

Ricerca di Sistema elettrico



**Tecnologie di captazione di gas da suolo e progetto di
massima di un prototipo di captazione CO₂
proveniente da emissioni spontanee del terreno
(LA 2.8)**

Emanuele Habib, Alessandro Quintino, Massimo Corcione

DIAEE
Dipartimento di Ingegneria
Aeronautica, Elettrica ed Energetica



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

TECNOLOGIE DI CAPTAZIONE DI GAS DA SUOLO E PROGETTO DI MASSIMA DI UN PROTOTIPO DI CAPTAZIONE CO₂ PROVENIENTI DA EMISSIONI SPONTANEE DEL TERRENO

Autori Emanuele Habib, Alessandro Quintino, Massimo Corcione (DIAEE, Sapienza Università di Roma)

Giugno 2023

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica - ENEA
Piano Triennale di Realizzazione 2022-2024

Obiettivo: *Decarbonizzazione*

Progetto: 1.3 *"Progetto Integrato Tecnologie dell'Idrogeno"*

Linea di attività: 2.8

Responsabile del Progetto: Luca, Turchetti, ENEA

Responsabile Linea di Attività: *Emanuele, Habib, Sapienza Università di Roma*

Mese inizio previsto: 1 (gennaio 2022)

Mese inizio effettivo: 1 (gennaio 2022)

Mese fine previsto: 18 (giugno 2023)

Mese fine effettivo: 18 (giugno 2023)

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione "Sviluppo, realizzazione e testing di un sistema prototipale per la captazione di anidride carbonica da siti naturali"

Responsabile scientifico ENEA: Anna Carmela Violante

Responsabile scientifico Co-beneficiario: Emanuele Habib

Indice

1	RISULTATI ATTESI	3
2	RISULTATI OTTENUTI.....	4
3	PRODOTTI ATTESI.....	5
4	PRODOTTI SVILUPPATI	6
5	ANALISI DEGLI SCOSTAMENTI SU ATTIVITÀ E RISULTATI	7
6	SINTESI DELLE ATTIVITÀ SVOLTE	8
7	DETTAGLIO DELLE ATTIVITÀ SVOLTE.....	9
8	CONTRIBUTO DELLE EVENTUALI CONSULENZE ALLE ATTIVITÀ SOPRA DESCRITTE.....	22
9	PUBBLICAZIONI SCIENTIFICHE.....	23
10	EVENTI DI DISSEMINAZIONE	24

1 Risultati attesi

Il presente documento è inerente alla realizzazione di un sistema per la captazione di CO₂ endogena emessa da siti geologici naturali, quali le zone ad interesse vulcanico. Il gas che fuoriesce naturalmente dal terreno verso la superficie può essere captato e utilizzato per diversi scopi.

Un brevetto ENEA descrive un sistema di generazione di gas sostitutivo del gas naturale, che, integrato con la produzione elettrolitica di idrogeno da fonti rinnovabili e la captazione di anidride carbonica proveniente da siti interessati da fenomeni di degassamento naturale, consente la produzione, in reattori di tipo catalitico, di metano ad elevato grado di purezza. I gas di emissione dal terreno vengono convogliati in un dispositivo di trattamento del gas al fine di rimuovere i composti solforati attraverso tecnologie che prevedono l'assorbimento per via umida o l'adsorbimento su sorbenti ad alta temperatura (Desolforatore). Gli usi del metano prodotto possono essere molteplici: sia locali, adatto a zone non asservite dalla rete del gas e/o dalla rete elettrica (zone rurali, isole, zone montane), per la mobilità o per l'immissione nella rete dei metanodotti nazionali.

I siti caratterizzati da rilevanti emissioni gassose superficiali presentano un rischio per la salute umana e animale a causa delle alte concentrazioni di gas; il processo di captazione dei gas permetterebbe una riqualificazione dell'area e conseguentemente un utilizzo per diversi scopi (parco, area ludica, ecc.). In Italia ci sono diversi siti interessati da emissioni gassose superficiali tra cui: Colli Albani (RM), Fiumicino (RM), Pomezia (RM), Manziana (RM) Orvieto (PG), con portate specifiche di CO₂ fortemente variabili, da 30 g/m²/g a circa 40000 g/m²/g (nelle caldare).

Gli impianti esistenti di estrazione di CO₂ dal terreno sono rivolti alla captazione di giacimenti profondi ad elevata concentrazione. Quindi, tale attività estrattiva comporta l'emissione in atmosfera di CO₂ sequestrata per via geologica. Per contro, nei siti in cui si ha l'affioramento naturale del gas, la sua captazione ne consentirebbe l'utilizzo nel ciclo antropico prima del rilascio in atmosfera, con conseguente azzeramento delle emissioni nel bilancio energetico. Tali affioramenti hanno concentrazioni inferiori a quelle dei giacimenti profondi con la conseguente necessità di utilizzare tecnologie del tutto differenti.

Una tecnologia simile alla captazione di CO₂ affiorante è l'aspirazione dei VOC da terreni contaminati. Per entrambe, la finalità dell'impianto è la captazione di emissioni gassose dagli strati superficiali del suolo, al di sopra della falda. Nelle applicazioni finalizzate alla bonifica del sito, l'obiettivo è la promozione dell'evaporazione dei VOC spesso realizzata anche con pozzi di insufflazione di aria per la promozione della migrazione dei gas. Invece, ai fini del successivo utilizzo del gas per la produzione di metano di sintesi è necessario che la captazione avvenga in assenza di contaminazione da ossigeno atmosferico. Ciò comporta la necessità di determinare la tecnologia di captazione più promettente per le specificità dell'applicazione, eventualmente introducendo le modifiche necessarie.

Pertanto, è stata condotta un'analisi delle tecnologie in uso per la captazione di emissioni gassose dal suolo. In particolare, saranno analizzate e valutate in termini prestazionali le diverse tecnologie in uso per l'aspirazione di gas e vapori da suoli, in relazione all'esigenza di costruire un prototipo mobile di sistema di captazione. Nell'ambito dell'analisi è stata posta particolare attenzione alle esigenze di qualità della captazione con riferimento alla contaminazione da aria.

Inoltre, è stato progettato e dimensionato il prototipo di captazione, includendo la componentistica principale e quella ausiliaria a corredo. In particolare, sono stati dimensionati il ventilatore per la captazione della CO₂, le linee per il trattamento dei gas/umidità e l'eventuale separazione dei componenti in esso contenuti nocivi per i successivi stadi del processo di sintesi del metano, affinché il flusso di CO₂ ottenuto possa essere conforme al tipo di utilizzo finale.

Infine, è stato formulato un bilancio energetico del sistema di captazione.

2 Risultati ottenuti

Lo studio condotto nella LA ha consentito di evidenziare come la tecnologia più appropriata per la captazione di CO₂ endogena emessa da siti geologici naturali sia quella già impiegata per l'estrazione di biogas da discarica. Il dimensionamento dovrà essere sviluppato utilizzando le metodologie esistenti per gli impianti di Soil Vapor Extraction (SVE).

Ciononostante, questa tecnologia richiede la realizzazione di impianti fissi, non conciliabili con un prototipo. Pertanto, il progetto del prototipo è stato sviluppato modificando l'assetto delle camere di aspirazione utilizzate per le misure di emissione.

3 Prodotti attesi

La LA non prevede la realizzazione di prodotti hardware o software. L'unico deliverable previsto è il Rapporto tecnico (R2.08-1): "Tecnologie di captazione di gas da suolo e progetto di massima di un prototipo di captazione CO₂ proveniente da emissioni spontanee del terreno".

4 Prodotti sviluppati

Nel corso della LA è stato redatto il Rapporto tecnico (R2.08-1): "Tecnologie di captazione di gas da suolo e progetto di massima di un prototipo di captazione CO₂ proveniente da emissioni spontanee del terreno" allegato al presente documento.

5 Analisi degli scostamenti su attività e risultati

L'attività è stata svolta senza scostamenti tecnici rispetto al preventivo. Nel corso dell'attività di analisi delle tecnologie disponibili si è concretizzata l'eventualità di assenza di una tecnologia esistente utilizzabile per la captazione della CO₂. Infatti, le tecnologie di riferimento individuate sono quelle relative al monitoraggio delle emissioni di CO₂, alla cattura di GHG emessi da discarica e alla bonifica di terreni affetti da inquinamento da sostanze volatili negli strati vadosi, al di sopra della falda. Tali tecnologie prevedono il mescolamento del gas captato con aria atmosferica o non ne sono affette in modo apprezzabile. Pertanto, non possono essere considerate direttamente per il progetto in essere che richiede la captazione delle emissioni di CO₂ dal terreno in assenza di contaminazione da ossigeno. Quindi, come già previsto nel piano dei rischi, è stata sviluppata una nuova tecnologia.

6 Sintesi delle attività svolte

Le tecnologie individuate attinenti alla captazione di CO₂ endogena emessa da siti geologici naturali sono:

1. Monitoraggio delle emissioni gassose dal terreno, tra cui il metodo della camera d'accumulo.
2. Cattura di gas ad effetto serra emessi da discarica.
3. Bonifica di terreni affetti da inquinamento da sostanze volatili, al di sopra della falda (SVE).

La prima non è propriamente una tecnologia di captazione. La seconda e la terza non sono utilizzabili per il prototipo in quanto richiedono impianti fissi.

Sono state definiti i vincoli per il prototipo, individuando la tecnologia preferenziale.

Sono state dimensionate le apparecchiature che costituiscono il prototipo di captazione, compresa la componentistica principale ed ausiliaria a corredo.

Sono state formulate le equazioni per il bilancio energetico del prototipo e delle eventuali diverse successive realizzazioni.

7 Dettaglio delle attività svolte

La ricerca bibliografica dello stato dell'arte è stata effettuata mediante ricerca delle fonti sia su database di articoli accademici (Scopus e Google Scholar) che generale sul web. I risultati rilevanti sono riferiti a tre tecnologie:

4. monitoraggio delle emissioni gassose dal terreno,
5. cattura di gas ad effetto serra emessi da discarica,
6. bonifica di terreni affetti da inquinamento da sostanze volatili (VOC) negli strati vadosi, al di sopra della falda.

Ciascuna tecnologia è stata oggetto di analisi per individuarne le caratteristiche peculiari al fine di valutarne l'applicabilità per la realizzazione del dispositivo prototipo di captazione.

Per la misura del flusso diffuso di anidride carbonica e di altri gas (es. metano) dal suolo esistono diverse metodologie. I metodi diretti si attuano sia tramite procedure attive, sia tramite procedure passive, le quali consistono nella misura della concentrazione di CO₂ rilasciata dal suolo ed accumulata all'interno di un contenitore. Tra le tecniche passive dirette vi è il metodo della camera d'accumulo che permette di misurare rapidamente valori di flusso di CO₂ dal suolo.

La camera d'accumulo viene poggiata o infissa al suolo in modo che l'aria atmosferica non possa penetrare all'interno (Figure 7.1, 7.2 e 7.3). Quindi, viene misurata la concentrazione del gas accumulatosi nel volume noto della camera d'accumulo. La modalità di posa della camera di accumulo deve garantire che non vi siano scambi di massa lungo il perimetro della superficie di appoggio. In caso di infissione nel terreno, per misure di durata inferiore a 1 ora, è ritenuta opportuna una profondità di infissione di 10 cm.

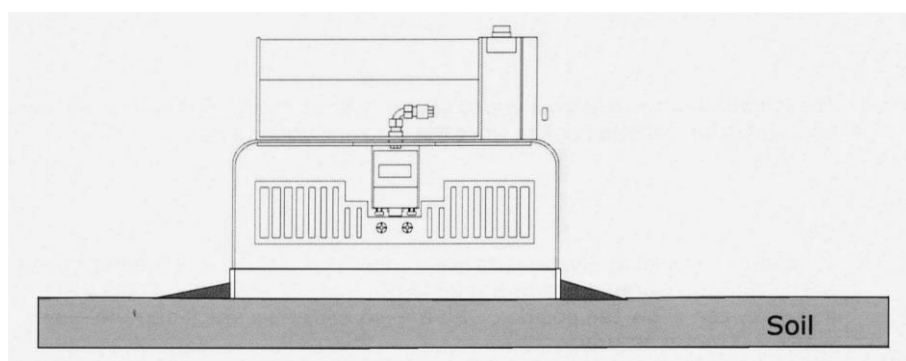


Fig. 7.1 – Camera di accumulo in appoggio sul terreno



Fig. 7.2 – Camera di accumulo infissa nel terreno

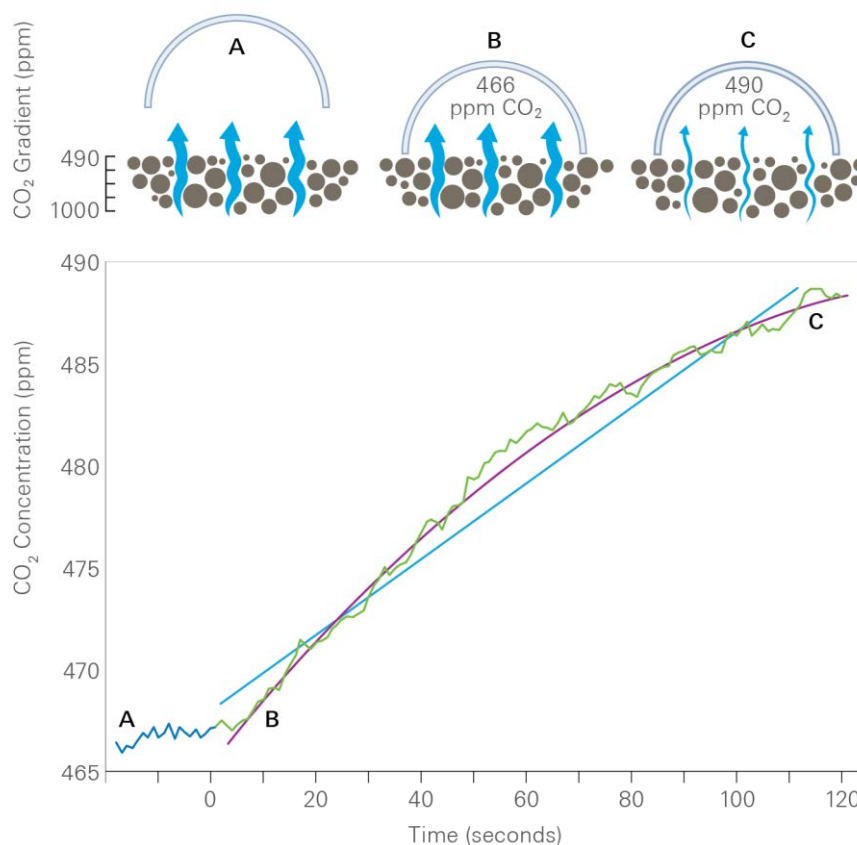


Fig. 7.3 – Evoluzione temporale della concentrazione nella camera di accumulo e curve di interpolazione

Queste tecnologie sono un valido spunto per la realizzazione di sistemi di captazione mobili, seppure abbiano una funzione significativamente differente, essendo finalizzate ad evitare l'alterazione del flusso dal terreno massimizzando la qualità (precisione e fedeltà) della misurazione. Per contro, nel prototipo la finalità sarà l'efficienza di captazione e l'esclusione (limitazione) delle infiltrazioni di aria atmosferica.

Come è noto, la degradazione biologica di rifiuti determina la generazione di biogas con composizione variabile in relazione alle caratteristiche del processo, generalmente dotato di effetto climalterante ($GWP > 1$) per una cospicua presenza di metano che ne determina un valore energetico. Pertanto, si è diffusa la captazione delle esalazioni gassose finalizzate alternativamente alla combustione in torcia, per ridurre il GWP, o alla valorizzazione energetica.

La captazione del biogas avviene per captazione forzata, questa prevede un'applicazione di una depressione all'interno del corpo della discarica che promuove la migrazione verso il pozzo del gas prodotto.

La rete di captazione dell'impianto può essere composta da uno o più delle seguenti tipologie e sistemi:

Rete interna (figura 7.4)

Pozzi verticali in crescita e/o con diramazioni integrative orizzontali e/o in aspirazione dalla base
Pozzi trivellati (verticali o obliqui)
Trincee drenanti sub-orizzontali

Rete superficiale (figura 7.5)

Rete perimetrale
Rete sommitale

Altri punti di captazione non dedicati

Pozzi duali
Ulteriori punti di captazione

I pozzi di estrazione verticali sono realizzati durante la coltivazione della discarica, quindi, seguono l'evoluzione in altezza della discarica. Lo schema di funzionamento è riportato in figura 7.6. Per incrementare l'efficienza di captazione si può realizzare una rete di captazione integrativa, in serie con la prima, installando delle tubazioni di captazione orizzontali, il loro posizionamento segue la coltivazione delle varie celle di scarico, come mostrato in figura 7.7.

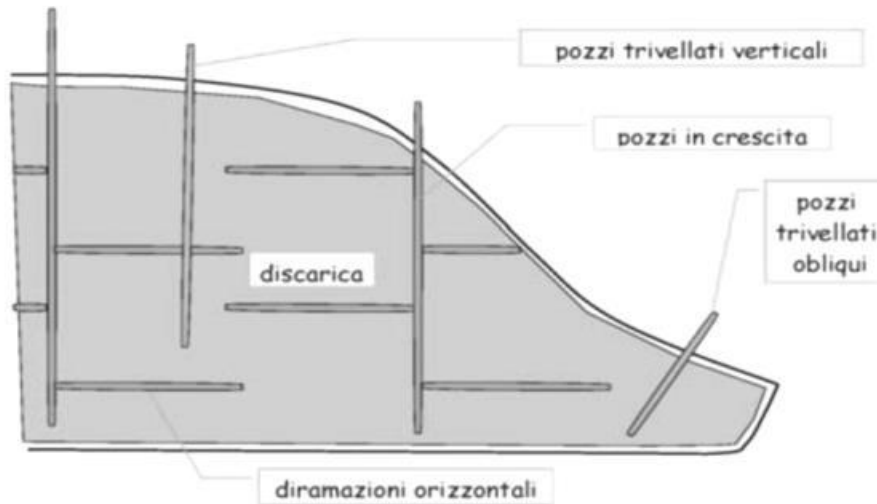


Fig. 7.4 – Schematizzazione della rete di captazione interna

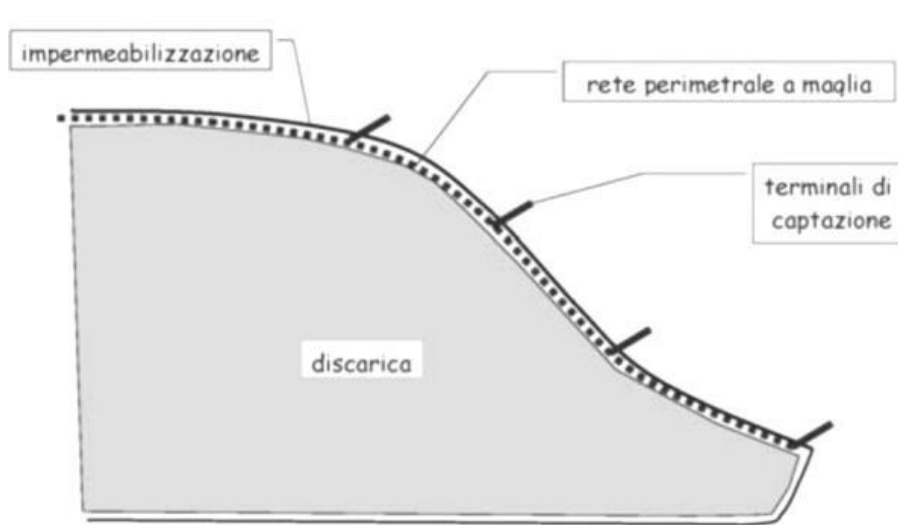


Fig. 7.5 – Schematizzazione della rete di captazione superficiale

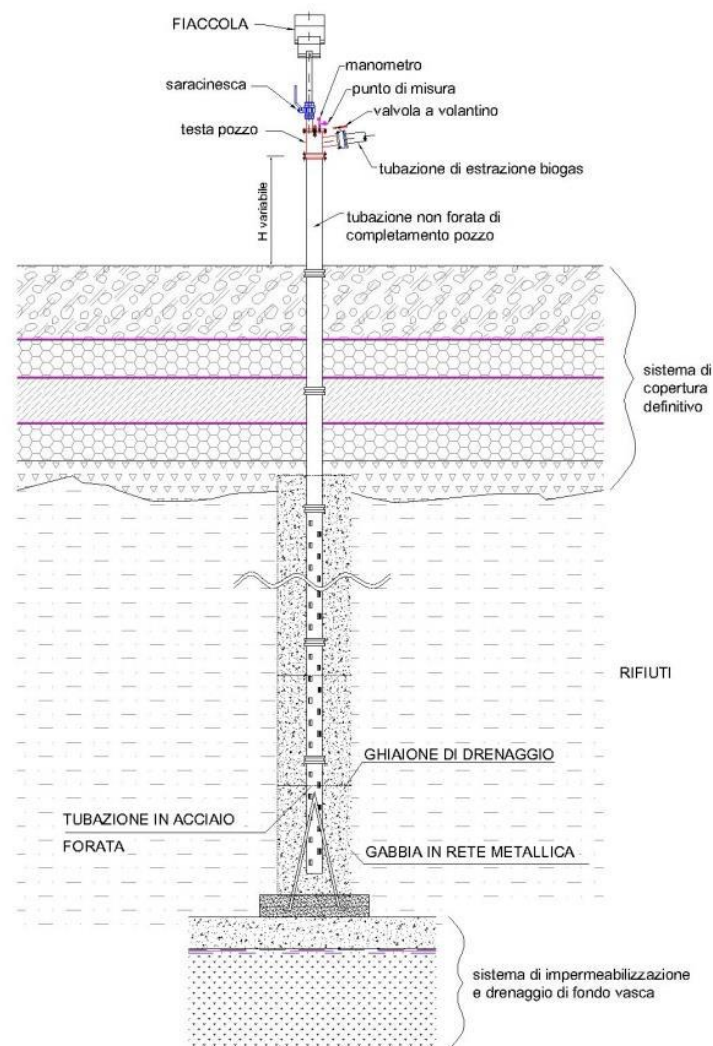


Fig. 7.6 – Schematizzazione di un pozzo verticale in crescita

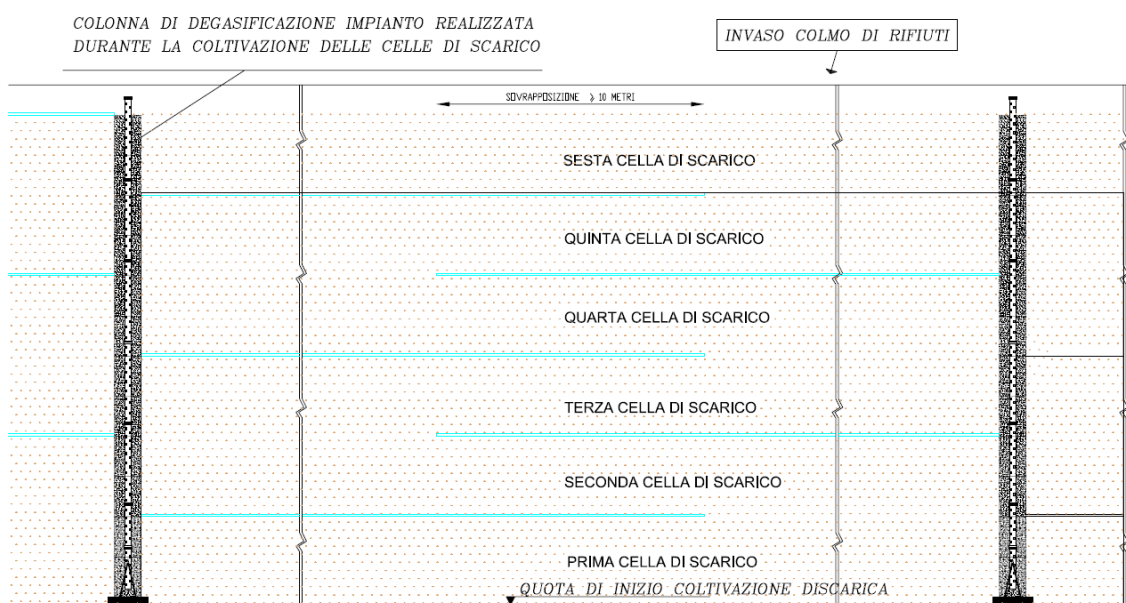


Fig. 7.7 – Schematizzazione delle tubazioni integrative orizzontali

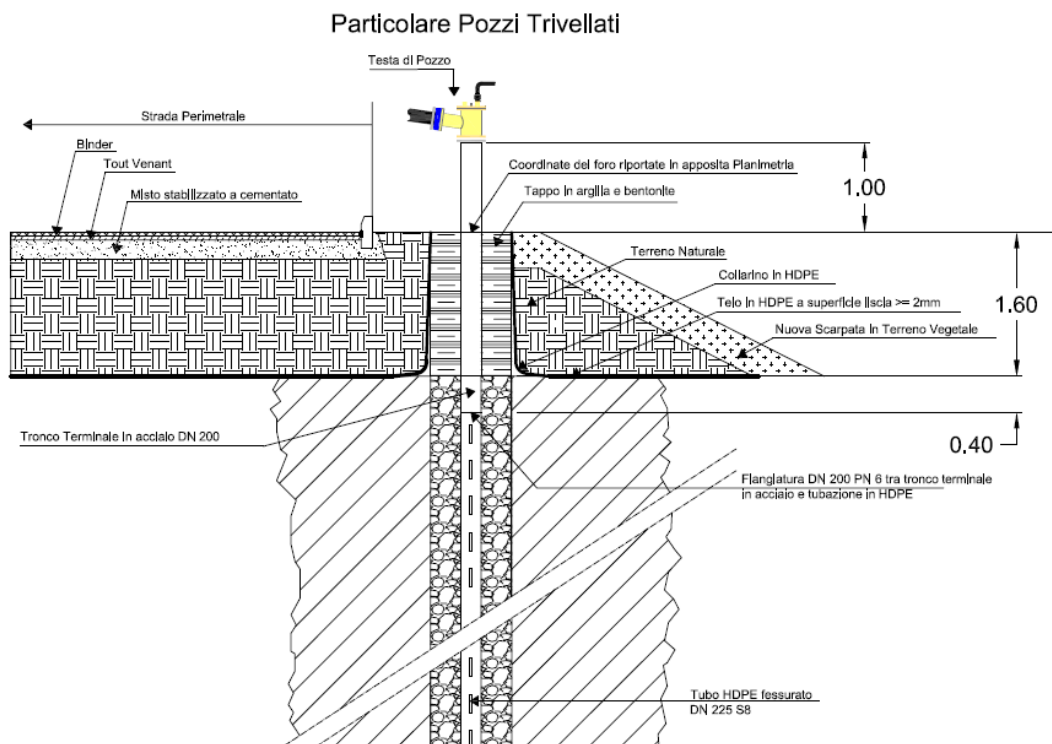


Fig. 7.8 – Schematizzazione di un pozzo verticale trivellato dopo la fine della coltivazione

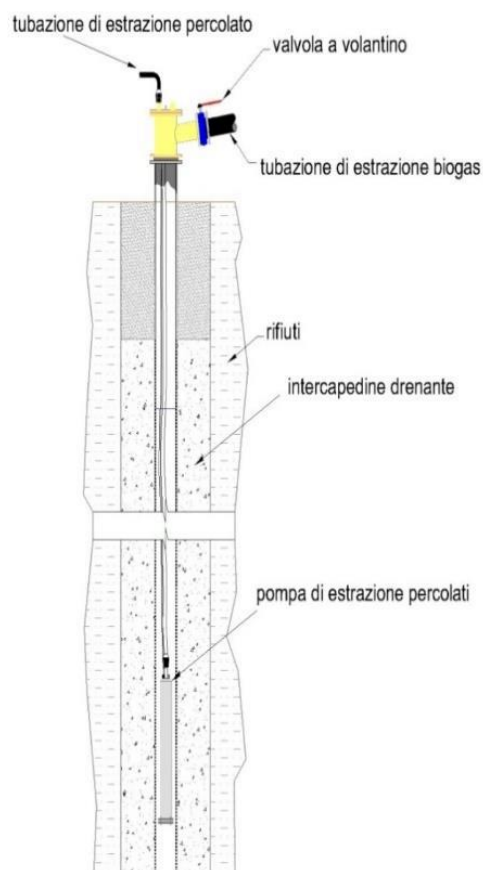


Fig. 7.9 – Schematizzazione di un pozzo duale

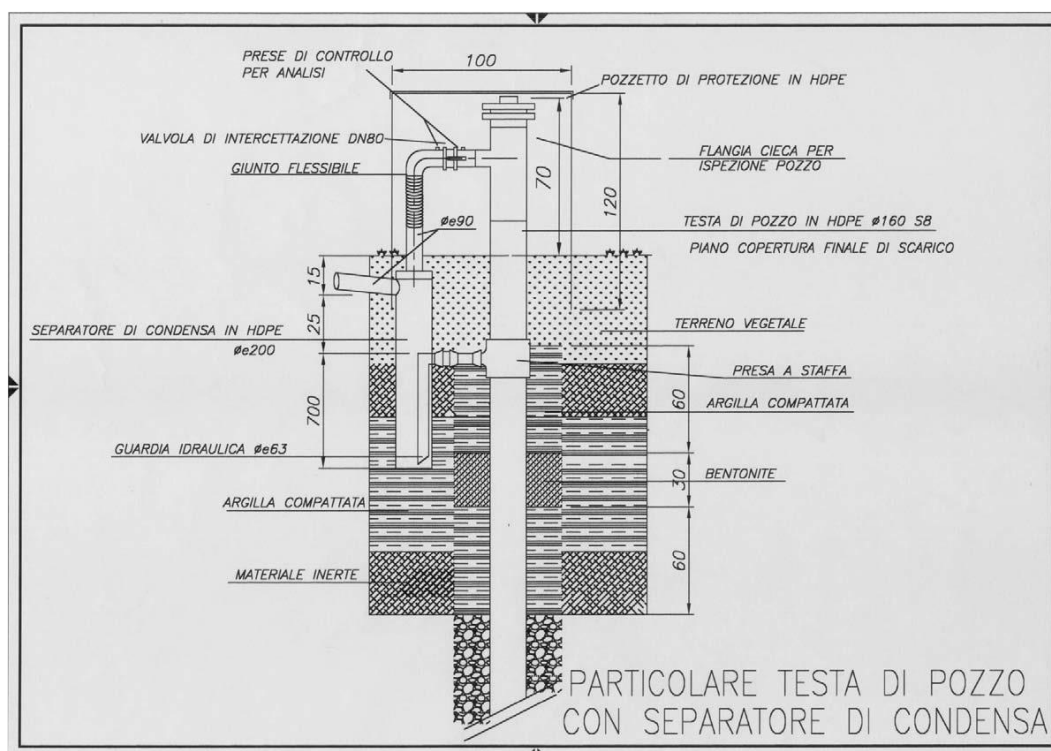


Fig. 7.10 – Schematizzazione di un separatore di condensa in testa al pozzo

I pozzi trivellati verticali sono realizzati dopo la fine della coltivazione, necessari per sostituire pozzi in via di esaurimento o infittire la rete di captazione. Lo schema di tali tipologie di pozzi è riportato in figura 7.8.

La rete di trasporto è l'insieme di condotte che convogliano il biogas da ciascuno dei singoli pozzi della rete di captazione fino agli impianti di successivo utilizzo.

Presso le stazioni di aspirazione sono installate le soffianti che hanno il compito di fornire la depressione necessaria per assicurare l'estrazione forzata del biogas e compensare le perdite di carico nella rete di trasporto, sia nei collettori a monte delle soffianti e che nei collettori in pressione che dalle soffianti trasportano il gas ai successivi componenti di utilizzo o vettoriamento.

Questa tecnologia presenta numerose affinità con la cattura del gas esalato da terreno. La differenza principale è data dalla natura confinata delle discariche rispetto al terreno. È ragionevole che sia previsto un intervento di impermeabilizzazione degli strati superficiali del terreno, dove possibile, per aumentare l'efficienza di captazione. Ciononostante, saranno necessari approfondimenti e modellizzazioni adeguate per la definizione delle prestazioni.

D'altra parte, questa tecnologia implica la realizzazione di impianti fissi che non si conciliano con un sistema prototipo da provare in diverse condizioni.

Tra le tecnologie di bonifica di terreni affetti da inquinamento da composti volatili, generalmente organici, è di diffuso impiego il Soil Vapor Extraction (SVE). Lo SVE è una tecnica di bonifica adatta per il trattamento dei composti organici volatili e semivolatili nei terreni omogenei e a tessitura medio-grossolana con permeabilità medio-alta, in corrispondenza della zona insatura (difficilmente applicabile qualora la falda si riscontrasse a profondità inferiori di 2 m dal piano campagna).

Il principio di funzionamento, illustrato in Figura 7.11, è basato sulla generazione di un flusso di aria nel sottosuolo, grazie all'applicazione di un gradiente di pressione attraverso trincee orizzontali o pozzi verticali e orizzontali, a cui fa seguito l'estrazione dell'insaturo.

I composti volatili rilasciati dal terreno evaporano fino alla saturazione dei pori; la ventilazione induce la circolazione dell'aria e provoca un rinnovo dell'aria inquinata nei pori. Questo fenomeno ha l'effetto di modificare gli equilibri chimici tra le diverse fasi presenti (aria, acqua, suolo); quindi, durante il suo passaggio

attraverso l'area contaminata, l'aria viene "caricata" di contaminanti, i vapori vengono recuperati mediante i punti di estrazione e, infine, trattati in superficie.

La tecnologia SVE si basa dunque sull'estrazione ed il recupero dell'aria interstiziale del sottosuolo attraverso l'applicazione di una depressione nella zona insatura del terreno.

La tecnologia è utilizzabile in presenza di terreni omogenei con granulometria da sabbioso-limosa a ghiaiosa, caratterizzati da una permeabilità medio-alta, con profondità della zona satura sottostante > 2-3 m.

I componenti di base per realizzare un sistema di SVE sono, come illustrato in figura 7.12.

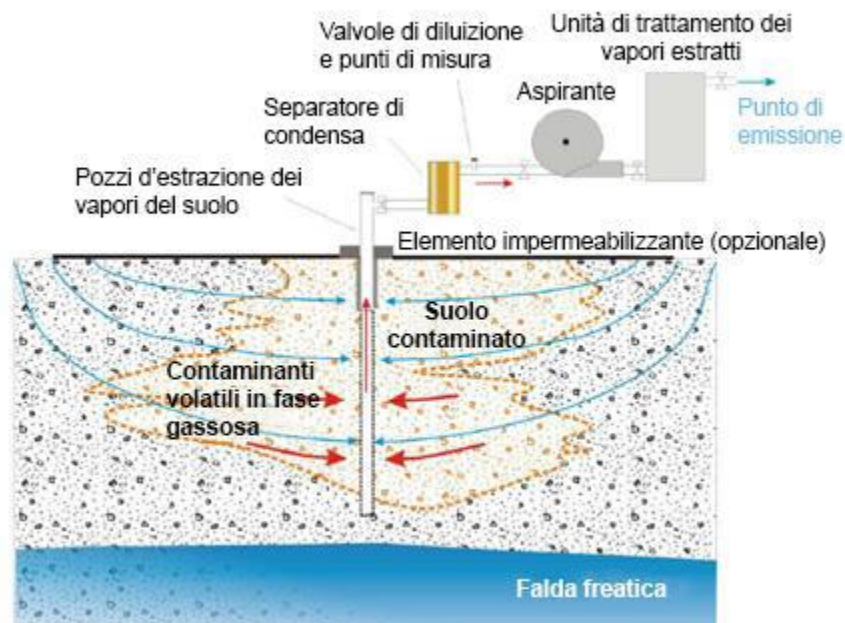


Fig. 7.11 – Esempificazione del funzionamento del Soil Vapor Extraction (SVE)

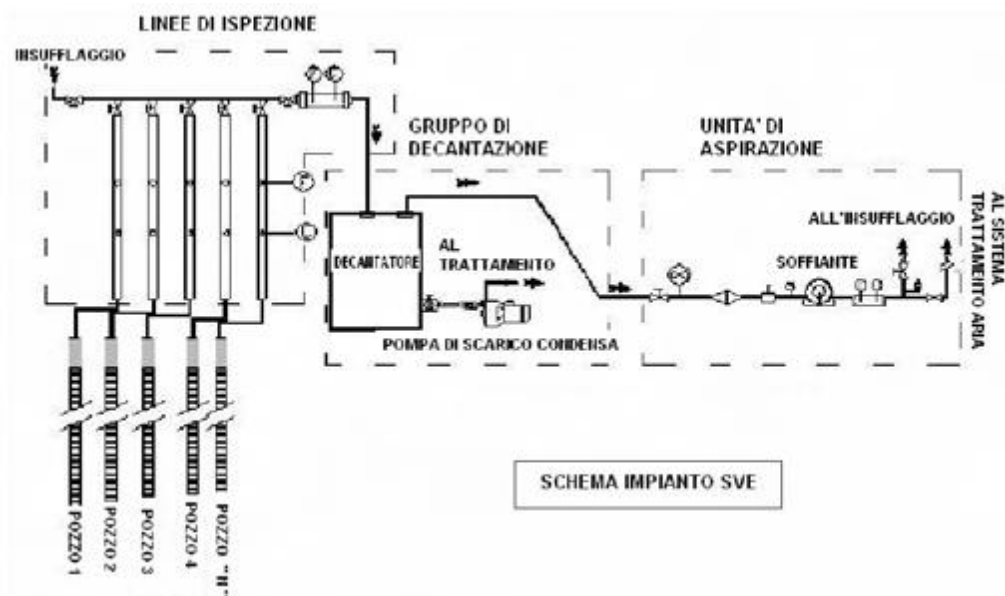


Fig. 7.12 – Esempificazione dei componenti di un impianto SVE

L'efficienza del trattamento di bonifica aumenta inserendo nello schema operativo di base anche dei pozzi di insufflazione di aria, che facilitano l'induzione di un flusso di aria.

Considerata la limitata disponibilità di informazioni quantitative della composizione del terreno, per la progettazione degli impianti di SVE è necessario effettuare delle prove con un impianto pilota che fornisca i

parametri sito-specifici relativi alla permeabilità del terreno al gas, oltre che le valutazioni quantitative dell'efficacia di bonifica. L'impianto pilota è generalmente composto di uno o più pozzi e di punti di fissi di monitoraggio, generalmente almeno tre, collocati a diverse distanze e direzioni dal pozzo di prova. In questi sono installate sonde per la misura della pressione e sistemi di prelievo di gas interstiziale per l'analisi chimica a diverse profondità. La prima prova è generalmente un test a gradini di portata, realizzato applicando progressivamente depressioni crescenti in testa al pozzo fino al raggiungimento di una portata costante. Una volta determinata la depressione necessaria per realizzare la portata desiderata si esegue un test a portata costante, con cui si misura la permeabilità del suolo per determinare il raggio di influenza del pozzo in diverse condizioni operative. A tal fine, si rileva in un periodo di alcuni giorni o settimane la depressione indotta nei punti di monitoraggio.

Questa tecnologia presenta numerose affinità con la cattura del gas esalato da terreno. La differenza principale è data dal ruolo dell'aria atmosferica, collaborante negli impianti di SVE, inquinante nel caso in esame. I modelli e i metodi sviluppati per l'applicazione di tale tecnologia possono essere mutuati per la realizzazione di un impianto di captazione di CO₂ dal terreno. D'altra parte, questa tecnologia implica la realizzazione di impianti fissi che non si conciliano con un sistema prototipo da provare in diverse condizioni.

Il sistema prototipo deve garantire le seguenti prestazioni.

- Sistema mobile, idoneo per il trasporto con mezzi leggeri (furgone). Dimensioni massime, larghezza 1,6 m, lunghezza 1,8 m.
- Appoggio al suolo, in quanto l'infissione di un bordo ampio pone maggiori rischi di complicazioni strutturali.
- Alimentazione a batteria, perché possa operare in ogni condizione.
- Portata minima complessiva del gas captato 50 l/h, per l'utilizzo di soffianti standard.
- Portata massima complessiva del gas captato 10 volte la portata minima, per poter utilizzare la medesima soffiante per le diverse modalità di prova.
- Sistema di modulazione dell'aspirazione per adeguarlo alla captazione.
- Sistema di tenuta per evitare infiltrazioni di aria.

Considerate le portate caratteristiche dei siti di possibile utilizzo, sono state determinate le superfici di captazione richieste per realizzare la minima e la massima portata definite sopra, come illustrato in figura 7.13. Si osserva che non è possibile soddisfare l'intera gamma di possibili portate di emissione con un medesimo captatore.

Il vincolo dimensionale per il trasporto del captatore limita la superficie realizzabile. Considerando un anello di guardia di spessore pari a 10 cm e lo smusso degli angoli con un raggio di 0,4 m per evitare punti critici per la tenuta, si ha una massima superficie di captazione pari a 2,16 m². Tale valore è adeguato per portate di emissione fino a circa 1000 g/m² giorno. È possibile realizzare più moduli di captazione in modo da consentire l'utilizzo del sistema anche con portate inferiori. A tal fine, è stato rappresentato sul diagramma in figura 7.14 la portata specifica di emissione minima e massima compatibili con ciascun numero di moduli.

Pertanto, il prototipo sarà predisposto per il collegamento di ulteriori moduli di captazione.

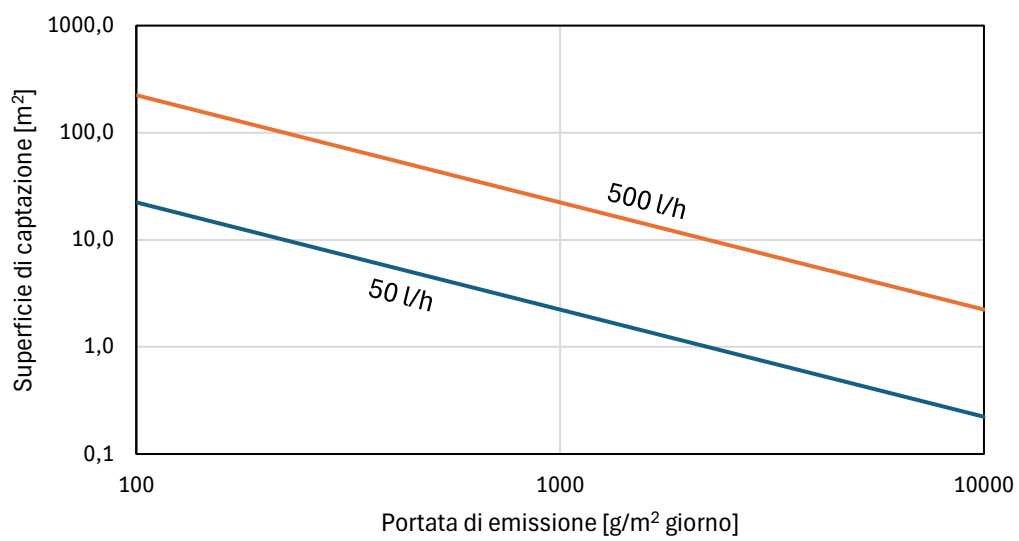


Fig. 7.13 – Superficie di captazione necessaria per realizzare la minima e la massima portata impostata per la soffiante in relazione alla portata di emissione

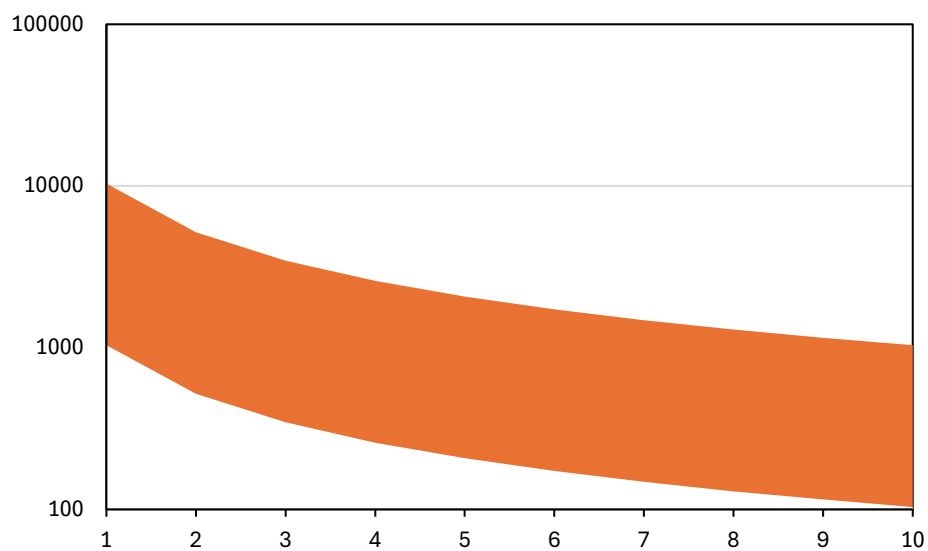


Fig. 7.14 – Portata di emissione minima e massima compatibili con ciascun numero di moduli di captazione.

Il prototipo è così composto:

- Camera di aspirazione appoggiata al terreno con circostante intercapedine di guardia.
- Aspirazione con filtro dalla camera.
- Collettore di aspirazione completo di valvole di intercettazione di ciascuna delle 10 prese con tappo di chiusura.
- Serbatoio di aspirazione con funzione di sedimentazione di polveri e condensa, volume 50 l, dotato di scarico condensa sul fondo con valvola di chiusura.
- Pompa a membrana per gas, portata da 50 l/h a 500 l/h, prevalenza massima 1 bar.
- Serbatoio di mandata con funzione di sedimentazione condensa, volume 50 l, dotato di scarico condensa sul fondo con valvola di chiusura.
- Circuito di by-pass della pompa con valvola a sfera di intercettazione ed elettrovalvola di comando per garantire un limite inferiore alla depressione di aspirazione.
- Elettrovalvola di espulsione dal prototipo/mandata al desolforatore.
- Collettore di pressurizzazione delle intercapedini di guardia.

Lo schema dell'impianto è rappresentato in figura 7.15.

La camera di aspirazione, rappresentata in figura 7.16, è costituita da una coppia di anelli di profilato in acciaio zincato 20x20 uniti da 12 puntoni di pari sezione. Al telaio è saldata una lamiera di rivestimento dell'anello. Al di sotto del telaio sono incollati tre teli in PELD che formano la copertura della camera di captazione. Al di sotto di questi è fissato con collegamento smontabile uno strato di geotessile, finalizzato a ridurre la quantità di terriccio in ingresso alla camera. Tra i teli in PE e il geotessile è disposto un distanziatore di altezza 30 mm per garantire la presenza del meato per il transito del gas e l'equalizzazione della pressione. Al di sopra dei teli in PE è disposta un'ulteriore coppia di teli in PE che formano il rivestimento esterno dell'intercapedine di pressurizzazione. Il dettaglio dei componenti è rappresentato in figura 7.17.

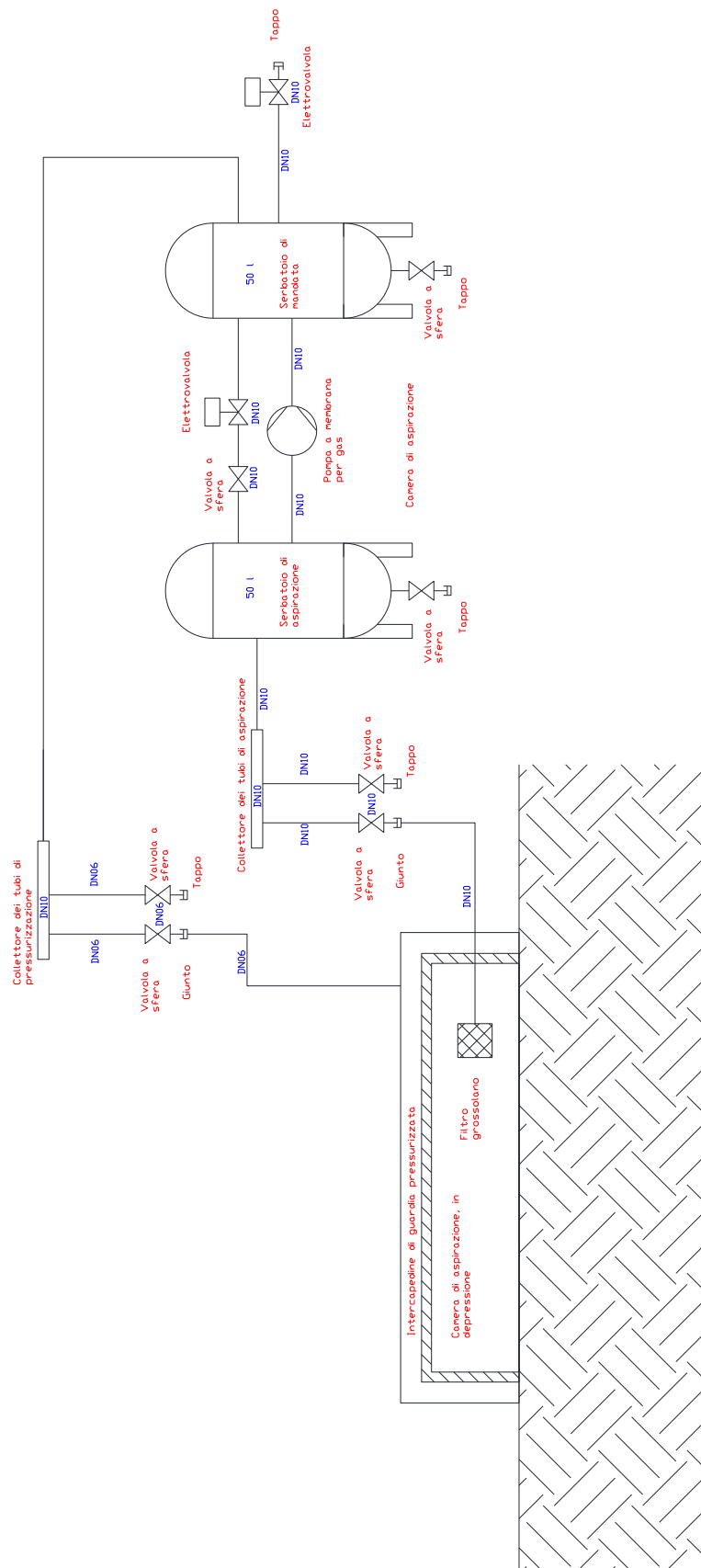


Fig. 7.15 – Schema funzionale dell’impianto.

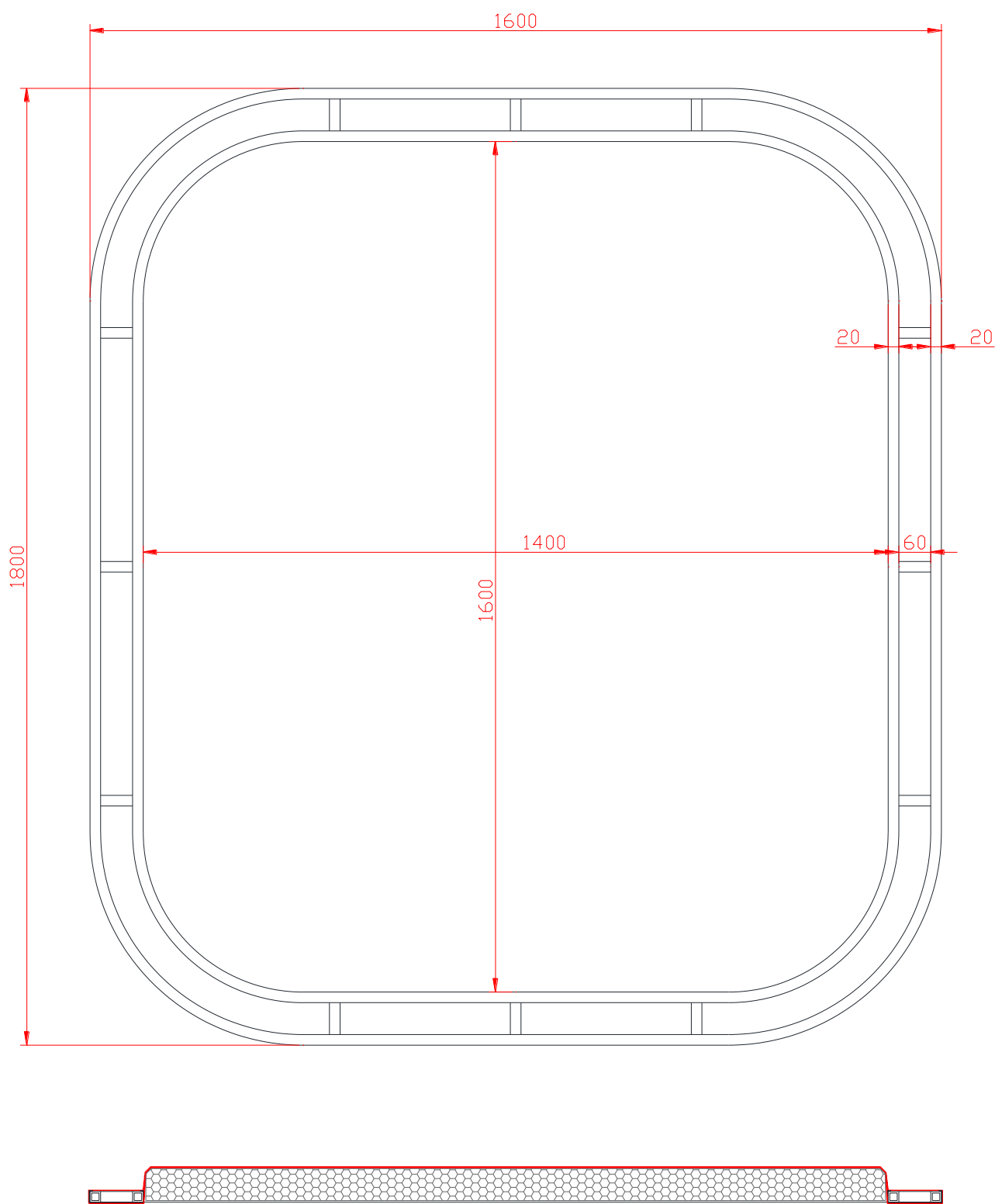


Fig. 7.16 – Camera di aspirazione.

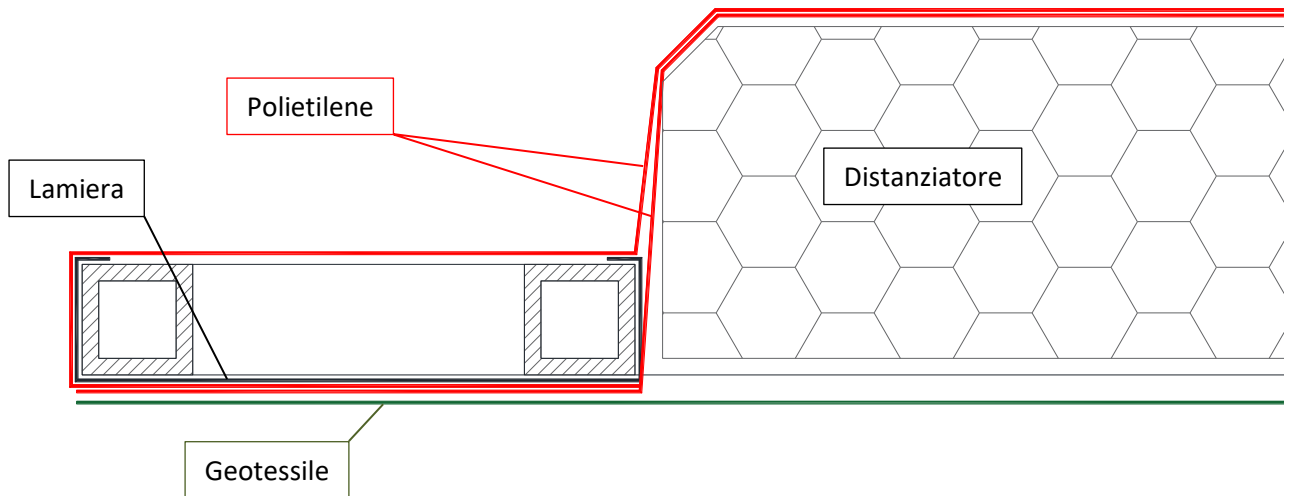


Fig. 7.17 – Dettaglio della camera di aspirazione.

Il fabbisogno di energia dell'impianto è dovuto esclusivamente alla pompa/soffiante. La potenza assorbita è data dall'equazione 7.1, in cui G è la portata volumetrica trattata, W è la potenza assorbita, P_1 è la pressione alla bocca di mandata, P_0 è la pressione alla bocca di aspirazione, η_m è il rendimento della pompa, η_e è il rendimento del motore elettrico.

$$W = \frac{G \cdot (P_1 - P_0)}{\eta_m \cdot \eta_e} \quad (7.1)$$

La pressione di aspirazione è data dalla depressione necessaria per favorire l'emissione del gas dal terreno ΔP_g , diminuita delle perdite di carico nei componenti e tubazioni di aspirazione R_j . Indicando con P_a la pressione atmosferica, la pressione alla bocca di aspirazione è data dall'equazione 7.2.

$$P_0 = P_a - \Delta P_g - \sum R_j \quad (7.2)$$

La pressione di mandata è data dalla somma delle perdite di carico in tutti i componenti necessari a valle, fino al punto di utilizzo alla pressione P_u , come espresso dall'equazione 7.3.

$$P_1 = P_u + \sum R_j \quad (7.3)$$

Combinando le equazioni riportate sopra si ha l'espressione del fabbisogno istantaneo di energia, equazione 7.4, in cui la sommatoria delle perdite di carico è estesa a tutti i componenti dell'impianto.

$$W = \frac{G}{\eta_m \cdot \eta_e} \cdot (P_u - P_a + \Delta P_g + \sum R_j) \quad (7.4)$$

8 Contributo delle eventuali consulenze alle attività sopra descritte

Nell'ambito della LA non vi è stato ricorso a consulenze.

9 Pubblicazioni scientifiche

Nell'ambito della LA non sono state prodotte pubblicazioni scientifiche.

10 Eventi di disseminazione

Nell'ambito della LA non sono scaturiti eventi di disseminazione.