pietriccia e a sud del centro storico di Chianciano Terme (figura 7), nel territorio del Comune di Chianciano Terme. L'intervento è posto alla longitudine di 11°50'03.40" E e alla latitudine di 43°03.16'84" N, entrambe determinate nel sistema di coordinate geografiche di tipo geodetico di riferimento WGS84.

L'area d'intervento è compresa tra Via Madonna della Rosa e la Strada Vicinale del Sordino, interna al Foglio n. 12 della Mappa Catastale del Comune di Chianciano Terme (figura 8). L'intervento si svolgerà entro 4 m dal ciglio di sponda da ciascun lato del Torrente del Ruoti e Particelle interessate saranno la n. 38, 42, 55, 57, 58, 496.

3.3. Introduzione al problema

Le attività di movimento terra, formazione dei cumuli e transito su strade non pavimentate che verranno svolte nell'area in oggetto, posta in località Pietriccia, comportano inevitabilmente la manipolazione, il trasporto, il carico e/o lo stoccaggio di materiali polverulenti e con la presente relazione tecnica, dopo un'attenta valutazione delle emissioni diffuse prodotte, si danno le indicazioni e le disposizioni su come contenere dette emissioni, oltre alla valutazione della compatibilità dell'attività in essere e di quella futura con i recettori sensibili esistenti nella zona (figura 9). Le polveri che saranno prodotte saranno piuttosto fini e costituite da materiale inerte, non contengono amianto e lo stesso si ritiene che sia anche per la silice cristallina.

Le lavorazioni dureranno 90 (novanta) giorni e dunque l'area potrà essere sottoposta a tutti i possibili agenti atmosferici quali la nebbia, la pioggia, la neve, la grandine, il vento, l'irraggiamento solare, ..., ecc..

L'area in cui si svolgeranno le attività in questione è rappresentata da una

zona praticamente pianeggiante e non esistono, nelle vicinanze e nelle aree immediatamente limitrofe, situazioni morfologiche tali da convogliare e/o accelerare il normale scorrimento dei venti.

L'area di intervento, che risulta ubicata lungo il Torrente del Ruoti, nel territorio del Comune di Chianciano Terme, è in posizione abbastanza isolata e infatti tutti i recettori sensibili, rappresentati da case sparse, nei confronti dei quali devono essere valutate attentamente le emissioni di polveri sottili, distano oltre 100 m (figura 9).

3.4. Lavori previsti

Il progetto della sistemazione delle sponde del Torrente del Ruoti consta sostanzialmente nella stabilizzazione delle sponde destra e sinistra per una tratto.

L'obiettivo del progetto è semplicemente quello di eliminare la possibilità che nel tratto del Torrente del Ruoti si possano verificare ulteriori fenomeni erosivi di sponda.

3.5. Stima delle emissioni diffuse

3.5.1. Generalità

Come prima cosa va detto che i modelli e le tecniche di stima dell'Allegato 2 al PRQA si riferiscono sia al PM₁₀ ma anche alle PTS (polveri totali sospese) e al PM_{2,5}. Per queste due ultime frazioni tuttavia non sono state sviluppate analoghe valutazioni a quelle del PM₁₀ e non esistono soglie emissive. Di fatto quindi in questo studio ci riferiremo al solo PM₁₀. I metodi di valutazione e di stima delle emissioni a cui facciamo riferimento nella presente relazione, sono quelli proposti e validati dall'US-EPA (con alcuni adattamenti e semplificazioni), e contenuti nel documento: AP-42 "*Compilation of Air Pollutant Emission Factors*". Ogni fase di attività capace di emettere polveri viene classificata tramite il codice SCC (Source Classification Codes). Le emissioni di PM₁₀ (PTS e PM_{2,5}) sono in genere espresse in termini di rateo emissivo orario espresso o in chilogrammi all'ora (kg/h) oppure in grammi all'ora (g/h).

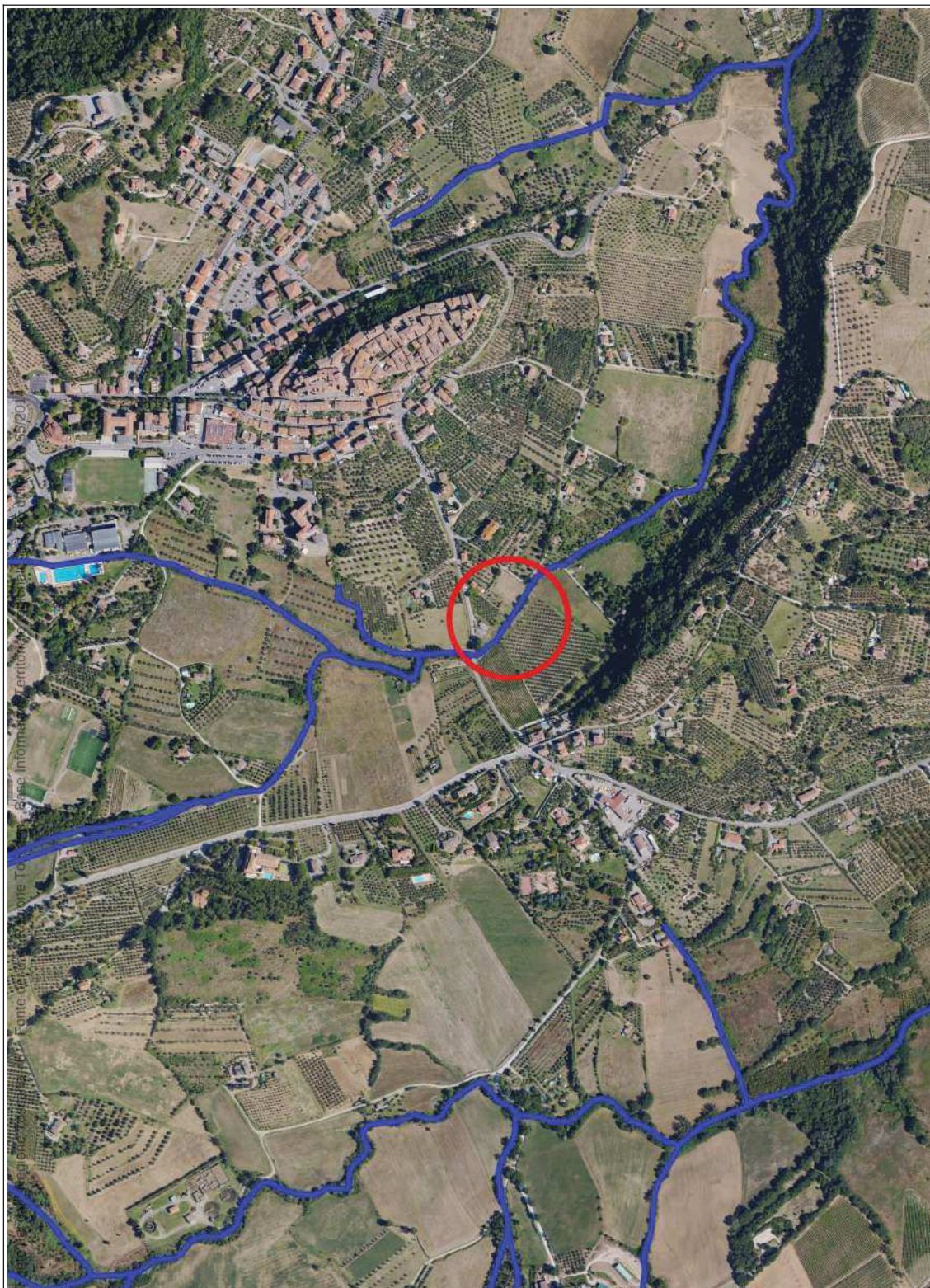


Figura 7 - Ubicazione su ortofotocarta con individuato il reticolo idrografico in scala 1:10.000 dell'area in oggetto.

**PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA PER I LAVORI
DI STABILIZZAZIONE DELLE SPONDE DEL FOSCO CAVERNANO
(COMUNE DI CHIANCIANO TERME – PROVINCIA DI SIENA)
- VALUTAZIONE DELLE EMISSIONI DI POLVERI SOTTILI -**

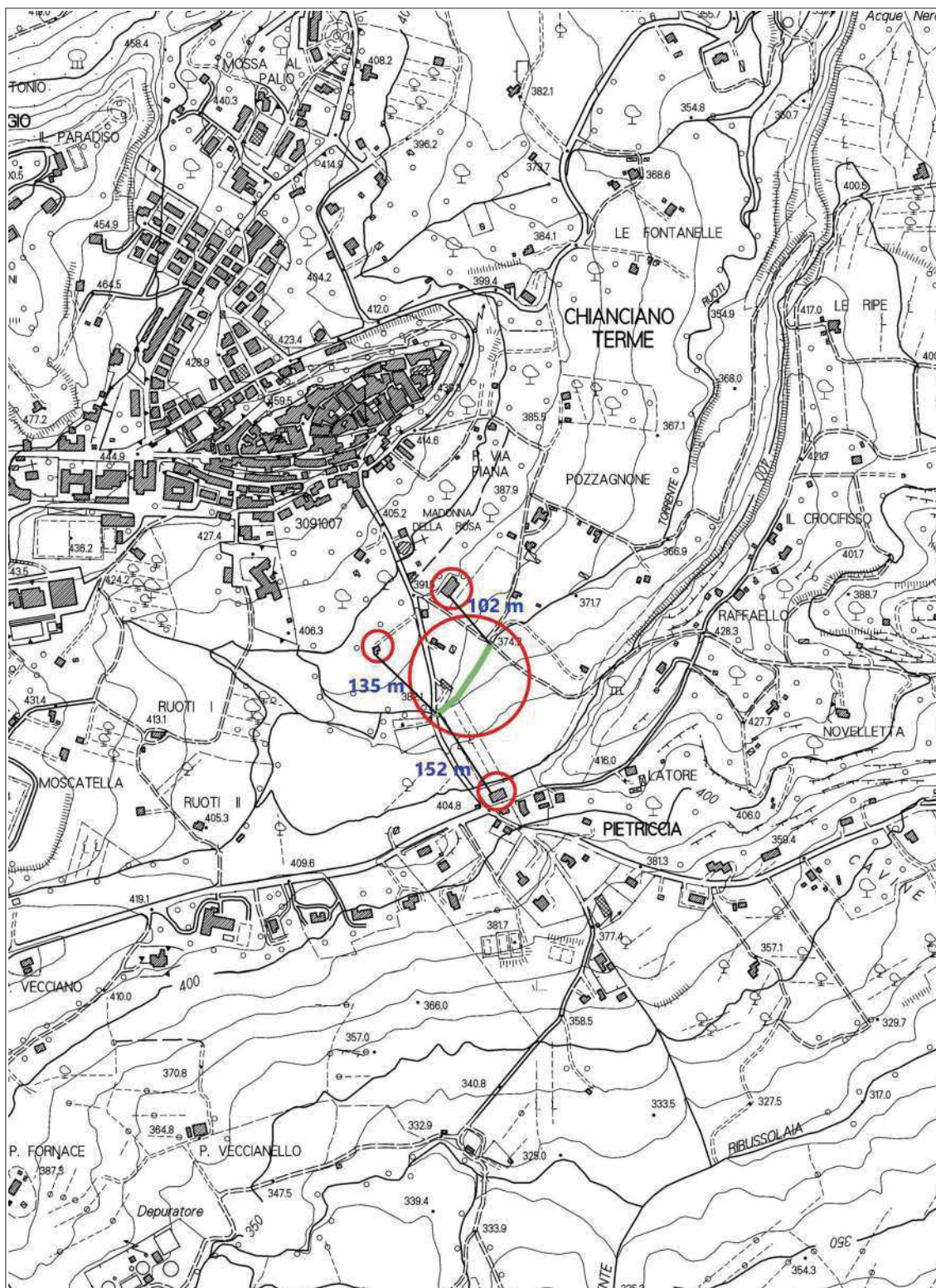


Figura 9 - Recettori sensibili presenti intorno al cantiere dei lavori del Torrente dei Ruoti (scala 1:10.000).

Le sorgenti delle emissioni di polveri diffuse nel cantiere saranno legate allo scavo del nuovo alveo, allo stoccaggio e formazione dei cumuli, all'erosione del vento dai cumuli e al transito degli automezzi.

3.5.2. Dati a disposizione per lo sviluppo dei calcoli

I dati necessari per procedere con il calcolo delle emissioni dei vari processi sono facilmente disponibili una volta che sono note le caratteristiche della lavorazioni (quantità oraria di materiale inerte lavorato, tipologia delle lavorazioni, lunghezza dei percorsi effettuati dai mezzi meccanici, peso dei mezzi d'opera, dimensione dei cumuli, peso medio dei veicoli, ecc.). Per i lavori in progetto i dati utili possono essere schematizzati come segue:

- durata complessiva dei lavori 90 giorni
- durata del lavoro al giorno 8 (otto) ore
- scavo previsto 1.223 mc
- riempimento previsto 1.223 mc
- scogliera da trasportare 844 mc (circa 2.000 t)

Di seguito viene calcolata quindi l'emissione giornaliera in ogni diversa fase di lavorazione procedendo poi alla sommatoria e alle necessarie conclusioni.

3.5.3. Emissione E1: scavo per la nuova inalveazione (AP-42 13.2.3)

Per l'attività di scavo della nuova inalveazione si è fatto riferimento al SCC 3-05-010-36 *Dragline: Overburden Removal* del *United States Environmental Protection Agency (US-EPA) in Emissions Factors & AP 42, Fifth Edition Compilation of Air Pollutant Emission Factors, Volume 1: Stationary Point and Area Sources*. Il rateo del fattore di emissione si calcola con la formula:

$$\frac{9.3 \times 10^{-4} \times (H / 0.30)^{0.7}}{M^{0.3}}$$

la quale determina il rateo emissivo in kg per Mg di materiale escavato

dove:

H è l'altezza di caduta

M il contenuto in percentuale di umidità del materiale

Il rateo emissivo è pari a $1,641 \times 10^{-3}$ kg/Mg di materiale escavato. Visto che con la formula sopra riportata si calcolano le PTS (Polveri Totali Sottili), la determinazione del PM₁₀ è stata fatta prendendo la frazione corrispondente al 60% delle PTS proprio come suggerito dalle Linee Guida. L'emissione così calcolata è pari a **19,35 g/h**.

3.5.4. Emissione E2: formazione e stoccaggio dei cumuli (AP-42 13.2.4)

Il modello è proposto nel paragrafo 13.2.4 *Aggregate Handling and Storage Piles* dell'AP-42 ed è predisposto per calcolare l'emissione di polveri per quantità di materiale lavorato in base al fattore di emissione:

$$EF_i (kg/Mg) = k_i (0,0016) \frac{\left(\frac{u}{2,2}\right)^{1,3}}{\left(\frac{M}{2}\right)^{1,4}}$$

dove:

Efi è il fattore di emissione

i è il tipo di particolato (PTS, PM₁₀, PM_{2,5})

ki è un coefficiente che dipende dalle dimensioni del particolato e per il PM10 è pari a 0,35

u è la velocità del vento (va da 0,6 a 6,7 m/s)

M è il contenuto in percentuale di umidità (%) (va da 0,2 a 4,8)

Come indicato nell'Allegato 2 del PRQA, in assenza di dati meteorologici sul vento, la formula sopra esposto può essere semplificata, per le ore diurne, come segue:

$$E_{idiurno} = K_i (0,0058) \frac{1}{M^{1,4}}$$

Una volta determinato che è stato il rateo emissivo deve essere rapportato con la quantità di materiale che viene accumulato in relazione alla durata della giornata lavorativa (8 ore) allo scopo di determinare il rateo emissivo orario in

grammi.

Dopo lo sviluppo dei calcoli, precisando che per cautela il contenuto in percentuale di umidità M è stato utilizzato come pari al 2,5% e che il materiale lavorato al giorno corrisponde a 87,36 Mg (tonnellate), utilizzando la cosiddetta formula semplificata è stato determinato il rateo emissivo che è risultato essere pari a **11,06 g/h**.

3.5.5. Emissione E3: erosione del vento dai cumuli (AP-42 13.2.5)

Il modello è proposto nel paragrafo 13.2.5 *Industrial Wind Erosion* dell'AP-42 ed è predisposto per calcolare l'emissione di polveri per cumulo in base al fattore di emissione:

$$E_i = EF_i \cdot a \cdot movh$$

dove

i è il particolato (PTS, PM_{10} , $PM_{2,5}$)

EF_i è il fattore areale di emissione dell' i -esimo tipo di particolato

a è la superficie dell'area movimentata in mq

$movh$ è il numero di movimentazioni ora (tre per ognuno dei quattro cumuli)

In base all'altezza del cumulo e al diametro della base, si individuano i seguenti fattori areali per ogni movimentazione come nella tabella 6. Sarà presente solamente un cumulo lungo 140 m e largo 3 m costituito da materiale fine e quindi soggetto alle emissioni diffuse.

cumuli alti $H/D > 0,2$		cumuli bassi $H/D \leq 0,2$	
particolato	EF_i (Kg/m ²)	particolato	EF_i (Kg/m ²)
PTS	1,6E-05	PTS	5,1E-04
PM_{10}	7,9E-06	PM_{10}	2,5E-04
$PM_{2,5}$	1,3E-06	$PM_{2,5}$	3,8E-05

Tabella 6 - Fattori di emissione areali per ogni movimentazione, per tipo di particolato.

Le principali caratteristiche del cumulo di materiale fine sono riportate in tabella 7.

Il rateo emissivo complessivo calcolato per il cumulo di materiale a granulometria fine è pari a **31,82 g/h**.

materiale	dimensioni				superficie laterale del cumulo (mq)	cumulo alto/basso
	larghezza [m]	lunghezza [m]	altezza [m]	Superf. di base [mq]		
Limo argilloso	3	140	3	420	4027,22	alto

Tabella 7 - Principali caratteristiche del cumulo di materiale fine che sarà realizzato durante i lavori del Torrente del Ruoti.

3.5.6. Emissione E4: riempimento (AP-42 13.2.3)

Per l'attività di riempimento si è fatto riferimento al SCC 3-05-010-36 *Dragline: Overburden Removal* del United States Environmental Protection Agency (US-EPA) in *Emissions Factors & AP 42, Fifth Edition Compilation of Air Pollutant Emission Factors, Volume 1: Stationary Point and Area Sources*. Il rateo del fattore di emissione si calcola con la formula:

$$\frac{9.3 \times 10^{-4} \times (H / 0.30)^{0.7}}{M^{0.3}}$$

la quale determina il rateo emissivo in kg per Mg di materiale collocato

dove:

H è l'altezza di caduta

M il contenuto in percentuale di umidità del materiale

Il rateo emissivo è pari a $1,641 \times 10^{-3}$ kg/Mg di materiale collocato. Visto che con la formula sopra riportata si calcolano le PTS, la determinazione del PM₁₀ è stata fatta prendendo il 60% delle PTS come suggerito dalle Linee Guida. L'emissione così calcolata è pari a **9,70 g/h**.

3.5.7. Emissione E5: Transito su strade e piste non pavimentate (AP-42 13.2.2)

Il transito dei camion che trasportano i materiali per la realizzazione della scogliera sulle strade non pavimentate, è certamente la criticità maggiore con cui ci si confronta ogni volta che ci si appropria a verificare l'emissione di polveri sottili. Per quanto riguarda le piste si è ipotizzato che il contenuto di "silt" del materiale che costituisce la pista sia pari al 12%, che gli autocarri abbiano mediamente un peso di 32 t e considerando la giornata lavorativa di otto ore. Inserendo questi dati nell'espressione "Unpaved road":

$$EF_i = K_i \left(\frac{s}{12} \right)^{a_i} \left(\frac{W}{3} \right)^{b_i}$$

dove:

Ef	i	è il fattore di emissione lineare in kg/km
i		particolato (PTS, PM ₁₀ , PM _{2,5})
s		contenuto di limo del suolo in percentuale in massa (%)
W		il peso medio veicolo in t
Ki, ai, bi		sono coefficienti che variano a seconda del tipo di particolato considerato (per il PM ₁₀ valgono rispettivamente 0,43230, 0,9000, 0,4500)

si ottiene un fattore di emissione di 1,22731 kg/km con una emissione totale di **21,48 g/h**.

3.5.8. Considerazioni conclusive

La sommatoria delle emissioni diffuse di polveri sottili che si avrà nel cantiere dei lavori previsti nel Torrente del Ruoti (Comune di Chianciano Terme) può essere letta nella tabella 8.

attività	emissioni in g/ora
E1 – scavo del materiale	19,35
E2 – formazione e stoccaggio cumuli	11,06
E3 – azione del vento sui cumuli	31,82
E4 – riempimento	9,70
E5 – transito su strade non pavimentate	21,48
SOMMATORIA	93,41

Tabella 8 - Sommatoria delle emissioni di PM₁₀ in g/h delle varie fasi delle lavorazioni previste sul Torrente del Ruoti.

La sommatoria delle emissioni diffuse di particolato che si avrà nell'area in cui si svolgeranno i lavori in progetto può essere letta nella tabella 8.

Vista l'entità dell'emissione e il fatto che tutti i recettori sensibili sono ad una distanza superiore a 100 m dalla sorgente (figura 9), non risulta necessario procedere a nessuna azione come evidente dalla tabella 9 estratta dall'Allegato 2 al Piano Regionale per la Qualità dell'Aria ambiente (in seguito PQRA) della Regione Toscana.

Intervallo di distanza (m) del recettore dalla sorgente	Soglia di emissione di PM ₁₀ (g/h)	risultato
100 ÷ 150	<746	Nessuna azione
	746 ÷ 1492	Monitoraggio presso il recettore o valutazione modellistica con dati sito specifici
	>1492	Non compatibile (*)

Tabella 9 - Valutazione delle emissioni diffuse al variare della distanza tra recettore e sorgente per un numero di giorni annui di attività < 100 (da Allegato 2 al PRQA).

Vista la durata del cantiere e le condizioni descritte nelle pagine che precedono si dettano le seguenti disposizioni:

- la velocità degli automezzi e dei camion non dovrà superare i 30 km/h al fine di contenere al massimo il sollevamento delle polveri sottili;

SIGLA EMISSIONE	ORIGINE DELL'EMISSIONE	PORTATA Nmc/h	SEZIONE DI SBOCCO mq	VELOCITÀ DI SBOCCO m/s	TEMPERATURA DI EMISSIONE °C	ALTEZZA DI EMISSIONE m	DURATA DELL'EMISSIONE		IMPIANTO DI ABBATTIMENTO	STIMA DEGLI INQUINANTI EMESSI		
							h/g	g/a		INQUINANTI	mg/Nmc	g/h
E1	Scavo del materiale	-	-	-	ambiente	-	8	90	-	Polveri totali	-	19,35
E2	Formazione e stoccaggio dei cumuli	-	-	-	ambiente	-	8	90	-	Polveri totali	-	11,06
E3	Azione del vento sui cumuli	-	-	-	ambiente	-	8	90	-	Polveri totali	-	31,82
E4	Riempimento	-	-	-	ambiente	-	8	90	-	Polveri totali	-	9,70
E5	Transito su strade non pavimentate	-	-	-	ambiente	-	8	90		Polveri totali	-	21,48

Tabella 10 - Quadro riassuntivo delle emissioni relative ai lavori del Torrente del Ruoti.

- poiché nell'area vi saranno diverse lavorazioni che produrranno emissioni di polveri sottili, è stata calcolata la sommatoria di tutte queste che però non è detto che si verifichino tutte con l'intensità dichiarata e nello stesso momento (anzi è certo che ciò non avverrà). Ci saranno dunque parecchi momenti in cui la sommatoria delle emissioni di particolato PM₁₀ sarà ben più bassa di quella stimata.

Firenze, 29 gennaio 2025

Dott. Geol. Michele Sani