

2007

**Misure di flusso di geo-gas
(CO₂, ecc.) con il "Sistema SAP" in
polle gassose a flusso macroscopico:
i casi della Val Comino e di Palidoro**

Francesco Siragusa, Fedora Quattrocchi

n.45

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Via di Vigna Murata 605 - 00143 Roma

tel 06518601 • fax 065041181

www.ingv.it



**MISURE DI FLUSSO DI GEO-GAS (CO₂, ecc.) CON IL “SISTEMA SAP”
IN POLLE GASSOSE A FLUSSO MACROSCOPICO:
I CASI DELLA VAL COMINO E DI PALIDORO**

Francesco Siragusa e Fedora Quattrocchi

hanno collaborato:

Cardellini C., Cinti D., Mecozzi S., Pizzino L., Procesi M.,
Sciarra A., Voltattorni N.

*Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia – Roma
Laboratorio di Geochimica dei Fluidi*

Indice

	Introduzione	5
1.	Metodo di misura	5
2.	Siti di misura	8
3.	Risultati e discussione delle misure di campagna	10
3.1	Sito Colle Monticchio in Val Comino	10
3.2	Siti EG1 ed EG2 di Palidoro	12
4.	Conclusioni	14
5.	Archivio fotografico	15
	Ringraziamenti	21
	Bibliografia	21

Introduzione

L'UR 11 del Progetto DPC 2005-2007 V5 "Diffuse Degassing in Italy" ha messo a punto e testato un sistema in grado di effettuare misure di flusso di emissioni gassose naturali "ad alta portata" (con particolare riferimento alla CO₂, ma anche di altri geo-gas), utilizzando i dati di composizione chimica del gas stesso; tale sistema è stato denominato "SAP" ovvero Sistema di misura di flusso geo-gas ad Alta Portata.

In questo II anno di progetto si è concentrata l'attenzione sulle emissioni "eclatanti", associate a piccoli laghetti o "polle" naturali, in zone dove storicamente è nota l'emissione più o meno marcata e continua di flussi gassosi. In particolare le misure sono state effettuate nelle aree della Val Comino (Basso Lazio) e di Palidoro (Alto Lazio).

La metodologia di misura presentata in questo report ricalca quella descritta da Rogie et al. [2000], ma presenta una maggiore versatilità dovuta ad una più ampia geometria del sistema convogliatore del gas da allocarsi sull'emissione gassosa, ed all'utilizzo di materiali più adeguati alle varie condizioni di campagna. Il sistema è stato concepito inoltre con l'intenzione di quantizzare con precisione non solo i flussi localizzati di CO₂, ma anche degli altri geo-gas.

Vista la grande abbondanza di CO₂ per i siti in oggetto (93,0 - 98,4% [dati del presente report]) e la sua intrinseca pericolosità per le forme di vita, la presente relazione si focalizza sui flussi della specie medesima; conoscendo però la concentrazione delle altre specie gassose componenti la miscela, è facile risalire, come sarà descritto in seguito, alla stima dei flussi delle specie minori ed in traccia (H₂S, CH₄, He, Rn, etc.).

La CO₂ presenta effetti tossici acuti immediati sull'apparato respiratorio; per tempi di esposizione fino a 15 minuti e per concentrazioni in atmosfera che raggiungono il 5% la CO₂ provoca vasocostrizione ed incremento della attività respiratoria; per concentrazioni >10% provoca paralisi respiratoria e svenimento; mentre per concentrazioni > 25% determina il decesso immediato (Baxter PJ, et al., 1989; Baxter PJ, et al., 1999). Tali effetti sono accresciuti dal fatto che la specie non presenta colore ed odore con la conseguente impossibilità di essere notata per tempo dagli organi sensoriali. Inoltre, essendo più pesante dell'aria, tende a formare delle dense nubi tossiche che seguono la topografia del luogo accumulandosi per lo più nelle zone depresse prossime alla zona di emissione (Freeth S. 2000).

È risultato per tanto di estrema importanza, in linea con il Progetto DPC 2005-2007 V5, quantificare i flussi giornalieri di CO₂ emessi dalle macro-polle come quella di Palidoro e della Val Comino.

Visto l'alto grado di tossicità dei gas emessi, manifestato dalla presenza più o meno continua di animali morti nei siti d'indagine (foto 5 e 6), tale ricerca ha come priorità di protezione civile la valutazione dei valori di flusso di CO₂ e delle sue implicazioni in termini di "pericolosità" e "valore esposto" nei riguardi di persone ed animali residenti nelle zone in esame; anche considerando il ruolo di carrier dell'anidride carbonica per altri geogas pericolosi per la salute umana come ad esempio il Radon [Pizzino et al. 2002; Voltaggio, 2003]. Già in passato, altri siti degassanti del territorio nazionale, hanno determinato incidenti letali anche ai danni di persone [Chiodini & Frondini, 2001; Pizzino et al., 2002; Voltaggio 2003]. La pericolosità di tali fenomeni di degassamento è poi accresciuta dalla presenza di zone geomorfologicamente depresse: le stesse "polle" ed i solchi e i rivoli prossimi alle zone di emissione. Tali elementi morfologici accumulano e veicolano le miscele gassose a CO₂ dominante che essendo più pesanti dell'aria tendono a stagnare nei primi strati di atmosfera a contatto con il suolo. In tal senso anche le condizioni di circolazione atmosferica locale giocano un importante ruolo nel favorire o sminuire l'accumulo dei gas.

La presente relazione descrive le prime esperienze di misura di flusso tramite SAP nelle aree della Val Comino e di Palidoro.

1. Metodo di misura

Il SAP consta di 3 componenti:

- 1 telone conico appositamente dimensionato;
- 2 set di tubi corrugati in alluminio con diametro (Φ_{tubo}) rispettivamente di 10 e 5 cm;
- 1 anemometro a filo caldo AF 210, le cui principali caratteristiche tecniche sono state riportate nella tabella 1;
- 1 misuratore di concentrazione di CO₂ che può essere un IR LICOR 880 oppure un gas cromatografo portatile CP2002 della *Chrompack*. In alternativa all'uso di uno strumento in sito, viene effettuato il campionamento in campionatori in vetro a doppio rubinetto da 200 cm³ oppure in

bombolette in acciaio INOX da 100 cm³, con successive analisi gas-cromatografiche e/o con quadrupolo, in laboratorio.

Il telone del SAP, è stato realizzato su specifico disegno INGV UR 11, utilizzando un: materiale impermeabile ad alta resistenza dal peso di 210 gr/m² (tessuto TARP COVER). Esso ha forma circolare con diametro di base B = 8 m (il telone può quindi assumere una forma conica se rigonfiato da gas all'interno, raggiungendo una altezza H = 1m). Esso presenta un bocchettone terminale centrale di diametro $\Phi_{\text{bocca}} = 15$ cm.

La circonferenza di base del telone è stata bordata da "occhielli a vela" metallici ad intervalli di 30 cm: la loro funzione è quella di assicurare la tela al terreno facendola aderire al perimetro della polla gorgogliante a mezzo di picchetti metallici (vedi foto 7-10). Lo stesso bordo esterno viene poi ricoperto con materiale sciolto presente sul luogo (sabbia o terriccio), in modo da migliorarne l'aderenza al suolo ed evitare possibili fughe di gas che falserebbero la misura di flusso.

Un'altra circonferenza di "occhielli a vela" è posizionata in corrispondenza del diametro B' = 4 m (interna alla circonferenza di base di cui sopra); da utilizzare per il fissaggio a terra del SAP qualora la polla gassosa risulti più piccola.

Al bocchettone centrale del telone viene applicato uno dei due set di tubi corrugabili in alluminio di differente diametro $\Phi_{\text{tubo 1}} = 10$ cm o $\Phi_{\text{tubo 2}} = 5$ cm. La scelta del diametro $\Phi_{\text{tubo 1}}$ si effettua nel caso di alti flussi di gas emessi, mentre $\Phi_{\text{tubo 2}}$ viene scelto nel caso di bassi flussi. L'uso del corretto diametro, consente al sistema di entrare a regime: si stabilisce, qualche tempo dopo l'installazione del sistema sulla polla, un equilibrio dinamico fra flusso di gas in entrata e flusso in uscita. Questo equilibrio, a sua volta determina un appropriato valore di pressione interna al SAP e quindi (in assenza di perdite ai margini perimetrali), un corretto gonfiaggio del sistema (foto 9). Al contrario, l'utilizzo di un diametro troppo piccolo o troppo grande rispetto alle emissioni di un dato sito, causerebbe rispettivamente una sovrappressione o una depressurizzazione interna che ostacolerebbero le misure. Sulla base di queste considerazioni, la scelta del diametro verrà effettuata a mezzo di un test preliminare sulla polla prima dell'avvio delle misure.

Nella parte terminale di tale set tubi corrugati, viene poi inserita la sonda a filo caldo dell'anemometro termico AF 210, in grado di effettuare misure specifiche di velocità gas e temperatura gas in tubazioni e condotte per valori relativamente ampi.

In ogni caso, prima dell'inizio delle misure il SAP va posto a regime dando il tempo al sistema di adattarsi al flusso gassoso ed assicurandosi che la tenuta ai margini della polla sia "stagna", evitando fughe laterali di gas dal telone stesso.

La formula utilizzata per il calcolo finale del flusso di CO₂ t/d da una polla gassosa macroscopica con il metodo SAP è stata ricavata a partire dalla equazione di stato dei gas ideali. Ciò è stato possibile in quanto alle condizioni di pressioni e temperatura esistenti normalmente sulla superficie terrestre il comportamento di una miscela gassosa approssima abbastanza bene quello di un gas ideale. Si può quindi scrivere:

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T \quad [1]$$

dove P [atm] è la pressione, V [cm³] il volume del gas, n il numero dei moli, R [= 82,057 cm³ atm mol⁻¹ K⁻¹] la costante universale dei gas e T la temperatura [°K].

Esplicitando il numero di moli nell'equazione [1] e ricordando che il flusso di una miscela gassosa come $\Phi = \text{moli } (n) / \text{tempo } (t)$, si può riscrivere:

$$\phi = \frac{n}{t} = \frac{P \cdot V}{R \cdot T} \cdot \frac{1}{t} \quad [2]$$

inoltre, esprimendo il volume (V) come il prodotto di un'area per una lunghezza ($V = A \cdot L$), ed utilizzando la definizione di velocità $vct = L/t$ (per poter immettere il dato di velocità del flusso gassoso), l'espressione [2] diventa:

$$\phi = \frac{A \cdot vct \cdot P}{R \cdot T} \quad [3]$$

L'equazione [3] esprime il flusso totale di una miscela gassosa in funzione della sua velocità, della pressione e temperatura. Il flusso di una singola specie gassosa, come ad esempio quella della CO₂ componente la miscela, sarà una frazione del flusso totale. Essa sarà pari al prodotto del flusso totale per la frazione molare della CO₂ nella miscela (C_{CO2}):

$$\phi_{CO_2} = \phi \times C_{CO_2} = \frac{\pi \cdot r^2 \cdot V_{ct} \cdot P}{R \cdot T} \cdot C_{CO_2} \quad [4]$$

come già è stato riportato da Rogie D. et alii [2000]. Ove l'area della sezione del corrugato (A) è stata espressa in funzione del raggio (dove r viene sostituito con r₁ = 5 cm o r₂ = 2,5 cm a secondo che nelle misure di campagna si utilizzi il tubo con diametro Φ_{tubo 1} = 10 cm o Φ_{tubo 2} = 5 cm rispettivamente)

Campo	Da 0,1 a 10 m/s
Precisione	0,12 m/s per intervallo 5° < t < 45°C ed 0,2 per valori esterni a detto intervallo
Temperatura di esercizio dello strumento	Da 0°C a 50°C
Precisione nelle misure di temperatura	0,5°C per 0° < t < 60°C ed 0,8°C negli altri casi
Temperatura di esercizio della sonda	Da -20°C a +80°C
Geometria sonda	Lunghezza 300mm, spessore 13mm

Tabella 1. caratteristiche tecniche anemometro AF 210

2. Siti di misura

Il sito scelto per la prima esperienza di misura di flusso tramite SAP è localizzato nell'Appennino Centro Meridionale in località *Colle Monticchio* sita nella Val Comino (fig. 1).

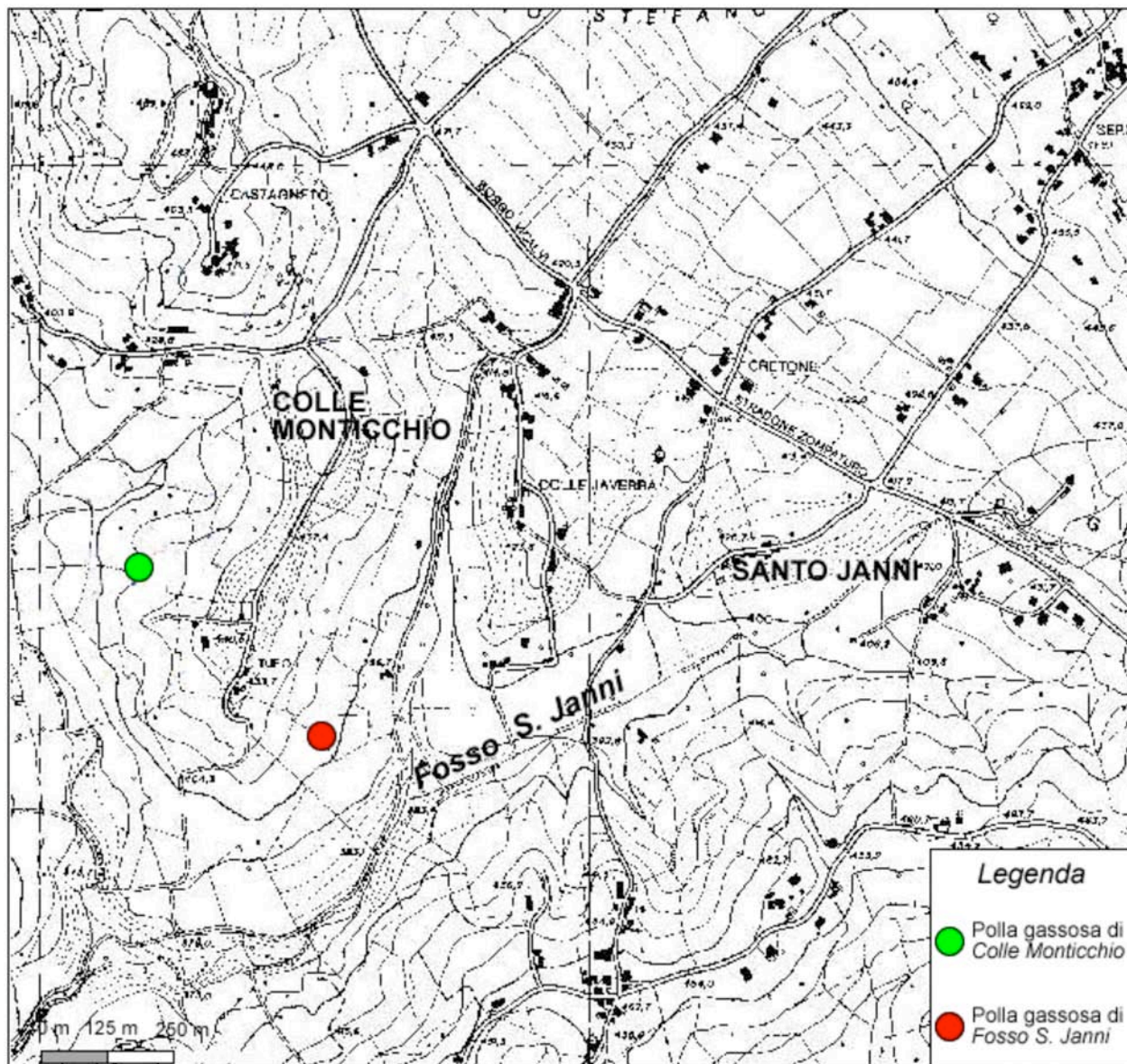


Fig. 1. Mappa di una zona della Val Comino con evidenziate le ubicazioni dei punti di emissione gassosa della polla di *Colle Monticchio* e di *Fosso Santo Janni* in Val Comino.

La polla gassosa di *Colle Monticchio*, non è l'unica nella Val Comino ad emettere gas: anche un'altra "polla" gorgogliante, quella di *Fosso Santo Janni*, presenta analoghe caratteristiche composizionali ma è caratterizzata da minore flusso gassoso (foto 1 e 2); tanto da non potersi adeguatamente impiegare il sistema SAP. La scelta della prima applicazione del SAP è stata quindi focalizzata solo sulla polla gassosa di *Colle Monticchio*, di cui fra l'altro si propaga un forte rumore sordo udibile da una certa distanza, causato dall'imponente flusso gassoso e conseguente forte gorgoglio alla superficie del laghetto.

Il secondo sito dove effettuare le misure di flusso di gas macroscopico tramite il SAP è una specifica zona nel margine tirrenico dei Monti della Tolfa: la zona di Palidoro, sita a circa due chilometri a NE del Comune di Santa Marinella (fig. 2). La scelta di tale zona di indagine è dovuta principalmente al fatto che l'area in oggetto è sede di costanti fenomeni di asfissia e decesso di animali selvatici e domestici. La

presenza ed il permanere di carcasse animali, come dimostrato in diversi sopralluoghi dell'UR 11 dell'INGV (foto 5-6), costituisce un forte monito circa la pericolosità della zona in oggetto anche per la vita umana. Si è visto infatti, in un passato recente, che in altri siti degassanti del territorio nazionale si sono verificati incidenti letali anche ai danni di persone oltre che di animali domestici [Chiodini & Frondini, 2001; Pizzino & Quattrocchi, 1999; Pizzino et al., 2002; Voltaggio 2003]. Considerando che nelle vicinanze dei centri di emissione gassosa della zona di Palidoro, ricadono diversi centri rurali abitati durante tutto l'anno (fig. 2), è quanto mai chiara l'importanza delle presenti e future campagne di indagine sui flussi di CO₂ ai fini di auspicabili strategie di protezione civile. La pericolosità delle emissioni gassose di Palidoro e Santa Marinella, è dovuta principalmente all'abbondanza di CO₂.

I centri di emissione delle manifestazioni gassose di Palidoro, si impostano a metà distanza fra il "Casale Crepacuore" ed il "Casale Le Macchiozze" lungo un'asta fluviale di primo ordine nota come "Fosso della Caldara" (fig. 2); tali centri sono costituiti da un piccolo laghetto gorgogliante ed alcune polle gassose.

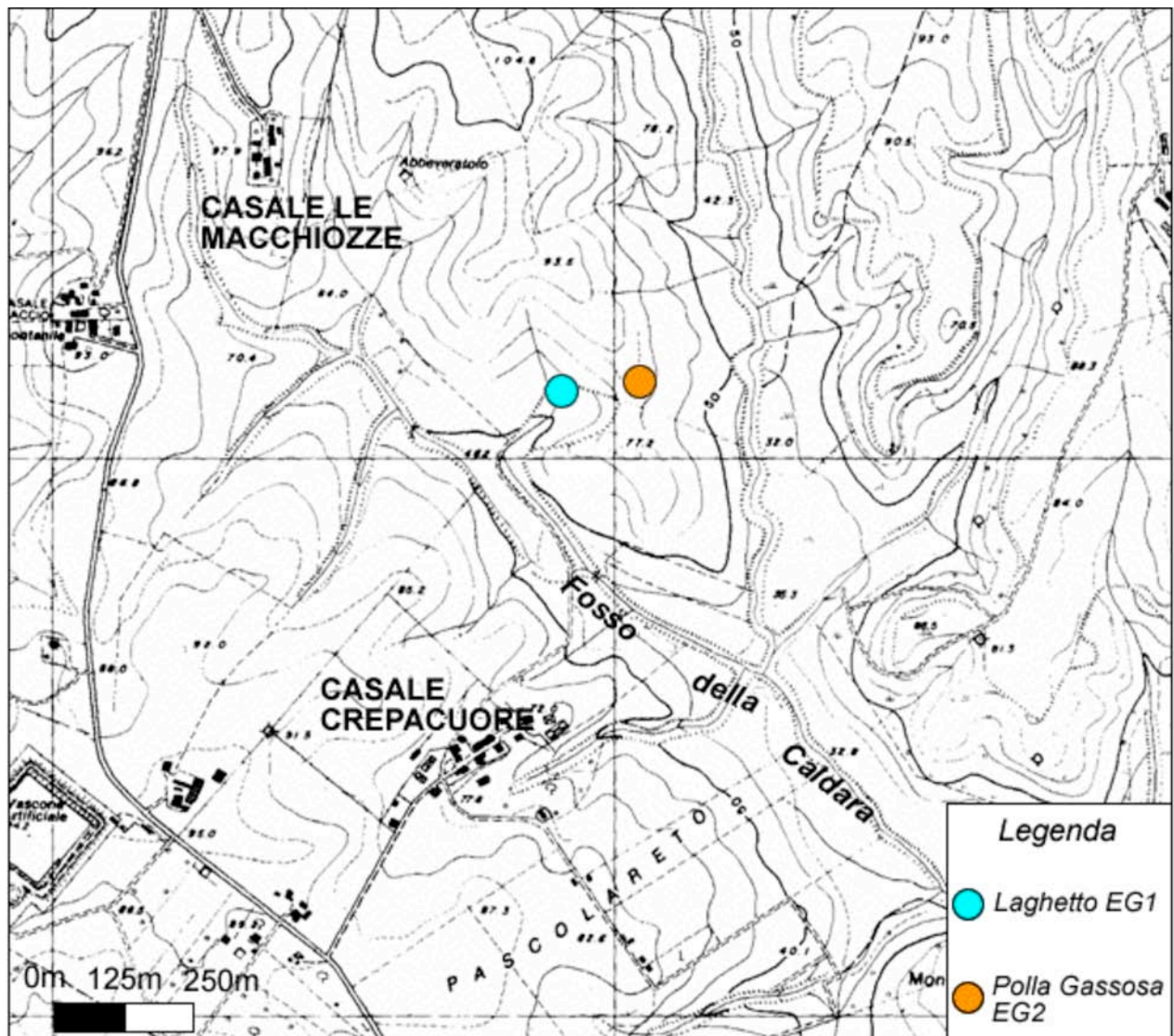


Fig. 2. Mappa estratta dalla Carta Tecnica Regionale 1:25.000 della zona di Palidoro e Santa Marinella il cui riquadro evidenzia i centri di emissione gassosa: il laghetto EG1 e la polla EG2. La zona d'emissione ricade fra i due abitati rurali: "Casale Le Macchiozze" e "Casale Crepacuore".

Da un punto di vista litologico, i terreni che ospitano tali manifestazioni, appartengono alla parte più recente della serie dei "Flysch Tolfetani": ovvero argille ed argille sabbiose plioceniche aventi uno spessore di circa 500 m [Barberi et al., 1994; De Rita et al., 1994]; al letto di queste, si trova una potente sequenza flyschioide alloctona a marne e calcari (cretaceo-oligocene) che nel complesso arriva a circa 2500 m di spessore [Funicello et al., 1976 a,b; Funicello et al. 1979].

Rispetto alla zona di Palidoro, il presente documento riporta le misure SAP contrassegnate dalle sigle *EG1* ed *EG2*, rispettivamente per la polla grande (o laghetto) e per la polla piccola (fig. 2).

Il punto di emissione *EG1* consiste in un laghetto dal diametro di circa 7 m (vedi foto 3) caratterizzato da un imponente gorgoglio di gas. L'acqua al suo interno si presenta torbida e ricca di materiali colloidali portati in sospensione dall'azione di erosione meccanica esercitata dal flusso gassoso sul fondo del laghetto; il "rombo" del flusso gassoso è avvertibile ad alcune decine di metri di distanza.

Il punto *EG2* consta di un punto d'emissione più modesto (circa 1,5 m di diametro), sito a circa 6 m a NE del precedente (fig. 2) e risulta essere caratterizzato da una scarsa presenza d'acqua al suo interno.

La presenza di zone morfologicamente depresse come il "*Fosso della Caldara*" oltre ad incanalare le acque di ruscellamento superficiale, veicolano anche la CO₂ emessa da *EG1* ed *EG2* che essendo più pesante dell'aria si accumula negli strati atmosferici più bassi. In tal senso anche le condizioni di circolazione atmosferica locale possono giocare un importante ruolo nel favorire o sminuire l'accumulo dei gas, determinando o impedendo la stratificazione dell'aria. "L'effetto ristagno" di CO₂, come può osservarsi dalla presenza di animali morti in prossimità del laghetto *EG1* (foto 6) e all'interno del "*Fosso della Caldara*" (foto 5), costituisce un pericolo concreto nella zona in esame anche per le persone.

3. Risultati e discussione delle misure di campagna

3.1 Sito Colle Monticchio in Val Comino

Le prime stime di flusso della macro-polla di *Colle Monticchio* in val Comino sono basate sui valori medi composizionali analizzati di recente (valori non pubblicati UR 11 Progetto DPC V 5) della polla *Colle Monticchio* (tabella 2).

Il SAP è stato allestito in questo caso con un set di tubi corrugabili a raggio $r_1 = 5$ cm.

Le letture effettuate in campagna sullo strumento, sono state divise in due serie: una prima serie è stata misurata ad intervalli di 10 sec, ed una seconda ad intervalli di 1 min fra una lettura e l'altra; i valori medi di velocità in uscita competenti a ciascuna delle due serie risultano essere rispettivamente 67,2 e 61,92 m/min.

Per il calcolo dei flussi di CO₂, si è utilizzato il valore medio di concentrazione calcolato per tale sito, pari al 93,9% (tabella 2).

I valori di flusso di CO₂ emesso dalla polla di Colle Monticchio sono stati calcolati utilizzando l'equazione [4]. Essi risultano essere compresi nell'intervallo **1,09-1,33 t/d** equivalenti a circa 450 t/yr di CO₂ emessa.

A titolo dimostrativo, riportiamo il calcolo del flusso di CO₂ eseguito per il primo valore di vct riportato in tabella 3. Esplicitando i vari termini della [4] si ottiene:

$$\phi_{CO_2} = \frac{3,14 \cdot (5[cm])^2 \cdot 64,8 \cdot 10^2 \frac{[cm]}{[min]} \cdot 1[atm]}{0,082057 \cdot 10^3 \frac{[cm^3 \cdot atm]}{[moli \cdot K]} \cdot (22,3 + 273,15)[K]} \cdot 0,94 = 19,74 \frac{[moli]}{[min]}$$

In tal modo si ottiene il valore di flusso espresso in moli di CO₂ al minuto; volendolo esprimerlo in tonnellate di CO₂ al giorno, usiamo il fattore di conversione "F.C." come di seguito:

$$F.C. = \frac{[moli]_{CO_2}}{[min]} \cdot \frac{1[min]}{6,94 \cdot 10^{-4}[day]} \cdot \frac{44,01[g]}{1[mol]_{CO_2}} \cdot \frac{1[tonn]}{10^6[g]} = 0,0635$$

che moltiplicato per il valore precedentemente ottenuto si ottiene:

$$\phi_{CO_2} = 19,74 \left[\frac{moli}{min} \right] \cdot 0,0635(F.C.) = 1,253 \left[\frac{tonn}{day} \right]$$

Specie gassose	Colle Monticchio (Giugno 2006)	Fosso S. Ianni (Aprile 2006)	Fosso S. Ianni (Aprile 2006)
CO ₂	= 93,94 %	97,2 %	96,3 %
N ₂	= 4,88 %	2,5 %	3,4 %
O ₂	= 0,64 %	0,00 %	0,00 %
CH ₄	=4006,77 ppm (0.4 %)	2800 ppm	2700 ppm
He	= 4,73 ppm	4,8 ppm	4,9 ppm
H ₂	= 1,06 ppm	27 ppm	27 ppm
Ar	-	15 ppm	77 ppm
H ₂ S	-	16 ppm	42 ppm

Tabella 2. Analisi chimiche gas-cromatografiche delle “polle gassose” di *Colle Monticchio* e *Fosso Santo Janni* (dati INGV Roma 1 e Università di Perugia, campionati nel periodo Aprile-Giugno 2006).

In figura 3 sono riportati in un diagramma a barre tutti i valori di flusso calcolati per la polla di Colle Monticchio. In esso sono mostrate sia i valori calcolati utilizzando la serie di misure effettuate ogni dieci sec. (barre azzurre), sia la serie di misure effettuate ad intervalli di 1 min (barre in marrone).

Flusso di CO₂ polla di Colle Monticchio

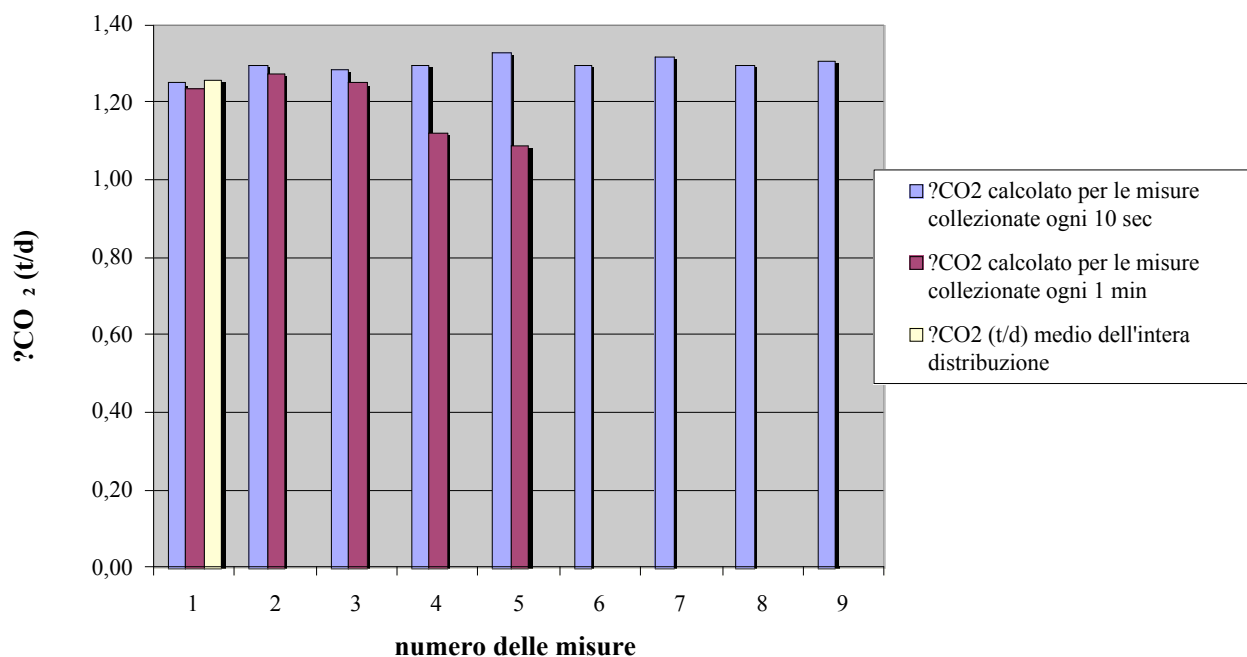


Fig. 3. Diagramma a barre relativo ai valori di flusso di CO₂, per il punto di emissione Colle Monticchio. Il valore medio rappresentato dalla barra gialla, è stato calcolato sulla base del valore 1,26 m/sec (media di tutti i valori anemometrici misurati per questo sito).

È possibile osservare come le misure effettuate in un intervallo temporale abbastanza breve (ogni 10 sec), sono caratterizzate da una buona ripetibilità, e si attestano attorno al valor medio di 1.26 t/d. Variazioni significative si osservano invece in un intervallo di tempo più esteso. Tali variazioni sono certamente da attribuire a variazioni di flusso della sorgente.

3.2 Siti EG1 ed EG2 di Palidoro

Le stime di flusso di CO₂ tramite SAP per le polle di Palidoro, sono state calcolate utilizzando il valore medio di concentrazione di CO₂, pari al 98.4% (dati inediti UR 11 del Progetto DPC V5 2005-2007), ed utilizzando un tubo corrugabile di raggio $r_1 = 10$ cm.

Le misure SAP per la campagna di Palidoro, hanno riguardato due particolari punti di emissione definiti in questa sede EG1 ed EG2 (fig. 2). Tali misure, come già per la polla di Colle Monticchio, sono state divise in due serie: una prima serie collezionata ad intervalli di 10 sec ed una seconda ad intervalli di 1 minuto.

Nelle figure 4 e 5 sono riportati in un diagramma a barre tutti i valori di flusso calcolati per la polla grande EG1 e per la polla piccola EG2. In esse sono mostrate sia i valori calcolati utilizzando la serie di misure effettuate ogni dieci sec (barre azzurre), sia la serie di misure effettuate ad intervalli di 1 min (barre in marrone). Inoltre in giallo sono riportati i valori medi di flusso di CO₂ di entrambe le serie (0,46 t/d e 0,39t/d rispettivamente per EG1 ed EG2).

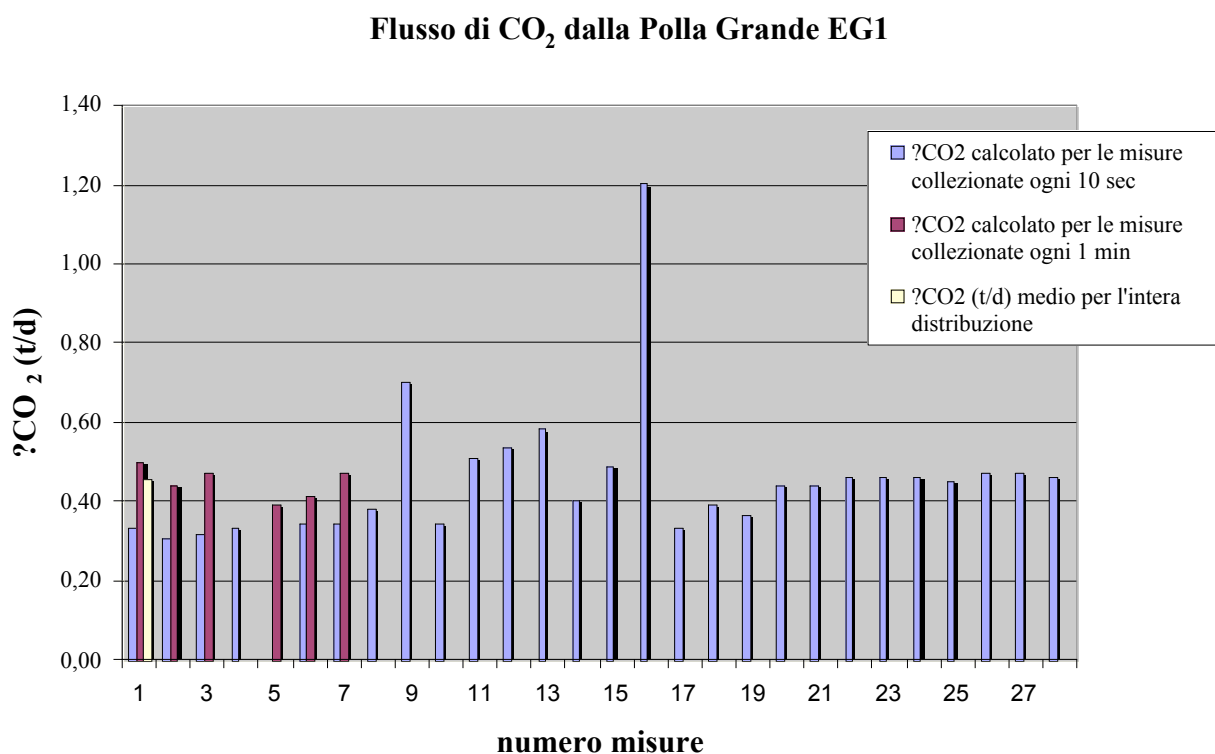


Fig. 4. Diagramma a barre dei flussi di CO₂ calcolati per il laghetto EG1 applicando ai dati SAP l'equazione [4].

Flusso di CO₂ dalla Polla Piccola EG2

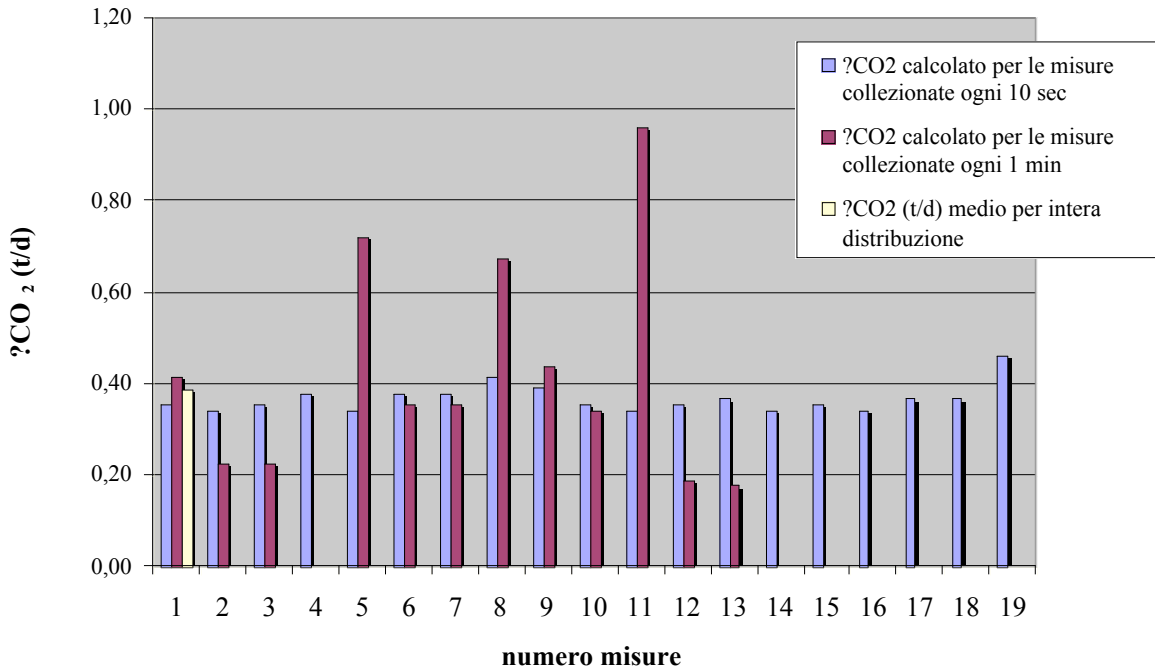


Fig. 5. Diagramma a barre dei valori di flusso di CO₂ relativi al punto di emissione EG2 calcolati applicando la [4].

Per entrambi i siti studiati EG1 ed EG2, i valori di flusso localizzato di CO₂ si mantengono abbastanza omogenei durante i tempi di misura. E' comunque da notare che, come già osservato per la polla di Colle Monticchio, anche qui esiste una variabilità più alta nel caso delle misure effettuate ad intervalli di tempo di un minuto (barre in marrone); dovuta certamente a variazioni di flusso della sorgente.

Per ciò che riguarda i valori di flusso delle serie collezionate ogni 10 sec., i valori che si discostano eccessivamente dal valor medio, sono da imputare più che a delle vere anomalie del degassamento, al progressivo assestamento e sigillamento della SAP sui margini perimetrali delle polle gassose. Si osserva infatti, che il flusso di CO₂ assume valori sempre più stabili dopo un primo stock di misure (ovvero dopo qualche minuto dall'installazione dello strumento); finché dopo il 19° ed il 9° valore (barre azzurre), rispettivamente per laghetto EG1 e la polla EG2, i valori si stabilizzano in modo evidente (fig. 5 e 6).

Per il laghetto EG1 sul totale delle misure SAP il valore medio della velocità di emissione della miscela gassosa risulta essere 0,38 m/sec (ovvero 23,04 m/min), mentre per la polla EG2 risulta 0,33 m/sec (19,74 m/min). Sulla base di questi dati, dall'applicazione della [4] e del corrispondente fattore di conversione FC, i valori medi di flusso locale di CO₂ per EG1 ed EG2 risultano essere rispettivamente **0,46** e **0,39 t/d**. Ora sommando questi due contributi medi dell'area di Palidoro ($\Phi_{CO_2EG1} + \Phi_{CO_2EG2}$), si ottiene un flusso minimo stimato di circa 0,85 ton/giorno che è molto minore dell'intervallo 5-15 ton/giorno riportato da Rogie et al., [2000] e stimato solo sulla base delle osservazioni.

Applicando la stessa formula qui utilizzata, ai dati sperimentali di Rogie et al. [2000] per ciò che riguarda la caldera di Manziana (DDS Manziana), si ha il seguente risultato che a breve sarà verificato anche dalla UR 11 sul campo ai fini di validare ulteriormente il metodo e vincolarlo a dati pre-esistenti:

$$\phi_{CO_2} = \frac{3,14 \cdot (15[cm])^2 \cdot 72,0 \cdot 10^2 \frac{[cm]}{[min]} \cdot 1[atm]}{0,082057 \cdot 10^3 \frac{[cm^3 \cdot atm]}{[moli \cdot K]} \cdot (3,0 + 273,15)K} \cdot 0,974 = 217,74 \frac{[moli]}{[min]}$$

ovvero (utilizzando FC) 13,82 t/d per la caldera di Manziana, esattamente uguale a quella ottenuta dall'algoritmo di Rogie et al., [2000].

La mega-polla di Umbertide (92,3% di CO_2), campionata da Rogie et al. [2000] tramite un telone e tubo corrugabile da $r_3 = 25$ cm di raggio, che aveva mostrato con questo metodo l'imponente flusso di CO_2 di 15tonn/day, sarà un ulteriore obiettivo di misura con il SAP della UR 11. D'altra parte, come misurato parallelamente dagli stessi autori, con l'utilizzo del metodo del "canale" con parametri di massima: $r_4 = 23$ cm (sezione del canale di fuoriuscita del flusso), $C = 92,3$ % e velocità 47 [m/min] ci si aspetta alla maxi-polla di Umbertide tramite il nostro metodo SAP:

$$\phi_{CO_2} = \frac{3,14 \cdot (23[cm])^2 \cdot 47,0 \cdot 10^2 \frac{[cm]}{[min]} \cdot 1[atm]}{0,082057 \cdot 10^3 \frac{[cm^3 \cdot atm]}{[moli \cdot K]} \cdot (10 + 273,15)K} \cdot 0,923 = 310 \frac{[moli]}{[min]}$$

che, utilizzando il fattore di conversione FC è pari ad un quantitativo aspettato di circa 15-20 tonn/day [vedi dati in Rogie et al., 2000].

Altri siti che possono essere riverificati tramite il SAP, seguendo quanto svolto da Rogie et al. [2000] sono: Salvena (1 km a NW della cittadina, localizzata 12 km a S del Monte Amiata, dove sono state misurate circa 8 t/d di CO_2 e ordini di grandezza di $7 \cdot 10^6$ gm^2day^{-1}), Pienza (1 km a SW della cittadina dove sono state misurate circa 11 t/d), Mefite (vicino San Angelo dei Lombardi, 34 km SE di Benevento, dove sono state misurate circa 280 t/d di CO_2 corrispondente a 100000 t/yr: una centrale elettrica a metano da 200 mW), Rapolano (con i due siti di Cecilia e Mofete che sommati misurano 150 t/d). L'area di Latera dovrebbe avere un flusso stimato nell'ordine di grandezza di 200 t/d.

4. Conclusioni

Con tale report tecnico si è descritto l'assemblaggio e l'applicazione del sistema definito come SAP (Sistema ad Alta Portata), in grado di quantificare i flussi di CO_2 emessi da polle caratterizzate da alta portata gassosa. Il SAP risulta essere caratterizzato da una buona riproducibilità delle misure di flusso. In oltre, sia per l'adattabilità dei materiali alle condizioni di campagna che per la loro geometria, lo strumento si presta efficacemente a convogliare e misurare flussi gassosi sia in polle di piccole dimensioni (≤ 4 m di diametro medio) che in quelle più grandi (≤ 8 m di diametro medio).

Visto l'effetto altamente letale che hanno i gas emessi dai siti di Val Comino e Palidoro (fig. 4 e 5), le misure SAP qui riportate potrebbero rappresentare una base di partenza per una successiva valutazione del *gas hazard*.

5 Archivio fotografico



Foto 1. Polla di *Colle Monticchio* in Val Comino ripulita dalla vegetazione prima del testaggio del SAP (Sistema Alta Portata). Si osserva un imponente gorgoglio di gas dalla sua superficie della polla. (foto: F. Siragusa)



Foto 2. Fosso S. Ianni in Val Comino (basso Lazio): si osserva un debole gorgoglio di gas ed conseguente infimo flusso gassoso. (foto: F. Siragusa)



Foto 3. Descrizione del sistema di polle gassose presso Palidoro: nella parte centrale è visibile il laghetto gorgogliante EG1 con il suo emissario e la linea di tracimazione. (Foto: F. Siragusa)



Foto 4. Particolare del laghetto EG1 della polle di Palidoro i cui margini mostrano evidenti segni di continua tracimazione di acqua e fango per effetto dell'imponente emissione gassosa. (Foto: F. Siragusa)



Foto 5. Fosso della Caldara a Palidoro: cane asfissiato dalla CO₂ in ristagno al fondo del Fosso. (Foto: F. Siragusa)



Foto 6. Zona depressa in prossimità del laghetto gorgogliante EG1 di Palidoro: cinghiale deceduto a seguito di asfissia per l'inalazione di aria satura in CO₂. (Foto: F. Siragusa)



Foto 7. Messa in posto del telone impermeabile del SAP e fissaggio del bordo al perimetro della polla di *Colle Monticchio* con uso di picchetti metallici. (foto: S. Mecozzi)



Foto 8. *Colle Monticchio*: installazione della sonda anemometrica “a filo caldo” costituente la parte terminale del sistema SAP. (foto: S. Mecozzi)



Foto 9. Sistema SAP completo, montato sulla polla *Colle Monticchio* in Val Comino e gonfiato “a regime” dal flusso gassoso emesso. A margine si notano i diversi set di tubi corrugati a diametro differente da utilizzare sulla base al flusso gassoso riscontrato in loco. (foto: C. Cardellini)



Foto 10. Collezionamento delle misure a margine della polla *Colle Monticchio* con il sistema in funzione. Il telone del SAP è completamente rigonfio per effetto della pressione esercitata dai gas in uscita. (foto: S. Mecozzi)



Foto 11. Montaggio del SAP nelle vicinanze dei siti EG1 ed EG2 di Palidoro. Particolare della verifica di tenuta delle giunture dei tubi corrugati a cui verrà apposta la sonda “a filo caldo”. (Foto: S. Mecozzi)



Foto 12. Lavori di assemblaggio del SAP a margine del laghetto EG1 di Palidoro prima del posizionamento dello strumento. (Foto: S. Mecozzi)

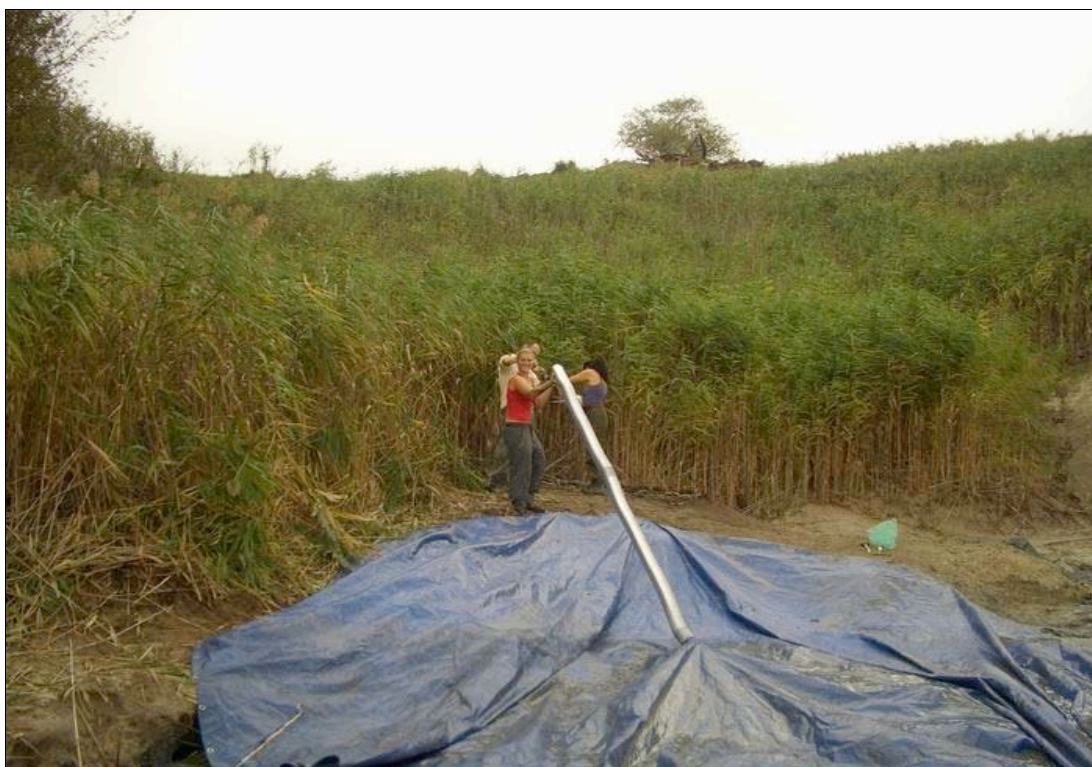


Foto 13. Sistema SAP completo e posizionato sul perimetro del Laghetto EG1 di Palidoro prima dell'inizio delle misure. (Foto: S. Mecozzi)

Ringraziamenti

Per l'importante contributo al miglioramento del manoscritto e per i consigli inerenti l'impostazione dello stesso, si ringrazia il Dr. Marco Camarda dell'INGV Sezione di Palermo.

Un grazie va anche alla Dr.ssa Vera Valenti del Dipartimento di Geologia e Geodesia dell'Università di Palermo, per l'aiuto nella messa a punto delle mappe topografiche.

Bibliografia

- Barberi F., Buonasorte G., Cioni R., Fiordalisi A., Foresi L., Iaccarino S., Laurenzi M.A., Sbrana A., Vernia I.M. (1994). *Plio-Pleistocene geological evolution of the geothermal area of Tuscany and Latium*. Mem Descr. Della Carta Geol. D'Italia, 49.
- Baxter P, Kapila M, Mfonfu D. (1989). *Lake Nyos disaster, Cameroon, 1989: the medical effect of large scale emission of carbon dioxide?* British Medical Journal; 298: 1437-1441.
- Baxter PJ, Baubron J-C, Countinho R. (1999). *Health hazards and disaster potential of ground gas emission at Furnas volcano, Sao Miguel, Azores*. JVGR; 92: 95-106
- Chiodini G., Frondini F., (2001). *Carbon dioxide degassing from Albani Hills volcanic region, Central Italy*. Chemical Geology 177, 67-83.
- De Rita D., Bertagnini A., Carboni M. G., Ciccacci S., Di Filippo M., Faccenna C., Fredi P., Fucinello R., Landi P., Sciacca P., Vannucci N., Zarlenga F. (1994). *Geological and petrographical evolution of Ceriti Mountains*. Memorie descrittive della carta geologica d'Italia, 49, 248-275.
- Freeth S. (2000). *The lake Nyos gas disaster- August 1986*. Scuola di Geochimica dei Fluidi di Arezzo 26 Agosto-1 Settembre, 2000.

- Funicello R., Locardi E., Lombardi G., Parotto M. (1976). *The sedimentary ejecta from pheatomagmatic activity and their use for location of potential geothermal areas*. Int. Congress on thermal waters Geothermal Energy and Volcanism of the Mediterranean area. Atene.
- Funicello R., Locardi E., Parotto M., Preite-Martinez M., Tecce F., Toneatti R., Turi B., (1976). *Geology, Mineralogy and Stable Isotope Geochemistry of the Cesano Geothermal Field (Sabatini Mts. Volcanic Sistem Northern Latium, Italy)*. Geothermics, 8, 55-73.
- Funicello R., Mariotti G., Parotto M. (1979). *Lineamenti geologici dell'area Sabatina orientale*. Boll. Soc. Geol. It., 95, 831-849.
- Miccadei E., Cavinato G.P., Vittoriani E., (1992). *Elementi neotettonici della conca di Sulmona*. Studi Geol. Cam., 1992/1, 165-174.
- Pizzino L., Quattrocchi F., (1999). Studio delle emanazioni gassose diffuse (CO₂ e radon) nei territori comunali di Marino e Ciampino. *Rapporto interno ING Roma*, 26 pp.
- Pizzino L., Galli, G., Mancini, C., Quattrocchi F., and Scarlato P. (2002). *Natural Hazard (CO₂, ²²²Rn) within a Quiescent Volcanic Region and Its Relations with Tectonics: The Case of the Ciampino-Marino Area, Alban Hills Volcano, Italy*. Natural Hazards 27, 257-287.
- Project DPC V5 2005-2007, *Diffuse degassing in Italy*. Responsibles: G. Chiodini, M. Valenza. Progetto di Ricerca G.N.V.
- Rogie, D., Kerrick, D., M., Chiodini G., Frondini F., (2000). *Flux measurement of non volcanic CO₂ emission from some vents in central Italy*. Journal of Geophysical Reserch, vol. 105, NO. B4, pages 8435-8445.
- Voltaggio M. (2003). *Impatto ambientale di emanazioni gassose naturali*. Atti dei Convegni Lincei, Convegno Geochimica 2000, pp. 331-350.