



Progettazione di un sistema completo di Bioventing

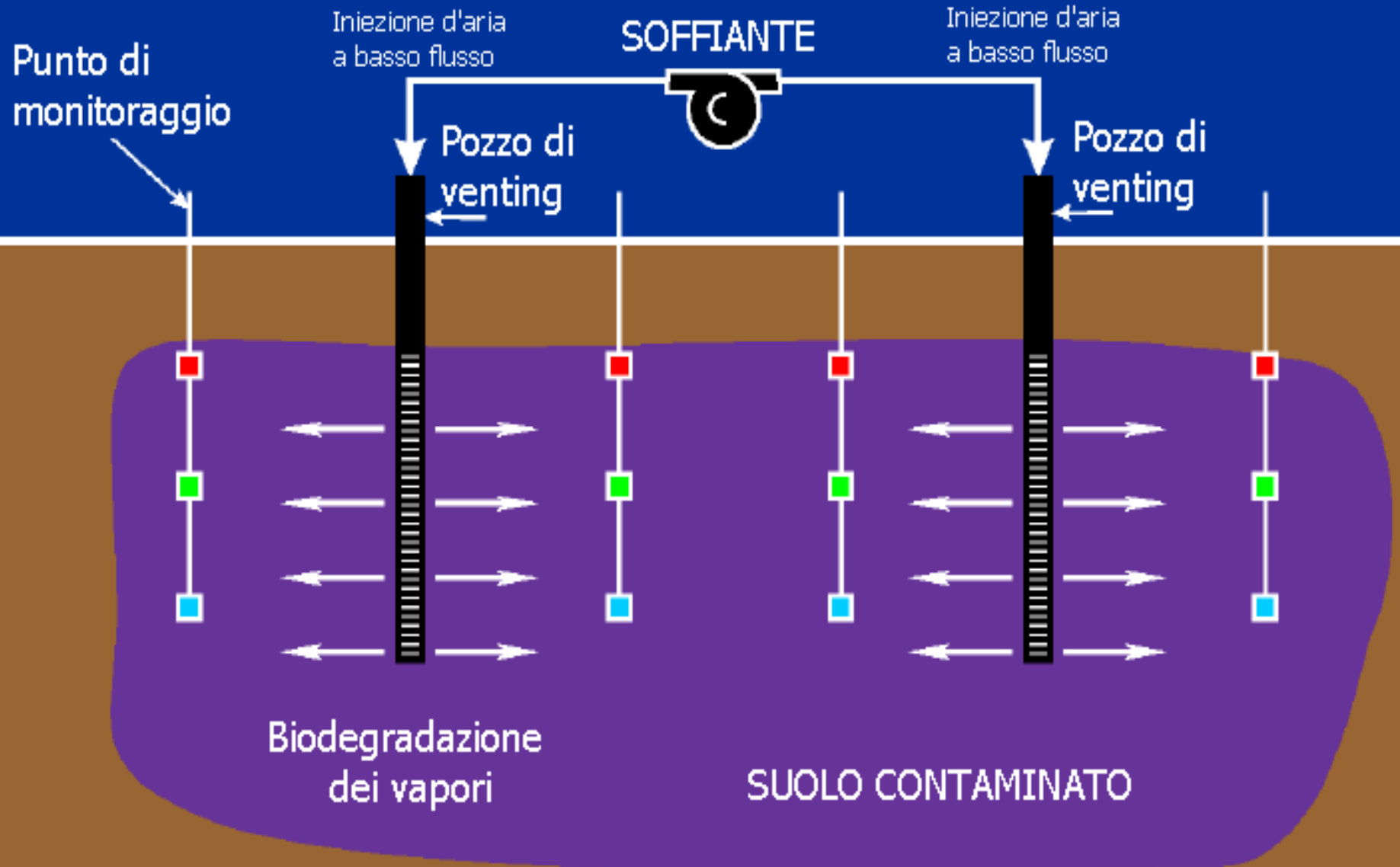
Marco Falconi

ISPRA



Bioventing

- Iniezione o estrazione di aria nel sottosuolo per stimolare la biodegradazione
- Simile alla Estrazione Sottovuoto di Vapori (SVE) ma con obiettivi differenti
 - Massimizzare la biodegradazione
 - Diminuire la volatilizzazione
- Applicabile ad ogni composto biodegradabile





I principali fattori che limitano la biodegradazione

- Il principale fattore
 - Carenza di ossigeno
- Altri fattori
 - Presenza di composti clorurati
 - Temperatura
 - Umidità
 - Nutrienti
 - pH



Progettazione di un sistema completo di Bioventing

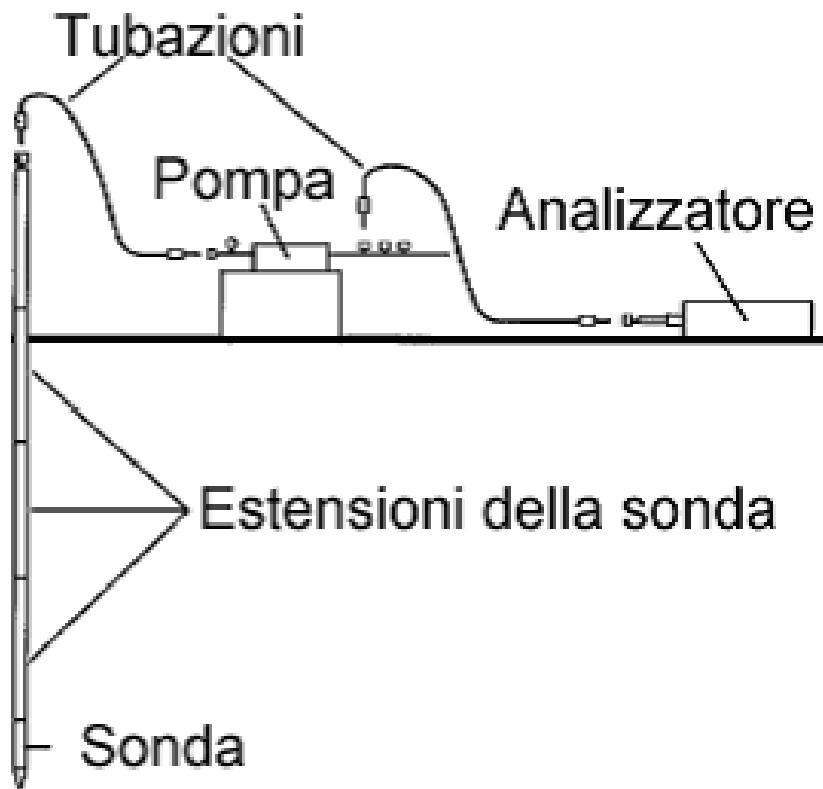
1. Attività di caratterizzazione
2. Progettazione del sistema
3. Monitoraggio della performance
4. Valutazione dei costi e dei tempi



1. Attività di caratterizzazione

- Rassegna dei dati esistenti
- Soil Gas Survey
- Caratterizzazione del suolo
- Test respirometrico in situ
- Permeabilità del suolo

Soil Gas Survey



- Applicabile alla parte più superficiale del suolo (max. 4,5 metri)
- Delineare la contaminazione
 - $O_2 < 5\%$
 - $CO_2 > 10\%$
 - TPH sopra 1.000 ppm
- Di supporto al posizionamento dei pozzi di venting e dei punti di monitoraggio
- Deve discernere CH_4



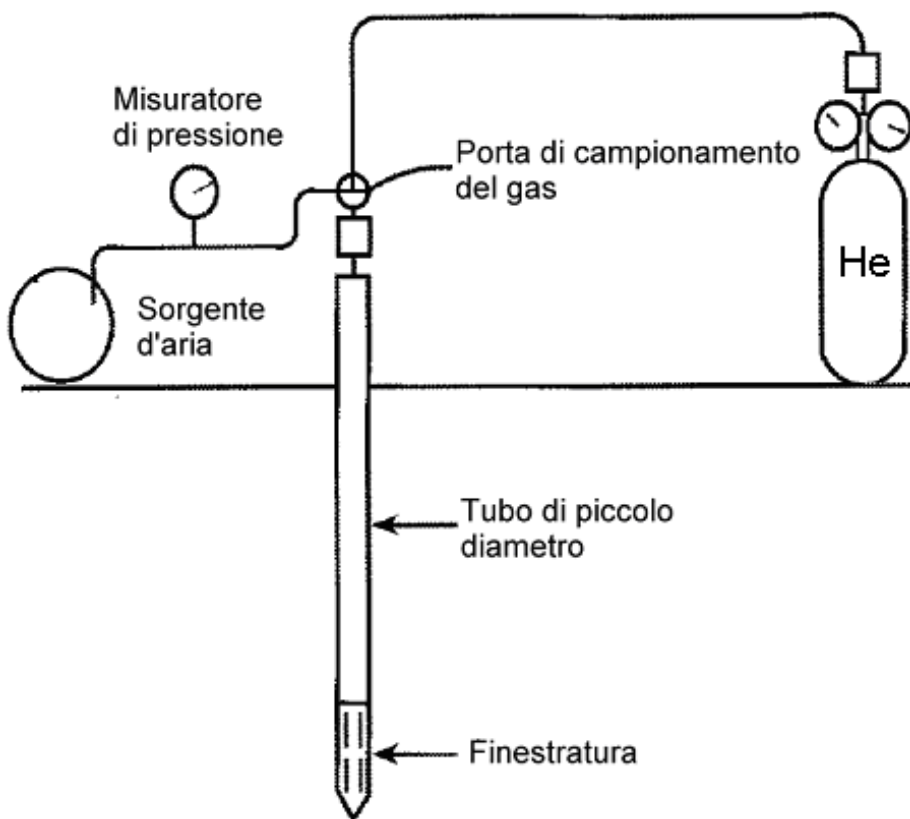
Campionamento con Soil Gas Survey

- Le **pompe** dovrebbero essere a **vano rotante**, capaci di consegnare approssimativamente 28 l/min di aria ad un vuoto massimo di 270"H₂O (6.7*10⁴ Pa). Le pompe hanno filtri per eliminare il particolato dal flusso d'aria. Le pompe a basso flusso alimentate da batteria sono da preferire nei suoli ad alta permeabilità per minimizzare il fenomeno della cortocircuitazione.
- I **vacuometri** sono utilizzati per monitorare il vuoto nel punto di campionamento durante lo spurgo e come indicatore della permeabilità al gas. Si utilizzano vacuometri con un intervallo da **0 a 50"H₂O** (0 a 1.2*10⁴ Pa) per siti con suolo prevalentemente **sabbioso** e **0-250"H₂O** (da 0 a 6.2*10⁴ Pa) per suolo prevalentemente **argilloso**.
- La pulizia della sonda del gas è un requisito indispensabile per ottenere campioni rappresentativi. Un tipico **sistema di pulizia** consiste di una pompa di campionamento da 28 l/min, un vacuometro ed un misuratore di O₂/CO₂.
- La maggior parte di problemi incontrati durante il campionamento e lo spurgo possono essere divisi in tre categorie:
 - difficoltà di estrazione
 - captazione di acqua dal punto di campionamento
 - alte letture di ossigeno in aree a contaminazione conosciuta

Interpretazione dati Soil Gas Survey

- Se le concentrazioni di ossigeno nei gas del suolo sono alte ($> 5 - 10\%$) e c'è la presenza di contaminazione, ci possono essere altri fattori che limitano la biodegradazione. Per le applicazioni in grande scala è utile **determinare l'estensione e la profondità dei suoli con un deficit di ossigeno (meno del 5%)**.
- La diffusione e le fluttuazioni del livello di falda possono aumentare il movimento dell'aria nei suoli superficiali. I dati del soil gas survey sono utili per **determinare quali zone del sito siano aerate naturalmente** e che quindi non richiedono un sistema meccanico di ventilazione.
- Se sono presenti livelli elevati di idrocarburi ($C > 1.000 \text{ mg/kg}$), è inverosimile che la presenza naturale di ossigeno sia sufficiente a sostenere la biodegradazione; quindi, è probabile che ci sia anche **un altro il fattore che limita la biodegradazione**. Nella maggior parte dei casi, un suolo che ha sia un'alta concentrazione di ossigeno, che un elevato tenore di idrocarburi si presenta soltanto nei siti a **bassissima umidità** e nei siti con problemi di **tossicità** di alcune componenti (Es. TCE o composti fenolici).

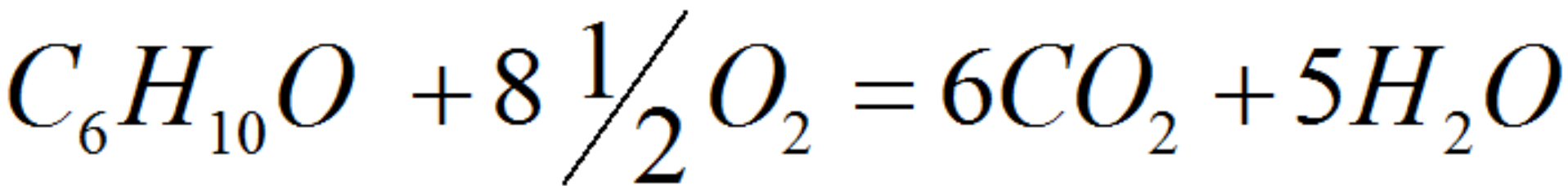
Test respirometrico



$$K_{bio} = K_{OX} \cdot V \cdot D_{OX} \cdot \frac{M_{H:O}}{100}$$

- Ossigenazione del suolo
- Conduzione del test anche in un'area non contaminata
 - Utilizzo di ossigeno di background
 - Utilizzo non biologico di ossigeno
- Co-iniezione di un gas inerte
 - Controllo della diffusione
 - Fuga di vapori nei punti di monitoraggio
- Misurazione del consumo di ossigeno K_{OX}
- Calcolo del tasso di biodegradazione K_{bio}

$$K_{bio} = K_{OX} \cdot V \cdot D_{OX} \cdot \frac{M_{H:O}}{100}$$



C ₅ H ₁₂		0
C ₈ H ₁₀		0
C ₆ H ₆		0
C ₇ H ₈		0
C ₉ H ₂₀		0
C ₆ H ₆ O ₂		6,7
C ₄ H ₈ O ₂		6,0
Totale		12,7
		0,8

	Struttura chimica media	C ₆ H ₁₀ O
--	-------------------------	----------------------------------

$$M_{H:O} = \frac{C_6H_{10}O}{8 \frac{1}{2} O_2} = 0,12$$

L'AFCEE suggerisce, senza andare a caratterizzare stechiometricamente i TPH, di applicare una ratio compresa tra 0,29 e 0,33.

Calcolo del tasso di biodegradazione

Calcolo del tasso di biodegradazione

$$K_{bio} = K_{OX} \cdot V \cdot D_{OX} \cdot \frac{M_{H:O}}{100}$$

Per mezzo dei valori sito specifici riscontrati nel sito contaminato sostituiamo i valori nell'equazione sopra descritta.

- ◆ Porosità del suolo al gas (V_A) 0.25 cm³/cm³
- ◆ Densità secca del suolo (δ_{secca}) 1.4 g/cm³
- ◆ Densità dell'ossigeno (D_{OX}) 1330 mg/L
- ◆ Rapporto H:O di 0.12 dall'equazione precedente

$$K_{bio} = \frac{K_{OX} \cdot (0.25) \cdot (1330) \cdot (0.12)}{(1,4) \cdot 100} \longrightarrow K_{bio} = 0.28 K_{OX}$$

Lagrega, 2001

Permeabilità al gas del suolo

$$k_{spg} = \frac{Q\mu \cdot \ln\left(\frac{R_W}{R_I}\right)}{H\pi P_W \left[1 - \left(\frac{P_w}{P_{atm}}\right)^2\right]}$$

Lagrega, 2001

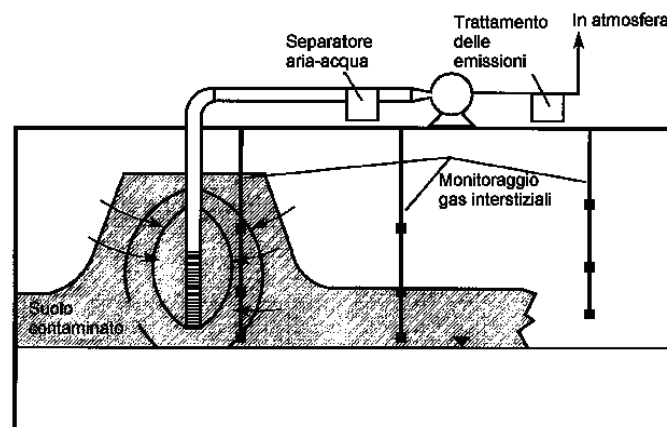
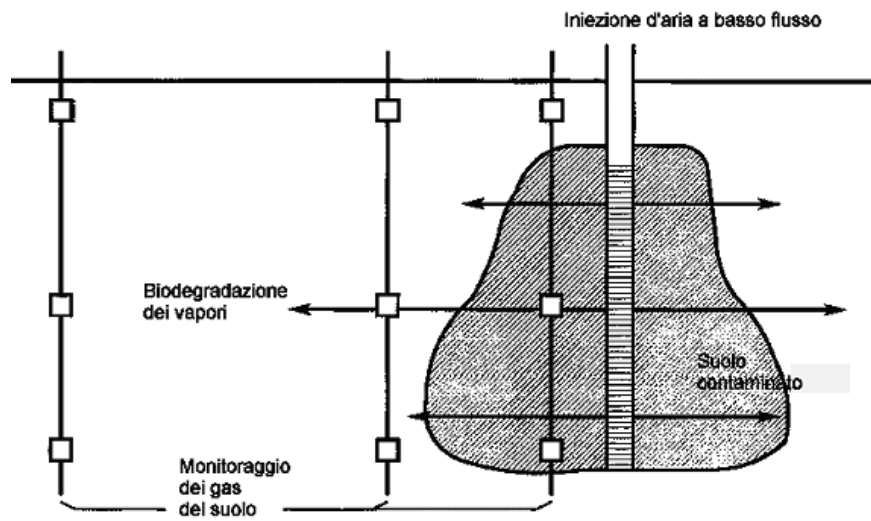
- k_{spg} = permeabilità al gas del suolo (cm^2)
- Q = flusso volumetrico dal pozzo di estrazione (cm^3/s).
- μ = viscosità dell'aria ($1,8 \cdot 10^{-4} \text{ g/cm} \cdot \text{sec}$ a $18 \text{ }^\circ\text{C}$)
- R_W = raggio del pozzo di ventilazione (m)
- R_I = massimo raggio di influenza allo stadio stazionario (m)
- H = lunghezza della finestruzione (m)
- P_W = pressione assoluta dal pozzo di ventilazione ($\text{g/cm} \cdot \text{sec}^2$)

2. Progettazione del sistema

- Determinazione del sistema di flusso
 - Estrazione/Iniezione
 - Protezione delle strutture
- Determinazione della portata dei flussi
- Spaziatura dei pozzi
- Dimensionamento della soffiante
- Costruzione dei pozzi di venting
- Costruzione dei punti di monitoraggio

Iniezione o Estrazione

<i>Iniezione</i>	<i>Estrazione</i>
Contaminanti a bassa pressione di vapore	Contaminanti ad alta pressione di vapore
Contaminazione profonda	Problemi di emissioni gassose
Suoli a bassa permeabilità	Proprietà e strutture comprese entro il raggio di influenza complessivo
Distanza significativa dai confini/da strutture di terzi	





Determinazione della portata dei flussi

$$Q = \frac{k_o V \theta_a}{(20,9\% - 5\%) \cdot 60 \frac{\text{min}}{\text{ora}}}$$

Q = flusso (m³/min)

K_o = tasso di utilizzo dell'O₂ (%/ora)

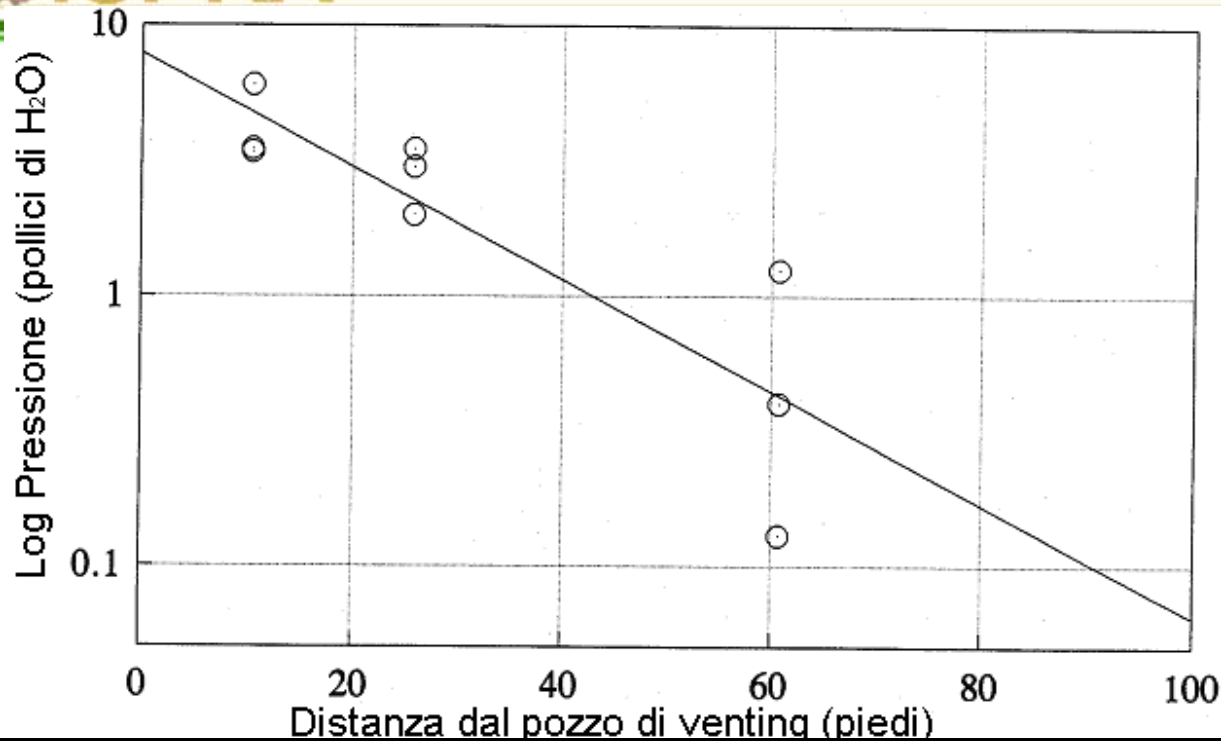
V = volume di suolo contaminato (m³)

θ_a = porosità al gas (0,36)

Esempio: determinazione del flusso d'aria richiesto.

Dato un volume di suolo di 4760 m³, un volume di vuoti di 0.361 e un tasso di utilizzo dell'ossigeno di 0.25%/ora, il flusso richiesto è:

$$Q = \frac{(0,25\% / \text{ora})(4760 \text{m}^3)(0,36)}{(20,9\% - 5\%) \cdot 60 \text{min} / \text{ora}} = 453 \text{ litri} / \text{min}$$



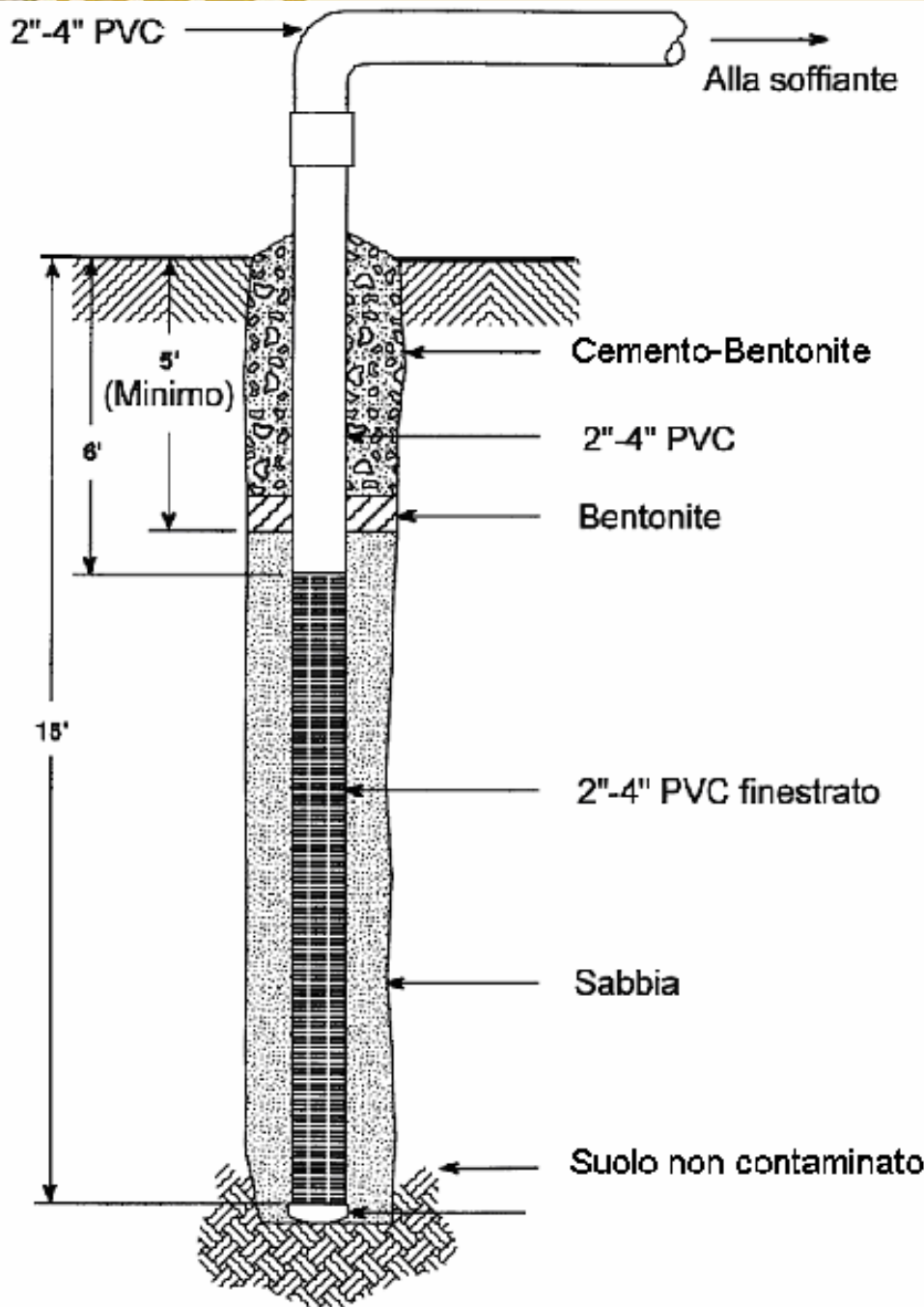
Spaziatura dei pozzi

Modo 1:
determinazione basata su misurazioni di pressione

Modo 2: determinazione basata sul tasso di utilizzo di ossigeno

$$R_I = \sqrt{\frac{Q(20,9\% - 5\%)}{\pi h k_o \theta_a}}$$

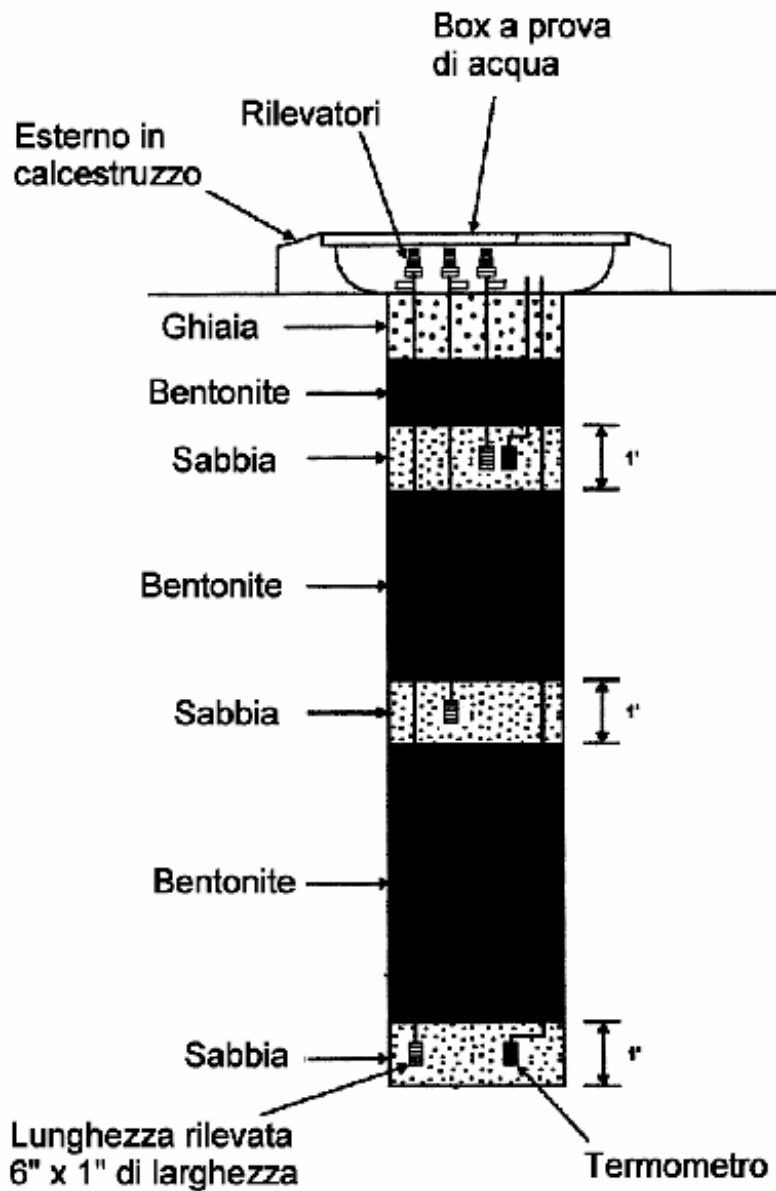
- R_I = raggio di influenza (m)
- Q = flusso di aria (m³/giorno)
- 20,9 = % di ossigeno
- h = spessore areato
- k_o = tasso di utilizzo di ossigeno (%/giorno)
- θ_a = porosità gas (cm³aria/cm³suolo)



Pozzo di venting

- Da 1,5 a 2 volte il raggio di influenza
- La finestratura deve estendersi fino alla zona contaminata, mantenendosi sopra il livello di falda
- Pozzi per acque sotterranee

Pozzo di monitoraggio



Tipo di suolo	Profondità dal piano campagna (piedi)	Intervallo di spaziatura (piedi)
Sabbia grossolana	5	5-10-20
	10	10-30-50
	>15	20-30-70
Sabbia media	5	10-20-30
	10	15-25-45
	>15	20-40-70
Sabbia fine	5	10-20-40
	10	15-30-50
	>15	20-40-60
Limo	5	10-20-40
	10	15-30-50
	>15	20-40-60
Argilla	5	10-20-30
	10	10-20-40
	>15	10-25-50



3. Monitoraggio della performance

- Monitoraggio dei gas interstiziali
- Test respirometrico
- Controlli opzionali (dettati dalle norme vigenti)
 - Quantificazione della biodegradazione rispetto alla volatilizzazione
 - Emissioni in superficie
- Manutenzione ordinaria

Quantificazione della volatilizzazione

$$HC_{vol} = \frac{C_{V,HC}}{10^6} \cdot Q \cdot \rho_{esano} \cdot MW_{esano} \cdot \frac{Kg}{1000g} \cdot \frac{1.440 \text{ min}}{\text{giorno}}$$

HC_{vol} = massa di idrocarburi volatilizzati
(kg/giorno)

$C_{V,HC}$ = concentrazione di idrocarburi negli off-gas
estratti (ppmv)

Q = flusso (L/min or cfm)

ρ_{esano} = densità dell'esano (moli/L)

MW_{esano} = peso molecolare dell'esano (g/mole)

Quantificazione della volatilizzazione

In un sito con bioventing ad estrazione di aria, le concentrazioni di ossigeno e TPH nel gas estratto del suolo allo stato di stabilità sono rispettivamente del 19% e di 140 ppmv,. Il sistema sta funzionando ad un vuoto di 4 cfm (113 L/min). Le concentrazioni di ossigeno di background sono costantemente a 20,9%.

$$CV, HC = 140 \text{ ppmv}$$

$$Q = 4 \text{ cfm (113 L/min)}$$

$$\text{pesano} = 0,042 \text{ moli}$$

$$MW_{\text{esano}} = 84 \text{ g/mole}$$

$$HC_{\text{vol}} = \left(\frac{140 \text{ ft}^3 \text{ esano}}{10^6 \text{ ft}^3 \text{ aria}} \right) \cdot \left(4 \frac{\text{ft}^3}{\text{min}} \cdot \frac{28,3L}{\text{ft}^3} \right) \cdot \left(0,042 \frac{\text{mole}}{L} \right) \cdot \left(84 \frac{\text{g}}{\text{mole}} \right) \cdot \left(\frac{\text{Kg}}{1000\text{g}} \right) \cdot \left(\frac{1.440 \text{ min}}{\text{giorno}} \right)$$

La massa di idrocarburi volatilizzati è 0,081 Kg/giorno.

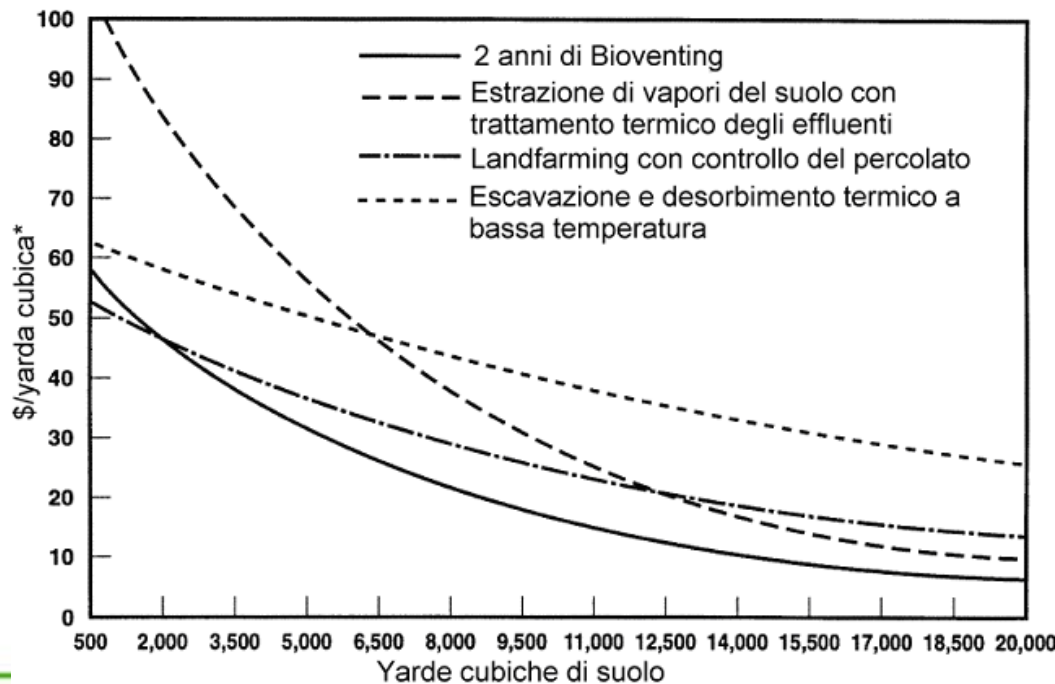
Quantificazione della biodegradazione

$$HC_{bio} = \left(\frac{C_{V,bkgd} - C_{V,O_2}}{100} \right) \cdot Q \cdot C \cdot \rho_{O_2} \cdot MW_{O_2} \cdot \frac{Kg}{1000g} \cdot \frac{1.440 \text{ min}}{\text{giorno}}$$

HC_{bio}	=	massa di idrocarburi biodegradati (kg/giorno)
$C_{V,bkgd}$	=	concentrazione di ossigeno nelle aree di background incontaminate (%)
CV,O_2	=	concentrazione di ossigeno negli off gas estratti
C ossigeno per l'esano)	=	rapporto di massa tra idrocarburo ed basato sulla stechiometria (1/3.5
Q	=	flusso (L/min or cfm)
ρ_{O_2}	=	densità dell'ossigeno (moli/L)
MWO_2	=	peso molecolare dell'ossigeno (g/mole)

4. Valutazione dei costi e dei tempi

- Caratteristiche del suolo
- Localizzazione e distribuzione dei contaminanti
- Concentrazione dei contaminanti
- Presenza di emissioni

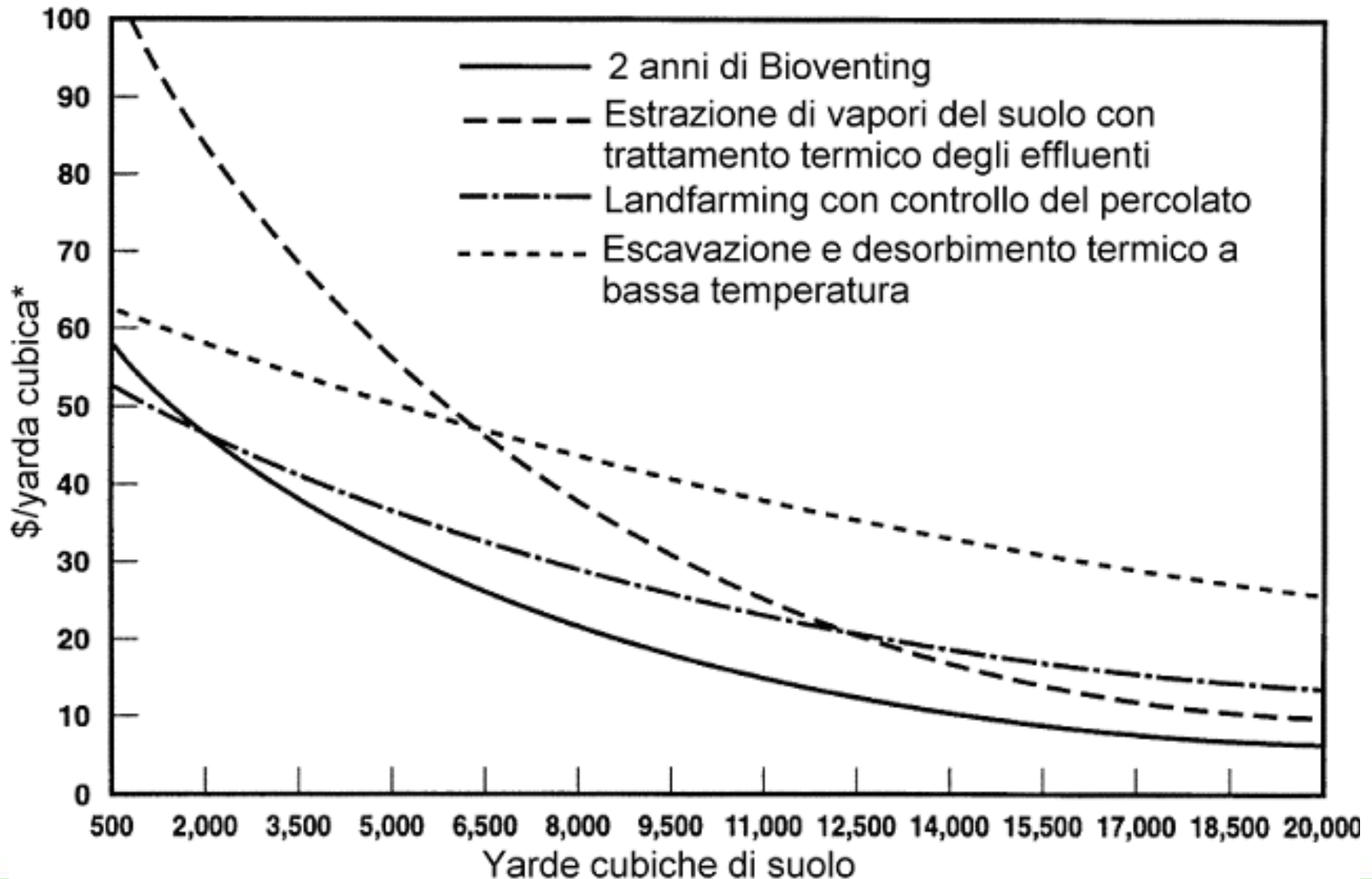


Comparazione di costi per suoli contaminati da carburante.

Studio effettuato su contaminazione media di 3000 mg/Kg di JP4. Nei costi non è incluso il ripristino. (Downey et al., 1994).



4. Valutazione dei costi e dei tempi



Microsoft Excel - Bioventing Design Tool Version 2.0©

File Goto Print Export Modifica Visualizza Inserisci Formato Strumenti Dati Finestra ?

100% Times New Rom

Bioventing Design Tool



**Air Force Research Laboratory Air Base
and Environmental Technology Division**

Site Characterization	System Design	Process Monitoring
Project Information	Database	Quit

© 1994-97, All Rights Reserved

Bioventing Design Tool©

Site Characterization

Initial Depths to
GW and Free Product

Soil Gas Survey

In Situ Respiration Test

Soil Gas Permeability &
Radius of Influence

Unit Conversion

<< Main

Save

System Design

Flow Rate
Calculation

Blower Selection

Vent Well Spacing
Calculation

Monitoring Point
Spacing Selection

Installations

Unit Conversion

<< Main

Save

Process Monitoring

Soil Gas Monitoring

Periodic In Situ
Respiration Test

<< Main

Save

Bioventing Case Study

Bioventing Equipment Information

Bioventing Cost Estimator

Case Study

Equipment
Information

Cost Estimator

Main