

COMUNE DI MADDALONI

PROVINCIA DI CASERTA

**Realizzazione di un sistema di estrazione di
composti organici volatili costituito da n. 2
stazioni di soil vapour extraction (SVE) nella ex
Cava Monti sita nel Comune di Maddaloni (CE)**

*via E. De Filippo
foglio n.19 - particella n. 29*

Elaborato Descrittivo

01

**RELAZIONE TECNICO - ILLUSTRATIVA DEL CONTESTO
IN CUI È INSERITO IL SERVIZIO**

PROGETTISTA

Ing. Luigi FALCO

firmato in modalità elettronica
ex art. 24 del D.lgs.82/2005

via Salvo D'Acquisto, 98
I - 81030 Parete (CE)

ing.falco@gmail.com

Registrazione di arrivo al protocollo

Rev. 00
giugno 2018

Indice

1 PREMESSA	1
2 DESCRIZIONE DELLE AREE OGGETTO DI INDAGINE	2
3 RISULTANZE DELLE INDAGINI GIÀ EFFETTUATE	3
4 ATTIVITÀ DA SVOLGERE	5
5 PROGETTAZIONE SOIL VENTING EXTRACTION	5
5.1 Specifiche tecniche del sistema	7
5.2 Test sui pozzi VOC	10
5.2.1 Determinazione raggio di influenza	10
5.2.2 Determinazione raggio di trattamento	11
5.2.3 Determinazione permeabilità del mezzo	11
5.2.4 Determinazione portata di progetto	12
5.3 Sistema di monitoraggio	13
6 ELABORATI DA PRODURRE	14

1 PREMESSA

Il presente progetto riguarda la realizzazione di un sistema di estrazione di composti organici volatili (VOC) costituito da n. 2 stazioni di soil vapour extraction (di seguito SVE) ubicate nell'area delle "fumarole" che si sprigionano *dal sito ex Cava Monti sita nel Comune di Maddaloni (CE)*.

L'esigenza di adottare *"Provvedimenti e possibili interventi per la risoluzione della fuoriuscita di vapore da alcune fenditure del terreno (fumarole), mirati alla cessazione del fenomeno"* è stata ribadita nel corso del Tavolo Tecnico tenutosi il 30 novembre 2017, presso gli Uffici della UOD 13 Autorizzazioni Ambientali e Rifiuti di Caserta al fine di valutare le possibili azioni da intraprendere finalizzate alla cessazione del fenomeno delle cosiddette "fumarole", anche alla luce delle risultanze delle analisi effettuate da ARPAC dalle quali risulta la presenza, in concentrazioni elevate, di benzene.

Si riporta di seguito uno stralcio del verbale del suddetto tavolo tecnico:

"Al fine di individuare la soluzione tecnica più idonea, il tavolo ha ritenuto necessario attendere il risultato del monitoraggio ARPAC, al fine di conoscere le sostanze che compongono i gas che fuoriescono, i cui primi risultati risalgono al 2009 e gli ultimi al 2013.

Il risultato del campionamento effettuato conferma la presenza nelle fumarole di composti organici aromatici (in particolare, benzene); nei campionamenti effettuati nelle vicinanze, all'esterno del sito, i valori rilevati rientrano tutti nei limiti previsti dalla normativa di riferimento per la qualità dell'aria.

A tal proposito, interviene il dott. Tagliartela, il quale rappresenta che una delle ipotesi della causa delle fumarole potrebbe essere la reazione esotermica che avviene in seguito al contatto tra l'acqua (piovana e/o della falda idrica sotterranea) e l'acido solforico contenuto all'interno della batterie al piombo, presenti nell'ex cava di tufo per un orizzonte di circa 5 metri (rif. relazione CTU dott. Balestri). La reazione, fortemente esotermica, andrebbe a riscaldare il corpo rifiuti contenente anche sostanze organiche (come ad esempio morchie di verniciatura, fanghi derivanti da operazioni di sgrassatura e sverniciatura, rifiuti prodotti da industrie chimiche, etc...) generando fumarole costituite da emissioni di composti organici aromatici.

Pertanto, se questa ipotesi dovesse risultare verificata, sia l'iniezione di anidride carbonica in pressione (utilizzata per spegnere le fumarole della discarica dell'area vasta di Giugliano in Campania) che il ricoprimento superficiale con argilla risulterebbero provvisorie e non risolverebbero definitivamente la problematica della fuoriuscita di emissioni gassose (fumarole). Il dott. Tagliartela ricorda inoltre che le fumarole presentano una limitata estensione e che sono localizzate in alcuni punti dell'area di interesse. Su questa considerazione concorda l'arch. Cerreto del Comune di Maddaloni.

Prende la parola il prof. Dino Musmarra il quale, nell'ipotesi che la ricostruzione rappresentata dal dott. Tagliartela descriva correttamente l'origine delle fumarole causate dai rifiuti interrati nella cava, concorda circa l'inefficacia dello spegnimento delle fumarole sia con iniezione di anidride carbonica che con il ricoprimento con argilla, in quanto le fumarole sono alimentate dai vapori delle sostanze organiche presenti e non richiedono la

presenza di aria (ossigeno). Allo scopo di contenere le emissioni di composti organici da tali fumarole nell'ambiente, si ritiene possibile ipotizzare un intervento di captazione delle emissioni di tali fumarole. Tale intervento potrebbe consistere nel confinare la superficie di emissione di ogni fumarola con una copertura e porre tale superficie in debole aspirazione, in modo da isolare, captandola, l'emissione dall'ambiente. Lo stesso intervento andrebbe ripetuto sulle fumarole più evidenti. Il flusso complessivo di aria aspirata deve essere inviato ad un idoneo impianto a carboni attivi in modo da rimuovere i composti organici (fra cui il benzene) che sono stati ritrovati dalle recenti analisi effettuate da ARPAC.

Dopo ampia ed articolata discussione, il tavolo ritiene opportuno e necessario procedere con un intervento di captazione delle emissioni delle fumarole presenti nell'area di Cava Monti, come sopra specificato.

Il tavolo chiede al Comune di Maddaloni di realizzare tale intervento.”

Al riguardo, il comune di Maddaloni, visto che con Decreto Dirigenziale della Giunta Regionale della Campania n°794 del 18/12/2017 è stata ampliata la dotazione economica per il piano d'indagini integrativi da condurre nell'area predetta, al fine d'includere anche gli indispensabili interventi di messa in sicurezza delle fumarole, con nota prot. n. 16552 del 28/05/2018 ha chiesto al sottoscritto, già progettista esecutivo del “Piano di indagine integrativo del sito ex Cava Monti” di redigere un progetto complementare del piano di indagine e conforme a quanto richiesto dai rappresentanti di ARPAC e della Seconda Università degli Studi di Napoli nel tavolo tecnico del 30/11/2017 ritenuto necessario per la messa in sicurezza delle fumarole, esistenti all'interno dell'area dell'ex Cava Monti.

2 DESCRIZIONE DELL'AREA DI INTERVENTO

L'area dell'ex cava Monti è individuata nel N.C.T. del Comune di Maddaloni (CE) al Foglio n.19, p.lla n. 29 ed è classificata dal PRG vigente “E2 - Zona agricola”.

Il sito è largo circa 90 m ed ha una forma trapezoidale, con la base maggiore di 350 m (lato Ovest) e la minore di 270 m (lato Est) per un'area complessiva di circa 27.500 mq ed è quasi interamente cavata.

La parte cavata si presenta in parte riempita da materiali già classificati dal Consulente Tecnico d'Ufficio nell'ambito del procedimento proc. 8943 n. 44 della Procura della Repubblica presso il Tribunale di Santa Maria Capua Vetere (*cfr. Allegato 5*), come rifiuti speciali pericolosi (parte Sud) e in parte si presenta vuota (parte Nord).

La parte interessata dallo sversamento abusivo occupa una superficie di circa 12.700 mq; lo spessore medio dei rifiuti abbancati è di circa 13 m, di cui circa 2 m al di sopra del p.c. (quota 0,00 m.) e circa 11 m al di sotto, per un quantitativo totale stimato di circa 300.000 tonnellate.

Sia sul corpo rifiuti che sul fondo cava è presente una folta vegetazione spontanea mentre la parte di cava non occupata da rifiuti si presenta allagata con stagnazione di acqua.

Nella zona sud-ovest della ex cava Monti, si evidenzia una zona di circa 300 m² dalla quale si sprigionano dei fumi, detti appunto “fumarole”.

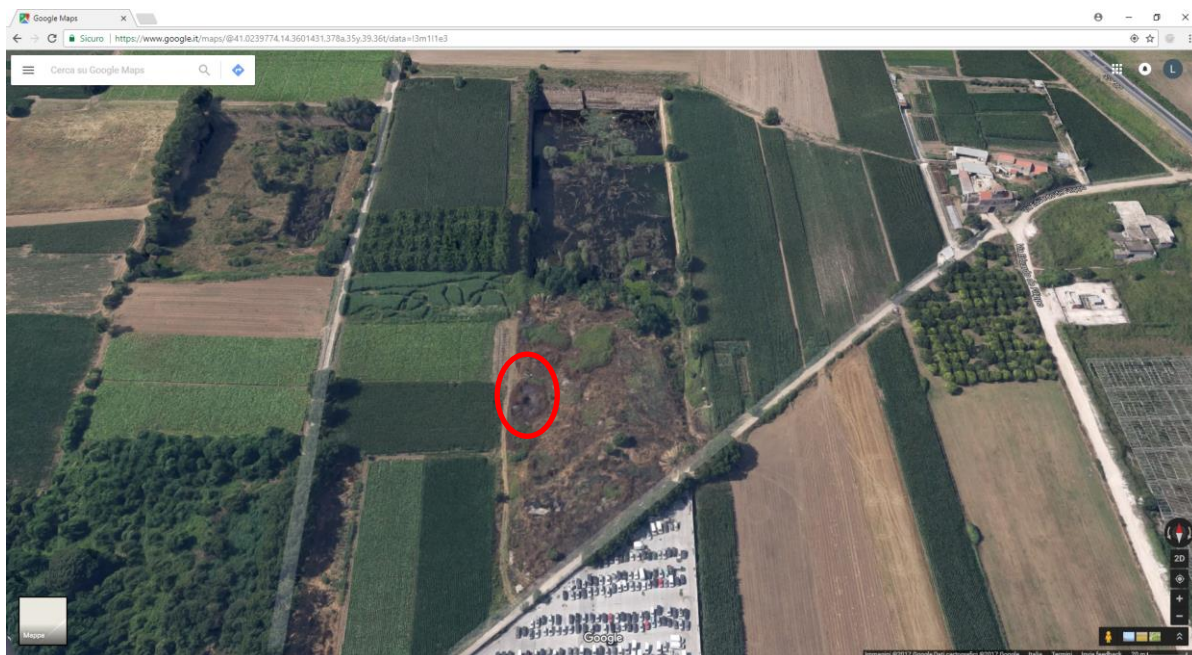


Figura 1 – immagine da satellite (fonte: google earth) con individuazione area “fumarole”

3 RISULTANZE DELLE INDAGINI GIÀ EFFETTUATE

Nell’ambito del procedimento proc. 8943/13 mod. 44 della Procura della Repubblica presso il Tribunale di Santa Maria Capua Vetere (CE), il Consulente Tecnico d’Ufficio ha provveduto ad eseguire una serie di indagini nell’area della cava e nelle aree agricole adiacenti per un raggio di 500 m.

In particolare sono stati indagati il corpo rifiuti e la falda superficiale attraverso la realizzazione di un piezometro a valle idrogeologico della cava e la falda profonda investigata nei pozzi delle aree agricole limitrofe.

I risultati di tali indagini possono sintetizzarsi come segue:

- Trattasi di rifiuti speciali pericolosi, per la parte riempita.
- Nelle acque di falda profonda (acque di pozzo) sono stati riscontrati superamenti notevoli per il manganese.
- Nella falda superficiale (piezometro) sono stati riscontrati superamenti per il ferro e il manganese, rispetto ai limiti del D.Lgs. 152/06.

Altre indagini sono state effettuate anche da ARPAC e precisamente:

- novembre 2009: veniva effettuato un campionamento dell’aria in prossimità della fumarola sprigionatasi dalla cava, il prelievo di tre campioni di terreno nelle aree agricole limitrofe, un campione di acqua sotterranea da un pozzo ad uso agricolo. I risultati hanno evidenziato una contaminazione da cadmio, stagno e berillio in un terreno limitrofo posto a sud-est della cava; stagno e berillio nei due terreni ubicati rispettivamente lato est e lato ovest della cava ed una contaminazione da benzene della matrice aria in prossimità della fumarola.
- gennaio 2010: veniva effettuato il prelievo di tre campioni di terreno nelle stesse aree agricole limitrofe per la determinazione dei BTEX che non hanno evidenziato superamenti delle CSC.

Nel mese di gennaio 2014 l'ARPAC Dipartimento di Caserta, su richiesta del Comune di Maddaloni, ha indagato le acque di falda in cinque pozzi esistenti ubicati nei dintorni della ex cava. Dalle determinazioni analitiche sono emersi i seguenti superamenti delle concentrazioni di soglia di contaminazione, di cui alla tab. 2 dell'allegato 5 alla parte IV titolo V del D.Lgs. 152/06.

ID	Ubicazione rispetto alla cava	Ferro	Manganese	Nitriti	Nitrati
PZ1	Valle idrogeologica	484	491	99	9,5
PZ2	Monte idrogeologico	<10	405	508	57
PZ3	Monte idrogeologico	<10	1,8	62	87
PZ4	Valle idrogeologica	15	2,8	36	79
PZ5	Valle idrogeologica	<10	<1	<10	70

Inoltre nel campione di acqua sotterranea prelevato nel pozzo PZ1 è stata determinata una concentrazione di tetracloroetilene coincidente con il valore della relativa concentrazione soglia di contaminazione.

Nel marzo 1995 il “Dipartimento per i servizi tecnici nazionali - Servizio geologico nazionale” ha effettuato su richiesta del Prefetto di Caserta una “Indagine magnetometrica per l'accertamento di uno smaltimento abusivo di fusti metallici nella cava sita in loc. Masseria Monti - Maddaloni (CE)”.

I risultati di tale indagine hanno riscontrato nel corpo rifiuti un'anomalia che per dimensione e intensità lasciano presupporre l'esistenza di una sorgente caratterizzata da un elevato contrasto di suscettività magnetica, quale un accumulo di materiale metallico e non una variazione lito-stratigrafica.

Nelle date 17/10/2017 e 27/10/2017, i tecnici dell'ARPAC Dipartimento di Caserta, su richiesta della UOD Bonifiche, hanno effettuato i richiesti campionamenti presso le fumarole presenti in località Cava Monti. In particolare, in data 17/10/2017 è stato svolto un campionamento presso il sito in oggetto (in prossimità delle fumarole), mentre in data 27/10/2017 sono stati svolti altri campionamenti presso terreni circostanti il sito, al fine di definire eventuali valori di fondo per gli inquinanti indagati, a supporto di quanto emerso nel corso del primo campionamento.

Dagli esiti analitici forniti dal Laboratorio Multisito Inquinamento atmosferico dell'ARPA Campania (vedi allegati rapporti di prova), si riscontra, solo per il primo campione prelevato in prossimità delle fumarole, la presenza di solventi aromatici con prevalenza di benzene in concentrazioni molto elevate (rif. limite di concentrazioni azione media annuale del benzene pari a **5 µg/mc** secondo il D.Lgs. 155/10, unico parametro nonnato fra quelli determinati, a fronte di **10,6 mg/Nmc** - ovvero **10600 µg/mc** riscontrata). Sono inoltre state rilevate significative concentrazioni di Clorobenzene, Cumene, N-esano, Etilbenzene, Stirene, Trimetilbenzene, Isobutilacetato, Toluene, Xilene, Eptano.

Nel contesto della particolare situazione geologica rappresentata (rifiuti urbani e speciali misti a terreno di copertura e riporto), con incertezza sull'andamento stagionale della falda, si ipotizza l'utilizzo di un sistema di estrazione senza ricircolo dell'aria interstiziale.

4 ATTIVITÀ DA SVOLGERE

Le attività, da svolgere per le quali dovranno sempre essere assicurate condizioni di sicurezza per i lavoratori impegnati, possono riassumersi attraverso i seguenti interventi:

- Delimitazione delle aree di cantiere ed installazione cartelli segnaletici;
- Preparazione dell'area, diserbamento, scoticamento superficiale;
- Formazione delle piste e delle piazzole per l'accessibilità alle aree ed ai punti nei quali effettuare le misurazioni dei gas;
- Misurazioni esalazione gas dall'area delle fumarole mediante sistema convogliato;
- Copertura e spianamento dell'area di intervento mediante ricoprimento con uno spessore medio di 25 cm di argilla compattata;
- Realizzazione ed installazione dei pozzi di estrazione dei VOC;
- Effettuazione dei test pilota e ottimizzazione del sistema;
- Monitoraggio e gestione del sistema per un periodo non inferiore a 12 mesi.

5 PROGETTAZIONE SOIL VENTING EXTRACTION

Nel contesto della particolare situazione geologica rappresentata (rifiuti urbani e speciali misti a terreno di copertura e riporto), con incertezza sull'andamento stagionale della falda, si ipotizza l'utilizzo di un sistema di estrazione dei Composti Organici Volatili (VOC) senza ricircolo dell'aria interstiziale. Tale sistema presenta, per tale situazione, significativi vantaggi in quanto esso:

- Lavora con basse portate/bassa depressione;
- Minimizza gli inconvenienti dati da eventuali trascinalenti di acqua salvaguardando il carbone attivo;
- Massimizza l'area attiva del filtro grazie alla particolare costruzione a doppio mantello;
- È idoneo anche per zone di bassa permeabilità;
- Grazie alla capacità del filtro DMF di separare acqua e aria può lavorare con efficacia nella zona capillare (interfaccia falda/terreno insaturo) dove normalmente si riscontra la massima concentrazione di VOC rendendo così l'attività di bonifica più efficace.

La tecnologia adottata, definita Soil Vapour Extraction (SVE) (o "soil venting", o "vacuum extraction"), è una tecnologia di trattamento in situ adottata da tempo per ridurre la concentrazione dei componenti volatili dei prodotti petroliferi adsorbiti al suolo nella zona insatura (Texas Research Institute, 1980). La tecnica consiste nell'installazione di pozzi in prossimità della sorgente di contaminazione del suolo ed applicazione di una depressione (vuoto). I costituenti volatili vengono quindi aspirati dai pozzi e successivamente trattati (generalmente con filtri ai carboni attivi) e poi scaricati in atmosfera. L'aumento del flusso

di aria nel sottosuolo stimola contemporaneamente la biodegradazione di alcuni contaminanti meno volatili.

Per la progettazione dell'impianto SVE in oggetto sono stati definiti:

a) Parametri operativi del sistema:

- Portata d'estrazione dell'aria;
- Grado di vuoto al pozzo di estrazione;
- Raggio di influenza;

b) Componenti del sistema:

- Numero di pozzi di estrazione e loro posizione;
- Costruzione dei pozzi;
- Ventilatore di estrazione;
- Separatore acqua – aria;
- Piping;
- Strumentazione;
- Unità di trattamento vapori;

Il principio operativo su cui si basa il sistema è quello dell'applicazione di un vuoto alla matrice contaminata attraverso pozzi di estrazione che causa un gradiente di pressione negativa ed il conseguente flusso di vapori verso queste captazioni. I costituenti volatili in fase vapore vengono facilmente rimossi dal terreno e i vapori estratti vengono poi trattati e scaricati in atmosfera.

Alcuni dei fattori che determinano l'efficacia del SVE che sono stati presi in considerazione sono:

- permeabilità dell'ammasso rifiuti-terreno all'aria;
- struttura e stratificazione del sito (rifiuti di vario genere frammisti a terreno);
- umidità;
- profondità della falda.

La permeabilità dell'ammasso rifiuti-terreno condiziona la quantità di aria e di vapore che si possono muovere attraverso il sottosuolo. La struttura e la stratificazione del sottosuolo sono importanti perché possono influenzare le vie e le modalità di flusso dei vapori durante l'estrazione. Le caratteristiche strutturali (es. stratificazione, fratture) possono causare la formazione di vie di flusso preferenziali, che possono prolungare notevolmente i tempi di risanamento o rendere inefficace il trattamento.

Un'alta umidità (contenuto idrico > 50%) nel sottosuolo può ridurre la permeabilità all'aria e quindi ridurre l'efficacia del SVE limitando il flusso gassoso attraverso i pori.

Il funzionamento del SVE si basa sul principio che in relazione alla portata di aspirazione del sistema si crea una zona influenzata dalla depressione e quindi si induce il drenaggio di gas contaminati verso l'opera di captazione.

Per la progettazione del sistema sono stati utilizzati i dati disponibili rinvenuti dalle varie indagini messe a disposizione dal Comune di Maddaloni.

In fase di caratterizzazione e successivamente all'installazione dei due pozzi di estrazione che costituirà il sistema di captazione, oltre alla ricostruzione dell'estensione

dell'area contaminata, saranno approfondite tutte le caratteristiche e le peculiarità del sistema progettato.

Al fine della ottimizzazione e della taratura del sistema di pozzi, che sarà corredato di appositi punti di monitoraggio disposti all'incirca a croce e a diverse distanze, come meglio esplicitato nel paragrafo a seguire si effettueranno dei test di funzionamento del sistema.

5.1 Specifiche tecniche del sistema

I pozzi previsti in progetto per l'estrazione dei VOC saranno realizzati con sistema di perforazione a secco, con un diametro del foro di 0,80 m e raggiungeranno una quota pari a – 15 metri dal piano campagna (zona di frangia capillare).

Il foro sarà protetto con un tubo apposito (camicia) avente il diametro del foro stesso che verrà rimosso solo al momento dell'introduzione del tubo filtrante (microfessurato in HDPE) e della ghiaia di riempimento.

Il pozzo di captazione dei VOC sarà costituito da tubo filtrante in HDPE PE 125 (sonda di captazione) e posato in opera ben centrato nel foro di trivellazione mediante l'ausilio di appositi distanziatori. La sonda di captazione dovrà essere dotata di fenditure su tutta la parete poste ad interasse di 40-60 mm mentre la larghezza della singola fessura sarà compresa tra 7 e 10 mm. Il tubo sonda se non fornito in un unico pezzo, dovrà essere posato in opera con sistema di giunzione realizzato a mezzo di saldatura di testa o di manicotto filettato, oppure a manicotto flangiato con bulloni in acciaio INOX AISI 304.

La sonda di captazione sarà inserita in un filtro drenante realizzato con ghiaia di pezzatura 50-100 mm, di tipo non calcareo al fine di evitare l'intasamento del dreno per effetto del verificarsi di pellicole calcaree. Sul fondo del pozzo di trivellazione, ai piedi del tubo sonda, verrà collocato uno strato di ghiaia 16/32 di 0,50 m di spessore. Il diametro nominale della sonda di captazione dovrà essere pari almeno a DE 125 PN 16.

Per quanto riguarda invece la realizzazione della testa di pozzo questa sarà formata dai seguenti elementi:

- elemento a T in HDPE PE80 PN6 De125 con uscita De90;
- tubo raccordo in HDPE PE80 PN6 De125, L= 1,00 m;
- cartella in HDPE PE80 PN6 De125;
- flangia libera in alluminio plastificato De 125 2x;
- flangia libera in alluminio plastificato De 90;
- bulloneria in acciaio INOX AISI 304 per raccordo tra pezzo speciale a T e tubazione di raccordo e tra pezzo speciale a T e valvola a farfalla;
- valvola a farfalla DN80, a tenuta di gas, in materiale resistente al gas del corpo rifiuti, omologata DVGW o equivalente, costituita da: corpo valvola GG40 disco/libero in acciaio AISI 316, flangiato cuscinetto in poliammide guarnizione in NBR nero;
- presa da 3/4" per il campionamento dei composti organici volatili (VOC) completa di valvola a pressione.

L'impianto previsto sarà comprensivo di:

- aspiratori in grado di garantire flussi e depressioni di progetto;

- impianto elettrico comprensivo quadro comandi e derivazioni compreso allacciamento al punto di fornitura;
- sistema di blocco automatico nel caso di raggiungimento dei limiti di esplosività (Doppio allarme LEL (@ 20 % LEL e @ 30 % LEL) con sistema automatico di apertura by-pass e shut down);
- filtri a carboni attivi;
- collettore in acciaio inox AISI 304;
- segmento di monitoraggio in acciaio inox AISI 304;
- segmenti di monitoraggio in HDPE;
- valvole di intercettazione, regolazione e non ritorno;
- filtro polveri;
- gruppo di separazione delle condense comprensivo di pompa per il trasferimento al tank di raccolta delle condense;
- tank di raccolta delle condense in acciaio inox;
- separatori di condensa lungo le linee.

L'impianto di aspirazione dovrà essere tale da applicare una depressione in testa per ogni pozzo pari a 35 mbar e nello specifico capace di produrre una depressione pari a 50 mbar.

Prima dell'immissione in atmosfera dovrà essere previsto, inoltre, un sistema di trattamento dei vapori estratti mediante filtro a carboni attivi. Tale sistema dovrà garantire l'abbattimento delle concentrazioni dei gas estratti al di sotto dei limiti normativi di immissione in atmosfera.

La soffiante prevista avrà una portata pari a 50-600 m³/h da 1,5 kW, 400V, 50 Hz.

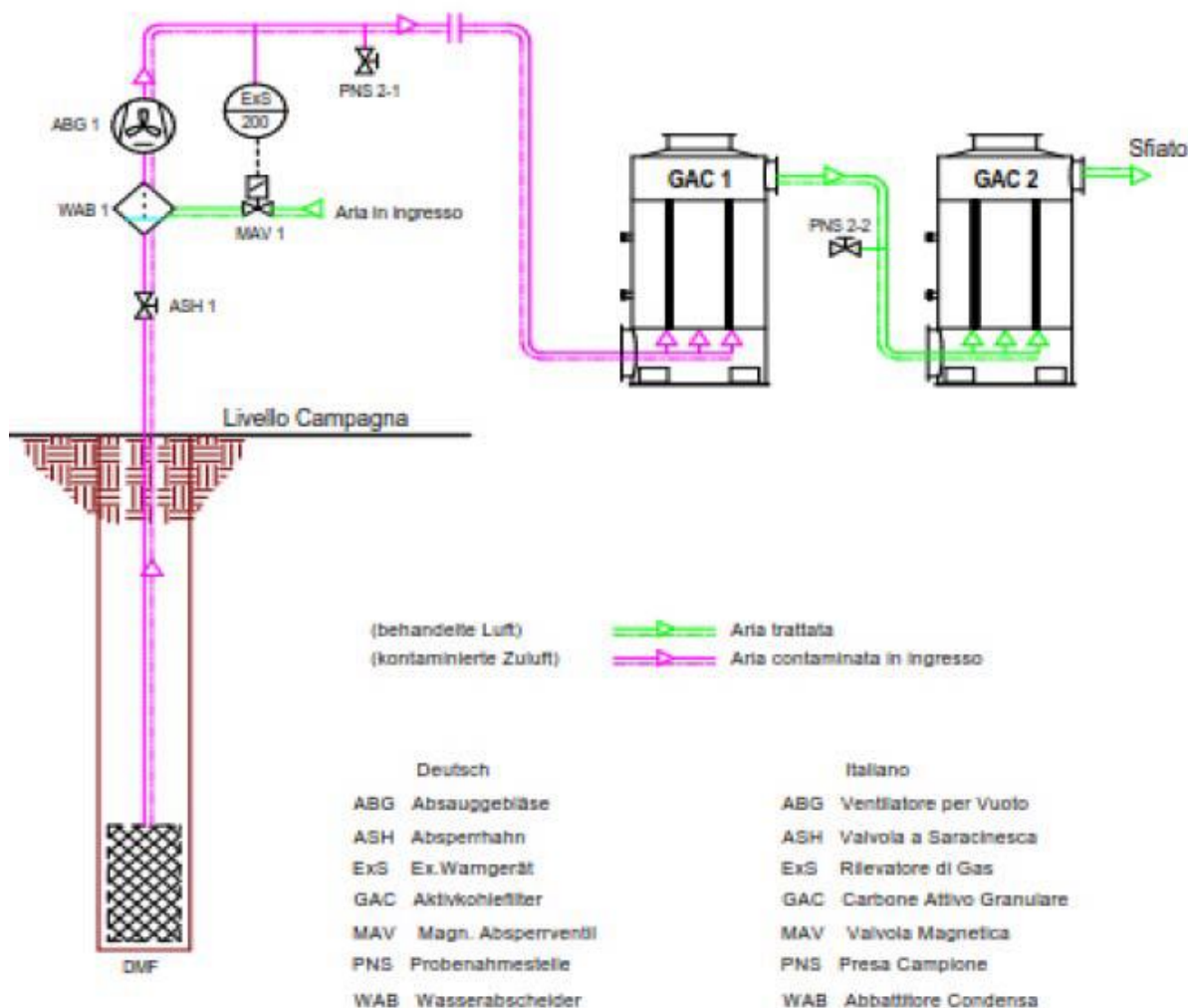
In particolare saranno installati n. 2 filtri a carbone attivo di capacità minima di 200 litri cadauno.

Il processo di depurazione dell'aria con carboni attivi è definito **adsorbimento**. La tecnologia dell'adsorbimento si fonda sulla proprietà dei carboni attivi di trattare la maggior parte di Composti Organici Volatili (COV o VOC) Esso avviene grazie alla particolare caratteristica dei carboni attivi di possedere una grandissima microporosità, difficilmente immaginabile, che può raggiungere oltre 1500 m² per grammo di carbone. I pori microscopici si sviluppano in profondità diminuendo man mano la loro sezione fornendo uno sviluppo superficiale di contatto estremamente vasto. Il carbone attivo è prevalentemente di origine vegetale che opportunamente lavorato e trattato assume forme di granuli, scaglie o cilindretti, questi ultimi aventi dimensioni di qualche millimetro.

Il funzionamento dei filtri a carbone attivo si basa sul processo di adsorbimento, ovvero sul fenomeno di diffusione molecolare tra i componenti in fase gassosa (VOC) ed un substrato solido (carbone). Le capacità adsorbenti del carbone attivo sono particolarmente indicate per l'abbattimento di composti organici con peso molecolare compreso tra 50 e 200.

La capacità di adsorbimento viene espressa in peso percentuale ovvero in Kg di contaminante organico adsorbito per 100 Kg di carbone attivo impiegato. Tale capacità è compresa tra valori minimi di 1% fino a valori massimi del 30%.

Per i composti organici volatili ed in particolare per il benzene (ma anche per Clorobenzene, Etilbenzene, Stirene, Toluene, Xilene, Eptano), la capacità di adsorbimento dei filtri a carboni attivi è alta (25-30%)



A seguire si riporta il riepilogo dei consumi stimato per l'impianto in questione:

	Potenza	Funzionamento	Consumi
	kW	h/d	kW/d
Soffiante	1,5	24	28
Carbone attivo			da verificare

Occorrerà monitorare gli sfiati in uscita del 1° e del 2° filtro periodicamente (la periodicità da definire in funzione delle concentrazioni effettivamente riscontrate in stato dinamico) con strumento portatile PID o con fiale AC da analizzare in laboratorio certificato.

A seguire si riporta una rappresentazione schematica dell'impianto soil vent extraction

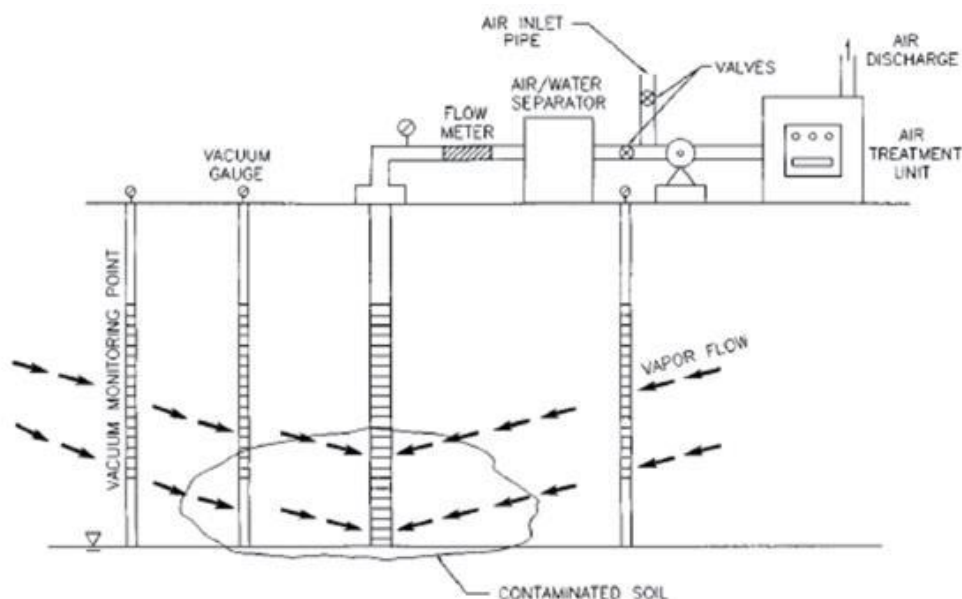


Immagine 5: schema prova pozzo pilota

5.2 Test sui pozzi VOC

Successivamente all'installazione dei pozzi, per ottimizzare il sistema di estrazione dei VOC, saranno effettuati dei "test pilota" che consisteranno nell'avviare il ventilatore di estrazione, regolando la portata di estrazione e agendo sulla valvola di regolazione normalmente prevista sul condotto di aspirazione.

Per ogni posizione della valvola (corrispondente ad una determinata portata di estrazione), si attenderanno circa 30 minuti per stabilizzare il sistema e si misureranno:

- Grado di vuoto al pozzo di estrazione;
- Grado di vuoto indotto ai punti di monitoraggio;
- Portata di aria estratta;
- Composizione del gas estratto.

Si ripeteranno le misure per diversi gradi di apertura della valvola.

Tra i parametri da verificare in corso d'opera, vista la possibile variazione delle condizioni di utilizzo del sistema di SVE, i principali sono il raggio d'influenza (R) ed il raggio di trattamento (ROT).

5.2.1 Determinazione raggio di influenza

Il **raggio di influenza** è definito come la distanza dal pozzo di estrazione per la quale vi è vuoto sufficiente per indurre flusso d'aria.

Da letteratura in funzione delle stratigrafie attraversate è possibile avere i seguenti raggi di influenza tipici:

Sabbia grossolana = 30 m

Sabbia fine = 20/30 m

Limo = 7-13 m

Argilla < 7 m

Per la determinazione del raggio di influenza verranno misurate le depressioni nel pozzo di aspirazione e nei punti di controllo circostanti, si riporteranno i dati su un grafico e si valuterà il raggio di influenza.

È possibile adottare un approccio rigoroso considerando la distanza alla quale è nulla la depressione indotta e precisamente:

R viene determinato tramite la misura della depressione indotta in tre pozzi a diversa distanza radiale dal pozzo e corrisponde all'intersezione della retta d'interpolazione tra i dati con il valore di depressione pari a zero (mmH₂O).

Sarà possibile calcolare il numero di pozzi N da utilizzare per coprire interamente un'area contaminata di superficie A_c (m²) in relazione al valore assunto dal raggio di influenza R (m).

$$N = \frac{f(A_c)}{\pi R^2}$$

dove f è un fattore di sicurezza che considera la necessità di sovrapporre le zone di influenza dei singoli pozzi e la possibilità che i pozzi periferici influenzino anche aree non contaminate. Esso può essere assunto uguale a 1,2.

5.2.2 Determinazione raggio di trattamento

Utilizzando i valori della prova a portata variabile a gradini sarà possibile determinare il valore del raggio di trattamento (ROT) il quale rappresenta la distanza alla quale viene indotta l'ossigenazione del mezzo non saturo da parte del flusso indotto dall'aspirazione. La determinazione di ROT verrà effettuata in modo qualitativo, riportando su un diagramma la portata di aspirazione (in ascisse) e la concentrazione di Ossigeno e Anidride carbonica misurati nel corso della prova, valutando l'andamento assunto dal grafico. Generalmente ROT è maggiore di R, infatti se nel terreno esistono le condizioni per la biodegradazione aerobica dei contaminanti il dimensionamento del sistema sulla base di R può essere eccessivamente cautelativo. In tal caso può essere utile valutare ROT e dimensionare il sistema sulla base della sua grandezza.

Una volta definito il raggio di influenza, si procederà a tracciare una serie di cerchi di raggio pari a quello di influenza, prevedendo una parziale sovrapposizione, onde evitare zone non sufficientemente trattate.

5.2.3 Determinazione permeabilità del mezzo

La **permeabilità del mezzo** potrà essere determinata mediante prove di aspirazione in regime stazionario.

In caso di regime stazionario, conoscendo il raggio di influenza R, sarà possibile ricavare la permeabilità all'aria K_a (cm²) dalla seguente relazione:

$$K_a = \frac{\mu_a Q \ln(r_w / R)}{\pi b P_w [1 - (P_w / P_{atm})^2]}$$

in cui i vari simboli rappresentano:

μ_a = viscosità dell'aria (1,8·10⁻⁴ g/cm·s a 18 °C)

Q = portata d'aria di aspirazione (cm³/s)

b = spessore dello strato indagato, generalmente tratto filtrato del pozzo (cm)

R = raggio di influenza del pozzo di aspirazione (cm)

r_w = raggio del pozzo (cm)

P_w = pressione al pozzo (atm)

P_{atm} = pressione atmosferica (atm)

Nel caso si abbia che:

$$\frac{r^2 n_a \mu_a}{4K_a P_{atm} t} < 0.1$$

con n_a pari alla porosità all'aria, si potrà utilizzare la seguente relazione per descrivere il rapporto tra depressioni indotte e portata prelevata:

$$P = \frac{Q}{4\pi b(K_a / \mu_a)} \left[-0.5722 - \ln \left(\frac{r^2 n_a \mu_a}{4k P_{atm}} \right) + \ln(t) \right]$$

Come nel caso dell'interpretazione delle prove di pompaggio nei pozzi per acqua, si riporteranno i dati in un diagramma bilogarithmico P rispetto a t e dopo sovrapposizione con il diagramma $W(u)-1/u$ si identificherà un match point conveniente, mediante il quale si calcolerà:

$$K_a = \frac{Q \mu_a W(u)}{4\pi b P}$$

$$n_a = \frac{4K P t}{\mu_a r^2}$$

Inoltre, adottando l'approssimazione di Cooper-Jacob in caso di $u < 0,01$, si potrà procedere riportando su un diagramma le depressioni P (in ordinate) e il $\ln(t)$ in ascisse. Si otterrà, dopo interpolazione dei dati nel primo tratto, una retta che avrà una pendenza Δ data da:

$$\Delta = \frac{Q \mu_a}{4\pi b K_a}$$

da cui sarà possibile ricavare K_a .

Come riferimento si tengano in considerazione i seguenti valori di permeabilità all'aria per i diversi litotipi:

Litotipo	K (darcy)
Sabbia grossa	100 – 1000
Sabbia media	1 – 100
Sabbia fine	0.1 – 1
Limo-argilla	< 0.1

5.2.4 Determinazione portata di progetto

Una volta definita la profondità della fenestratura (in genere pari alla profondità della contaminazione) e noto il raggio di influenza, sarà possibile stabilire le portate di estrazione dell'aria.

$$\frac{Q}{H} = \pi \frac{k}{\mu} P_w \frac{(1 - (\frac{P_{atm}}{P_w})^2)}{\ln \left(\frac{R_w}{R_i} \right)}$$

Dove:

H = lunghezza fenestratura

k = permeabilità dell'aria

P_w = pressione pozzo

P_{atm} = pressione atm

R_w = raggio pozzo SVE

R_i = raggio d'influenza

Q = portata pozzo

5.3 Sistema di monitoraggio

I parametri che dovranno essere controllati durante il funzionamento del sistema di SVE sono: la pressione indotta, la portata estratta ed il tasso di rimozione dei contaminanti.

Il sistema di monitoraggio dovrà comprendere quindi la presenza in diversi punti di flussimetri, manometri, punti di campionamento, valvole per la regolazione del flusso, pompe per il vuoto, sensori di temperatura dei vapori e strumenti per la raccolta di campioni. Inoltre dovrà prevedere la presenza di piezometri di monitoraggio o di cluster di monitoraggio per la verifica delle pressioni tra i pozzi di estrazione. In caso il terreno non saturo sia litologicamente omogeneo andranno previsti, a seconda dello spessore della contaminazione, uno o più punti di monitoraggio in profondità. In caso sia presente una stratificazione del terreno, o una serie di disomogeneità, le verifiche dei diversi parametri andranno effettuate per ciascun livello separatamente (cluster di monitoraggio o nesty probe).

In funzione dello spessore non saturo sarà definito un diverso numero di punti di misura:

Spessore non saturo	N. misure in profondità per ciascun punto di monitoraggio
< 3 m	1 punto di misura
3 ÷ 6 m	2 punti di misura
> 6 m	Almeno 3 punti di misura

Il monitoraggio del sistema verrà eseguito dalla D.L. nell'ambito di un normale processo di verifica dell'efficacia ed efficienza del sistema installato. Il sistema dovrà essere tenuto sotto controllo durante il suo funzionamento, anche al fine di determinare il momento opportuno per la chiusura del trattamento. I parametri da controllare con cadenza quindicinale o mensile e da registrare possono essere i seguenti:

- portate a ciascun pozzo di estrazione tramite flussimetri, normalizzando il dato di portata prelevata (Nm³/ora);
- composizione e concentrazione dei gas presso ciascun pozzo di estrazione, compresi parametri indicatori quali O₂, CO₂, CH₄ e composti organici volatili (VOC) mediante strumentazioni di campo (FiD-PID) o prelievo di fiale AC (per le successive analisi di laboratorio);
- composizione e concentrazione dei gas interstiziali;

- composizione e concentrazione dei contaminanti nell'acqua interstiziale tramite l'utilizzo di lisimetri;
- concentrazione dei contaminanti nell'acqua di falda;
- temperatura ambiente e dei vapori;
- livello della superficie di falda presso piezometri o pozzi di monitoraggio (in particolare per siti con bassa soggiacenza della falda);
- lettura della pressione a ciascun pozzo tramite manometri e, se possibile, a ciascun punto di monitoraggio per la verifica del raggio di influenza.

Tra i diversi parametri da monitorare sopra elencati si suggerisce un set minimo di rilevazioni costituito da temperatura dei vapori, caratteristiche dei gas ai punti di estrazione (O₂, CO₂, CH₄ e VOC), portate prelevate e depressioni indotte, livello della falda.

Per gli altri parametri si potrà invece adottare una minore frequenza delle misure.

Queste misurazioni condotte in sito dall'operatore, nell'ambito di un normale protocollo di verifiche in corso d'opera, potranno essere eseguite in accordo e in contraddittorio con gli Enti di controllo o comunque potranno essere esplicitamente richieste dagli Enti per verificare il decorso della bonifica.

6 ELABORATI DA PRODURRE

A conclusione di ogni fase, dovrà essere redatta una Relazione Descrittiva contenente:

- descrizione di tutte le attività svolte;
- descrizione dei risultati del test pilota (sotto forma di tabelle di sintesi, di rappresentazioni grafiche e cartografiche) e dei relativi metodi utilizzati.

Dovranno, inoltre, essere prodotti i seguenti elaborati:

- planimetrie con l'ubicazione dei punti di installazione dei pozzi;
- carte di rappresentazione della isoconcentrazione dei contaminanti;
- stratigrafie dettagliate dei pozzi installati corredate delle caratteristiche tecniche dei pozzi;
- documentazione fotografica dei punti di prelievo dei COV e della strumentazione installata;
- certificati analitici di laboratorio.

I dati acquisiti, georeferenziati nel sistema UTM WGS84, dovranno essere restituiti su supporto informatico in modo da essere inseriti in un SIT.