



Laboratorio	LABORATORIO FLUSSI BIOGEOCHIMICI
Oggetto	PROCEDURA DI MISURA
Titolo	MISURE DI FLUSSI DI CO ₂ ALL'INTERFACCIA SUOL-VEGETAZIONE-ATMOSFERA CON FLUSSIMETRO PORTATILE
Versione	v.0.1
Data	v.0: dicembre 2022 v.0.1: gennaio 2023 v.1: 5 luglio 2025
Riassunto	<p>In questo documento sono descritte:</p> <ol style="list-style-type: none">1- la procedura per la misura puntuale di flussi di CO₂ all'interfaccia suolo-vegetazione-atmosfera attraverso l'utilizzo di uno strumento portatile composto da un IRGA e da una camera di accumulo. Tale procedura è seguita dal personale IGG-CNR nell'ambito delle campagne di misura degli scambi gassosi all'interfaccia suolo-atmosfera negli osservatori di zona critica gestiti dall'istituto e in simili progetti di ricerca. La procedura può essere adattata anche per la misura di flussi di CH₄, H₂O e COV totali.2- La procedura per l'uso della stazione meteo portatile "Artica" con datalogger Lastem LSI E-Log (presso Dirigibile Italia – Svalbard)
Autori	Angelica Parisi, Francesca Avogadro di Valdengo, Brunella Raco, Ilaria Baneschi, Mariasilvia Giamberini.
DOI	10.5281/zenodo.7544045



INDICE

<i>Elenco abbreviazioni presenti nel testo</i>	<i>3</i>
<i>1. Scopo della procedura</i>	<i>4</i>
<i>2. Strumentazione portatile</i>	<i>4</i>
Flussimetro e sue componenti.....	4
Misura delle variabili meteorologiche	6
Checklist strumentazione	8
<i>3. Operazioni preliminari</i>	<i>9</i>
<i>4. Misura in campo dei flussi di CO₂</i>	<i>9</i>
<i>5. Analizzatore IRGA LI-COR.....</i>	<i>11</i>
<i>6. FluxRevision.....</i>	<i>13</i>
<i>7. Bibliografia.....</i>	<i>20</i>



ELENCO ABBREVIAZIONI PRESENTI NEL TESTO

AC	Camera di Accumulo
ER	<i>Ecosystem Respiration</i> , respirazione dell'ecosistema
FM	Flussimetro
GPP	<i>Gross Primary Production</i> , produzione primaria lorda
IRGA	Analizzatore gas ad infrarossi
NEE	<i>Net Ecosystem Exchange</i> , scambio netto del sistema
P	Pressione
ppm	Parti per milione
R	Costante dei gas
T	Temperatura
V _m	Volume molare del gas

1. SCOPO DELLA PROCEDURA

Questo documento descrive la procedura seguita dal personale afferente al laboratorio “Flussi Biogeochimici” dell’Istituto di Geoscienze e Georisorse del CNR per la misura puntuale di flussi di CO₂ nell’ambito delle campagne di monitoraggio della Zona Critica¹ (CZO@Nivolet, CZO@Bayelva e CZO@Mt.Etna). Tale procedura può essere adattata anche per la misura di flussi di CH₄, H₂O e COV totali.

La strumentazione portatile, composta da una camera di accumulo e da un set di analizzatori tra cui un IRGA per la misura della concentrazione di CO₂, viene di seguito indicata anche con il termine breve “flussimetro”.

2. STRUMENTAZIONE PORTATILE

FLUSSIMETRO E SUE COMPONENTI

Il laboratorio di flussi biogeochimici di IGG-CNR ha in dotazione diversi flussimetri, ottenuti dall’accoppiamento di uno specifico set di sensori/analizzatori e una specifica camera di accumulo.

La Tabella 2-1 riporta i flussimetri che ad oggi vengono impiegati per le misure di flussi di CO₂ negli osservatori di Zona Critica di IGG-CNR.

Tabella 2-1 Flussimetri in dotazione al Laboratorio Flussi Biogeochimici, IGG-CNR di Pisa

ID (Siti di utilizzo)	Analizzatori	Sonde per la misura delle variabili del suolo	Camera di accumulo accoppiata
WS1615 (Artico, Nivolet)	LI-840 CO ₂ IRGA (InfraRed Gas Analyser) CH ₄ -TLD (<i>tunable laser diode</i>) COV-PID (<i>Photo Ionization Detector</i>) H ₂ S-TOX	Termometro Pt100 Sensore di umidità del suolo Delta-T SM150T tecnologia TDR (<i>Time Domain Reflectometry</i>)	AC Artico o AC2102

¹ Per Zona Critica si intende lo strato superficiale della crosta terrestre, dove hanno origine tutti i processi a sostegno del funzionamento degli ecosistemi e, in ultima analisi, della vita stessa. In un *abstract* del 2017 Brantley definisce la Zona Critica “*the dynamic living skin of the Earth*”(Brantley et al., 2017).



ID (Siti di utilizzo)	Analizzatori	Sonde per la misura delle variabili del suolo	Camera di accumulo accoppiata
WS1803 (Nivolet)	LI-850 CO₂/H₂O IRGA CH₄ -TLD COV -PID H₂S -TOX	Termometro Pt100 Sensore di umidità del suolo Delta-T SM150T	AC2101
WS2005 (Etna)	LI-830 CO₂/H₂O IRGA CH₄ -TLD COV -PID H₂S -TOX O₂	-	AC2103
WS2101 (Artico)	LI-850 CO₂/H₂O IRGA CH₄ -TLD COV -PID H₂S -TOX	Termometro Pt100 Sensore di umidità del suolo Delta-T SM150T	AC Artico2

In Figura 2-1 qui di seguito è riportata la strumentazione portatile per la misura dei flussi. La custodia gialla (sulla sinistra) contiene gli analizzatori, le batterie, la pompa e l'elettronica. Gli analizzatori sono collegati alla camera di accumulo tramite due tubi in RILSAN (gas IN e gas OUT), ognuno lungo 1,8 metri, con diametro interno 4 mm e diametro esterno 6 mm.

Due tipi di filtri proteggono la linea di campionamento del gas:

- (1) un filtro a membrana in PTFE di 50 mm di diametro con una dimensione dei pori di 0,45 µm;
- (2) un filtro a membrana in PTFE di 25 mm di diametro con una dimensione dei pori di 0,2 µm.

Questi filtri sono permeabili ai gas e al vapore acqueo ma sono impermeabili all'acqua liquida e alle particelle di polvere.

Un dispositivo palmare Android connesso tramite Bluetooth funge da interfaccia per la gestione della misurazione, la visualizzazione e la memorizzazione dei dati. Dato che a Ny-Ålesund vige il divieto di utilizzo di Wi-Fi e Bluetooth², tutta la strumentazione impiegata nel sito artico (CZO@Bayelva) non utilizza Bluetooth. I flussimetri dedicati a questi siti sono stati equipaggiati con radio ricetrasmittente per il collegamento con il palmare/tablet Android che funge da interfaccia con lo strumento di misura. Per le variabili meteorologiche, la sincronizzazione viene effettuata in una fase successiva rispetto alle misure in campo.

² <https://kingsbay.no/local-community/>

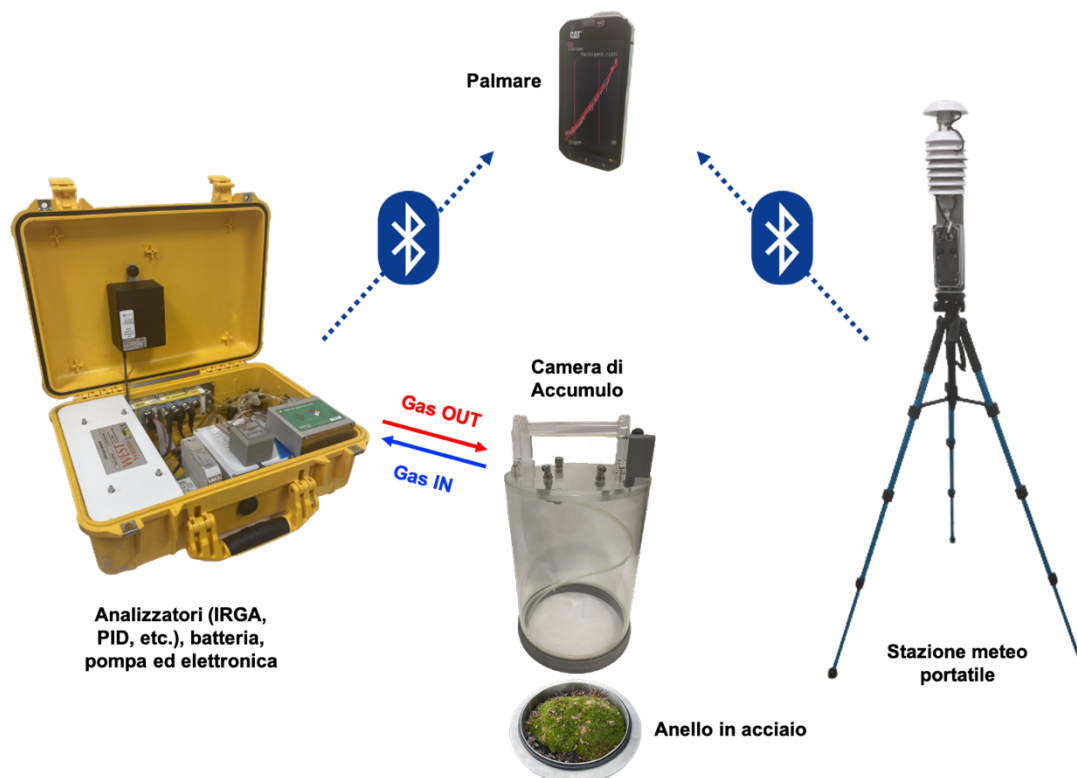


Figura 2-1 Configurazione della strumentazione portatile per la misura di flussi di CO₂.

MISURA DELLE VARIABILI METEOROLOGICHE

L'umidità relativa dell'aria, la temperatura dell'aria e l'irraggiamento solare vengono misurati utilizzando un termo-igrometro schermato LSI LASTEM modello DMA672.1 e un piranometro LSI LASTEM modello DPA053A, entrambi montati su un treppiede portatile ad un'altezza di 1,5 metri dal suolo ("stazione meteo portatile"). Il laboratorio ad oggi possiede n.02 stazioni meteo portatili così configurate.

La pressione atmosferica in millibar è registrata mediante barometro digitale posto nella parte superiore all'interno della camera di accumulo (AC2101, AC2102, AC2103). Il valore finale di pressione atmosferica è derivato dalla media dei valori registrati alla frequenza di 1 Hz durante la misura dei flussi.

La temperatura del suolo e il contenuto volumetrico di acqua nel suolo sono misurati utilizzando un termometro Pt100 e un sensore di umidità del suolo Delta-T SM150T, metodo TDR (*Time Domain Reflectometry*), rispettivamente a una profondità di circa 10 cm e 5 cm. Le misure sono prese in prossimità del punto di misura ma a una distanza di almeno 30 cm dall'anello in acciaio per evitare interferenze. Una volta individuato il punto di misura, l'anello in acciaio viene temporaneamente rimosso e vengono effettuate tre misure all'interno dell'area di misura per valutare i valori minimi e massimi di umidità, quindi la sonda TDR viene posizionata all'esterno dell'area di misura, in un punto in cui il valore misurato è compreso nell'intervallo misurato all'interno dell'area di misura. È necessario

prestare particolare attenzione a dove posizionare la sonda TDR dell'umidità, che deve essere distante sia dal termometro Pt100 che dall'anello, al fine di evitare interferenze, e deve essere bene in contatto con il suolo. I valori finali delle due variabili così misurate (Soil-T e Soil-VWC) sono derivati dalla media dei valori registrati alla frequenza di 1 Hz durante la misura dei flussi, escludendo la prima porzione di valori ("tempo di acclimatamento della strumentazione").

Le specifiche dei sensori e delle sonde sono fornite nella Tabella 2-2.

Tabella 2-2 Specifiche dei sensori e delle sonde utilizzate per misurare le variabili meteo.

Sensore/sonda & variabile misurata	Modello & Produttore	Range di misura	Accuratezza	Incertezza estesa della misura
Termometro (Air-T)	DMA672.1 LSI LASTEM Srl	[-50°:100°]	0.1°C (@0°C)	0.2°C
Igrometro (Air-RH)	DMA672.1 LSI LASTEM Srl	[0:100%]	±1% (@5:95%)	2.0%
Piranometro (SolarRad)	DPA053A LSI LASTEM Srl	[0:2000 W m-2]	±1% (100:1000 W m-2)	2.40% [W m-2]
Sonda di temperatura Platinum Resistance Thermometer Pt100 RTD (Soil-T)	Pt100 Industrial Sensor Probe, Class B RS PRO	[-50°:100°]	0.05°C	0.055°C
Sonda per la misura del contenuto volumetrico dell'acqua nel terreno TDR soil probe (Soil-VWC)	SM150T sensor Delta-T Devices Ltd.	[0:100%]	±3.0% vol over 0 to 70% vol and 0-60°C	±3.0% vol over 0 to 70% vol and 0-60°C
Barometro digitale (Pressione)	MPL3115A2 NXP Semiconductors / Freescale	[500:1100 hPa]	±0.5 hPa	±2.5 hPa

Stazione meteo presso la base CNR Dirigibile Italia

Per le misure effettuate presso la base artica Dirigibile Italia di Ny Ålesund, Svalbard (CZO@Bayelva), i dati meteo vengono registrati con la stazione meteo portatile riportata in Figura 2-2e attrezzata con piranometro DPA053A (LSI LASTEM) e termo-igrometro DMA672.1 (LSI LASTEM). I dati sono salvati nel datalogger (anch'esso LSI E-log) e non sono sincronizzati automaticamente con i dati del flussimetro. I dati meteo devono essere scaricati al termine di ogni giornata di misura poiché il datalogger sovrascrive i dati se la memoria è piena. La sincronizzazione con le misure di flusso è effettuata in fase di elaborazione dei dati.



Figura 2-2 Stazione meteo dedicata al sito CZO@Bayelva.

Per garantire la loro accuratezza, i sensori meteo vengono ricalibrati ogni due anni presso laboratorio accreditato e testati nei laboratori IGG-CNR prima e dopo ogni stagione di misurazione.

Le istruzioni per il funzionamento di questa stazione meteo sono riportate nell'allegato in calce a questo documento.

CHECK-LIST STRUMENTAZIONE

Preliminarmente a ciascuna campagna di misura, è necessario verificare l'integrità e il funzionamento della strumentazione e accertarsi che il flussimetro sia stato recentemente calibrato e, in caso contrario, eseguire la calibrazione secondo la procedura IGG-CNR (Giamberini et al., 2022).

Di seguito è suggerito un elenco della strumentazione minima necessaria a una squadra, composta generalmente da 2-3 persone, per la misura di flussi (Tabella 2-3).

Tabella 2-3 Check-list strumentazione di campo

Strumentazione di campo
Flussimetro + bastino
Palmare (o tablet) con: <ul style="list-style-type: none">- Caricabatteria + cavo di alimentazione USB

Stazione meteo con: <ul style="list-style-type: none"> - Caricabatteria - Treppiedi - Valigetta grigia per il trasporto
Termometro suolo Pt100
Sonda suolo VWC + cavo di collegamento
Camera di accumulo con: <ul style="list-style-type: none"> - Caricabatteria - Copertura per oscurare la camera - Anello in acciaio
Batterie flussimetro (x3) con caricabatteria (x3)
Quaderno di campo + materiale per scrivere (lapis)
Ciabatta elettrica multipresa
Cassa per il trasporto della strumentazione

3. OPERAZIONI PRELIMINARI

Di seguito sono riportate alcune istruzioni e raccomandazioni da seguire prima di procedere con le misure di flusso in campo.

- Accendere il flussimetro per tempo, in modo che gli analizzatori possano raggiungere le condizioni di lavoro (ad es. per l'IRGA è necessario attendere 10-15 minuti prima di iniziare la misura, in modo che il sensore raggiunga la temperatura di 50°C).
- Collegare correttamente i tubi di connessione tra il flussimetro e la camera di accumulo e verificare l'assenza di danni agli stessi e alle connessioni in gomma (i due tubicini IN e OUT sono facilmente distinguibili poiché l'inlet presenta i filtri anti-particolato).
- Verificare lo stato delle guarnizioni (ove presenti).
- Accendere il palmare e collegare via Bluetooth la strumentazione. Verificare i valori letti da ciascun sensore.
- Appuntare sul quaderno di campagna il valore misurato delle variabili ambientali, inclusa la concentrazione ambientale della CO₂, condizioni meteo (soleggiato, nuvoloso, etc.), temperatura dell'aria, umidità relativa dell'aria, pressione atmosferica e irraggiamento solare e qualsiasi ulteriore informazione rilevante, oltre all'orario di inizio delle misure e il personale presente.
- Il quaderno dovrà inoltre riportare sinteticamente i valori registrati in ciascun punto di misura ed eventuali informazioni utili in fase di elaborazione dei dati.

4. MISURA IN CAMPO DEI FLUSSI DI CO₂

Le misure in campo dei flussi di CO₂ sono effettuate con il metodo della camera di accumulo non stazionaria (Pavelka et al., 2018). Con questo metodo è possibile misura lo scambio netto dell'ecosistema, NEE (*Net Ecosystem Exchange*), ossia il flusso netto totale risultante dai singoli

contributi di assorbimento ed emissione di CO₂, e la respirazione dell'ecosistema, ER (*Ecosystem Respiration*), ossia il totale delle sole emissioni di CO₂ dall'ecosistema verso l'atmosfera.

Convenzione per i segni: i flussi dall'atmosfera all'ecosistema (es. assorbimento di CO₂ attraverso la fotosintesi) hanno per convenzione segno negativo, mentre i flussi dall'ecosistema all'atmosfera hanno segno positivo. Pertanto, la NEE, che può includere sia l'assorbimento che le emissioni di CO₂, ha un valore negativo quando è presente un assorbimento netto da parte dell'ecosistema, mentre è positivo quando è presente un'emissione netta. L'ER ha solo valori positivi. Le unità di flusso per NEE e ER sono molCO₂ m⁻² giorno⁻¹ e μmolCO₂ m⁻² secondo⁻¹. La produzione primaria lorda (GPP, *Gross Primary Production*) può essere quindi semplicemente ricavata come segue:

$$GPP = NEE - ER$$

Questo metodo prevede la misura della concentrazione di CO₂ all'interno di una camera di accumulo in un intervallo di tempo specifico e quindi il calcolo del flusso interpolando la curva della concentrazione di CO₂ in funzione del tempo.

Un tipico ciclo di misura include due misurazioni consecutive per punto: la prima in condizioni di luce (NEE) utilizzando la camera trasparente, seguita da una misurazione al buio con la stessa camera ma ombreggiata con un panno scuro (ER). Una procedura simile è applicata qui (Cannone et al., 2016; Magnani et al., 2020, 2022; Wohlfahrt et al., 2005).

Le misurazioni vengono condotte in vari momenti della giornata, tipicamente dalle 10:00 alle 18:00 (Pavelka et al., 2018), e comprese diverse condizioni meteorologiche, al fine di catturare la variabilità meteorologica naturale. In ciascuna campagna di misura e per ciascun sito, le misure devono essere replicate per punti diversi all'interno del sito, scelti in modo da catturare la variabilità su piccola scala; ad es. nel lavoro (Magnani et al., 2020) è stato verificato come per il sito CZO@Nivolet siano richiesti un minimo di 15 punti di misura per rappresentare la variabilità spaziale in quei specifici plot di misura.

PROTOCOLLO DI MISURA

Ad ogni punto di misura, il collare di acciaio inossidabile è inserito nel terreno a una profondità di circa 2 cm. La camera di accumulo è quindi posizionata sul collare per isolare uno spazio aereo definito "spazio di testa". Ciò crea un sistema chiuso in cui la concentrazione di CO₂ all'interno della camera di accumulo cambia durante la misura a causa dell'assorbimento di CO₂ da parte delle piante attraverso la fotosintesi e/o l'emissione attraverso la respirazione da parte di autotrofi (le piante) ed eterotrofi (principalmente comunità microbiche e fungine del suolo).

L'aria dallo spazio di testa della camera è poi pompata a una portata costante (1 l/min per i flussimetri artici, 3 l/min per gli altri) in un analizzatore di gas a infrarossi (IRGA, LI-COR Biosciences, Lincoln, NE, USA) attraverso un tubo RILSAN lungo 1,8 m. Il campione di aria prelevato viene quindi reimpresso nella camera. Il tubo di reimmissione in RILSAN I termina con una parte perforata lunga 40 cm, per garantire una buona miscelazione dell'aria all'interno della camera. Prima e dopo ogni misurazione, l'intero apparato (compresa la camera, i tubi e l'IRGA) è ventilato lasciando la pompa di aspirazione attiva fino a quando non è registrata nuovamente la concentrazione di CO₂ ambientale (che oscilla tra i 400 e i 420 ppm in base al sito di misura).

La concentrazione di CO₂ all'interno della camera di accumulo è generalmente misurata per circa 90 secondi. La concentrazione di CO₂ in funzione del tempo viene registrata con una frequenza di 1 Hz utilizzando l'app per Android FluxManager2 (West Systems S.r.l., disponibile gratuitamente su Google Play Store) che è installata su un computer palmare/tablet connesso all'IRGA tramite Bluetooth o via radio. La lettura in tempo reale viene mostrata per ciascun sensore e aggiornata una volta al secondo nell'app FluxManager2.

Al termine della misura, nella memoria del dispositivo Android viene generato un file di testo contenente tutti i valori della misura (file "*.txt"). I file *.txt vengono successivamente scaricati su PC e revisionati tramite il software FluxRevision (West Systems S.r.l., disponibile al link <https://www.westsystems.com/download/>) o con altri analoghi software per l'analisi dati.

5. ANALIZZATORI IRGA LI-COR

L'analizzatore di gas a raggi infrarossi (IRGA, Figura 5-1) è un sensore a infrarosso non dispersivo (o sensore NDIR) che misura la concentrazione di CO₂ e H₂O dell'aria campionata all'interno della camera di accumulo.

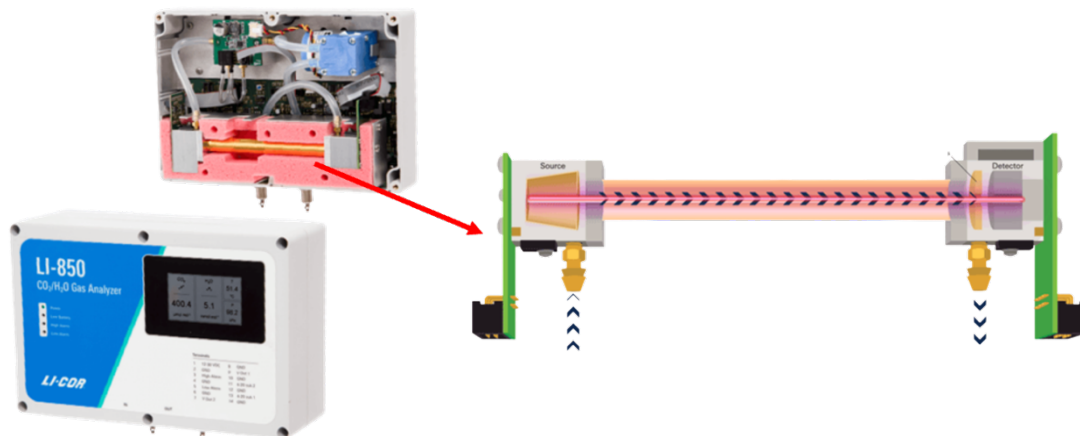


Figura 5-1 Sensore IRGA LI-COR (modificato da: https://www.licor.com/env/products/gas_analysis/LI-830_LI-850/)

Il sensore è stabilizzato in temperatura per ridurre le interferenze dovute alla temperatura del campione di gas. Il software FluxManager controlla la temperatura del sensore e, nel caso in cui il valore sia inferiore a 50°C (temperatura ottimale di lavoro del sensore), chiederà all'utente se desidera effettuare la misura.

Le specifiche di dettaglio degli analizzatori IRGA LI-COR sono riportate in Figura 5-2.



Misure di CO₂

Measurement range: 0 to 20,000 ppm **Accuracy:**
LI-850: Within 1.5% of reading
LI-830: Within 3% of reading **Calibration drift**
Zero drift1: <0.15 ppm / °C
Span drift2: <0.03% / °C
Total drift at 370 ppm3: <0.4 ppm / °C
RMS noise at 370 ppm with 1 sec signal filtering: <1 ppm
Sensitivity to water vapor (LI-850 only): <0.1 ppm CO₂ / mmol mol⁻¹ H₂O
Lower limit of detection: 1.5 ppm
Operating temperature range: -20 to 45 °C
Relative humidity range: 0 to 95% RH, Non-condensing

Misure di H₂O

Measurement range: 0 to 60 mmol mol⁻¹
Accuracy: Better than 1.5% of reading **Calibration drift**
Drift at 0 mmol mol⁻¹: <0.005 mmol mol⁻¹ / °C
Span drift at 10 mmol mol⁻¹: <0.006 mmol mol⁻¹ / °C **Total drift at 10 mmol mol⁻¹:** <0.016 mmol mol⁻¹ / °C
RMS noise at 10 mmol mol⁻¹ with 1 sec signal filtering: <0.01 mmol mol⁻¹ **Sensitivity to CO₂:** <0.0001 mmol mol⁻¹ H₂O / ppm CO₂
Lower limit of detection: 0.015 mmol mol⁻¹
Operating temperature range: -20 to 45 °C
Relative humidity range: 0 to 95% RH, Non-condensing

Figura 5-2 Specifiche di dettaglio degli analizzatori IRGA LI-COR.

CONTROLLO DELLA TARATURA DEL SENSORE

La taratura dell'IRGA può essere verificata periodicamente, al fine di garantire il corretto funzionamento, eseguendo i seguenti test:

1. **Verifica della lettura zero di CO₂**, aggiungendo uno *scrubber* di CO₂ all'ingresso dell'aria dell'IRGA (questa operazione può essere facilmente eseguita anche in campo prima delle misure) o utilizzando una bombola a concentrazione zero di CO₂.
2. **Verifica dello span primario di CO₂**, misurando livelli di CO₂ vicini all'ambiente con bombola specifica.
3. **Verifica dello span secondario di CO₂**, misurando concentrazioni di 10.000 ppm di CO₂ (o altra concentrazione di interesse) con bombola specifica.

6. FLUXMANAGER

L'applicazione Android FluxManager2 è utilizzata per gestire via Bluetooth la strumentazione portatile. È installata su un palmare/tablet che funge da interfaccia per la gestione della misura, la visualizzazione e la registrazione e memorizzazione dei dati.

All'avvio dell'app, FluxManager2 cerca automaticamente i dispositivi Bluetooth disponibili nel raggio d'azione, per 5 secondi. Non appena uno o più flussimetri portatili, camere di accumulo o stazioni meteo (denominate "soilbox") vengono riconosciuti, vengono aggiunti all'elenco, riportando l'ID dello strumento. Nel caso in cui un dispositivo Bluetooth non appaia nell'elenco una volta completata l'operazione di scansione, è possibile tentare di nuovo la connessione premendo il pulsante "Scan". Se invece nella lista sono presenti tutti gli strumenti previsti, l'utente può procedere premendo il pulsante "Connect". Non è necessario attendere il completamento dell'operazione di scansione prima di procedere alla connessione.

Quando l'utente preme il pulsante "Connect", l'app tenta di connettersi a un dispositivo di ciascuna categoria, se disponibile. Se sono presenti più strumenti per categoria, all'utente verrà richiesto di selezionare a quale connettersi.

Una volta stabilita la connessione, il LED presente sui singoli strumenti passa da lampeggiante a fisso. La lettura in tempo reale viene mostrata per ciascun sensore e aggiornata una volta al secondo. Il sistema è ora pronto per iniziare una misura di flusso. È sufficiente premere il pulsante "Start" per avviare la misura. La visualizzazione grafica prende il posto dell'elenco dei sensori. A questo punto viene visualizzato un solo sensore alla volta (premere il pulsante "Next" o i pulsanti volume su/giù del dispositivo Android per passare da un sensore all'altro). La registrazione rimane attiva per tutti i sensori indipendentemente dal fatto che il sensore sia o meno in visibile o in background, o abbia la traccia disabilitata (track on/track off).

Toccando il display sul grafico si sposta il cursore sinistro. Toccando una seconda volta il grafico si sposta il cursore destro. Una volta posizionati entrambi i cursori, il valore interpolato della pendenza della concentrazione di CO₂ vs tempo viene visualizzato nel pannello superiore, assieme al relativo coefficiente R².

7. FLUXREVISION

Il software FluxRevision permette di elaborare file creati con FluxManager2.

Il software permette all'operatore di scegliere manualmente l'intervallo di interpolazione della curva di concentrazione vs tempo del gas (Figura 7-1).

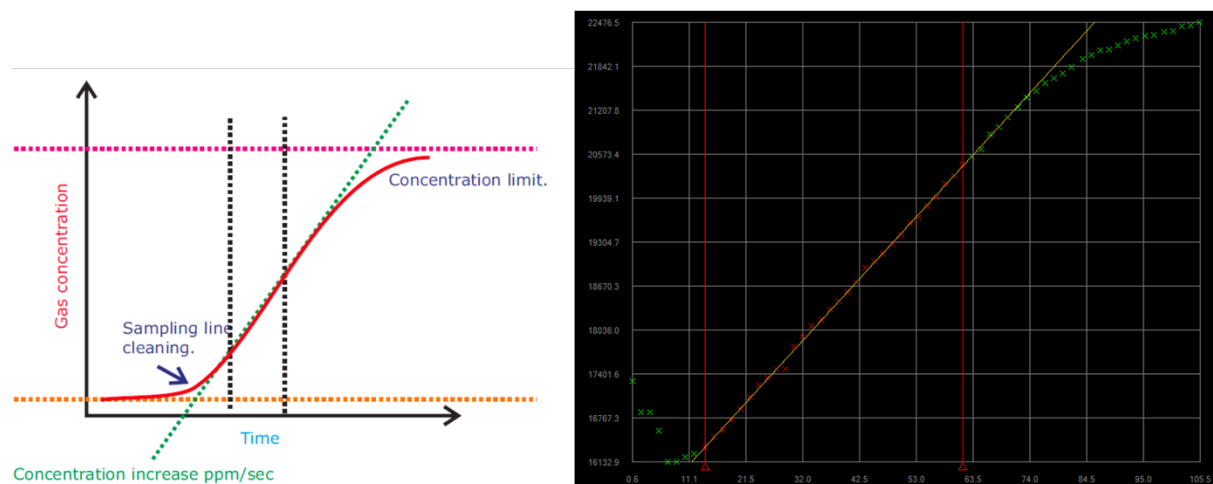


Figura 7-1 A sinistra: curva teorica concentrazione vs tempo (ppm s^{-1}), dal manuale dello strumento. A destra: schermata del software FluxRevision, con intervallo di interpolazione lineare selezionato manualmente dall'operatore.

Nota: la versione attuale del software FluxRevision è la Release 4.11 (marzo 2019), utilizzabile sui seguenti sistemi operativi: Windows XP-7-8-10. Download: <https://www.westsystems.com/download/>

Scaricare i file relativi alle misure di flusso su PC e organizzarli in cartelle, ossia mettere tutti i file .txt relativi a un set completo di misure all'interno di un sito e per uno specifico giorno nella stessa cartella. Avviare FluxRevision. Selezionare la cartella che contiene i file .txt di interesse salvati tramite FluxManager.

Se in alcuni file mancano i parametri ambientali, apparirà la seguente finestra (Figura 7-2):

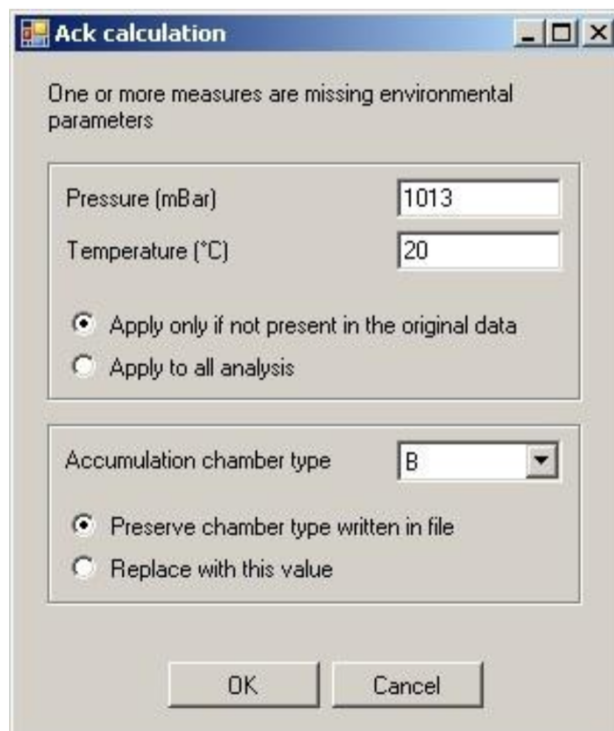


Figura 7-2 Pop-up mancanza variabili ambientali (P e T).

È possibile indicare P e T da sostituire in caso di dati mancanti. Lasciando così come suggerito dal software, FluxRevision sostituirà i dati mancanti con P = 1013 mbar e T = 20°C.

Suggerimento: scegliere valori inverosimili di P e T (ad es. P = 0 mbar e T = 50°C) in modo che sia più semplice individuare i dati ambientali mancanti in una successiva fase di data *cleaning&filling*.

Attenzione: se la casella “Apply to all analysis” è spuntata, i parametri ambientali di tutte le misure saranno sovrascritti con i valori indicati in questo passaggio.

A questo punto il software legge i file di misura. Per strumenti che hanno più di un sensore di misura, come nel nostro caso, alto a sinistra è possibile selezionare il parametro da visualizzare, in questo caso relativa al parametro CO₂.

Selezionare manualmente l'intervallo di valori di CO₂ da considerare per la regressione lineare.

Al termine della revisione, è possibile estrarre un report grazie al pulsante “Create report”. Il report è un file .csv che riporta i valori di tutte le variabili misurate tramite gli strumenti connessi a FluxManager2 e della pendenza della curva di interpolazione dei valori di concentrazione di gas (*slope*), e che può essere aperto con un software di visualizzazione e gestione dati (es. su Excel o simili) per la successiva fase di calcolo.

Il pulsante “Create KML” crea un file che può essere gestito nei programmi di georeferenziazione (es. Google Earth, Google Maps o simili) per visualizzare su mappa i punti in cui sono state effettuate le misure.



ALLEGATO: ISTRUZIONI STAZIONE METEO LSI LASTEM “ARTICO”

MONTAGGIO E ACCENSIONE



La stazione meteo (radiometro e termoisigrometro) deve essere installata sul cavalletto allo stesso modo di una macchina fotografica.

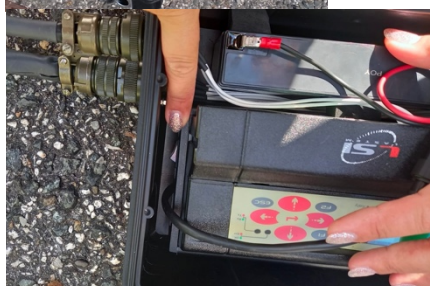
Altezza dal suolo: circa 1,5 metri.

Il cavalletto ha una livella a bolla per verificare che gli strumenti siano verticali.

Attenzione: il radiometro è molto delicato e deve essere sempre protetto da urti e graffi

I cavi devono essere inseriti negli appositi connettori del datalogger (scatola nera) facendo molta attenzione a non forzare i “pin”

Il datalogger si poggia nei pressi della stazione. Se c'è vento, fissare un peso al gancio sotto il cavalletto (uno zainetto o una pietra legata con un cordino vanno bene).



Accensione: si accende l'interruttore che è posto di fianco al datalogger. Il datalogger è montato su una slitta per cui si può far scorrere leggermente per fare spazio e accedere all'interruttore.



Dopo l'accensione il datalogger **impiega un paio di minuti per iniziare l'acquisizione dei dati. Accenderlo quindi in anticipo rispetto all'inizio delle misure di flusso**

Quando inizia l'acquisizione, sul display si visualizzano i valori acquisiti.

Durante la misura la valigetta nera va tenuta chiusa.

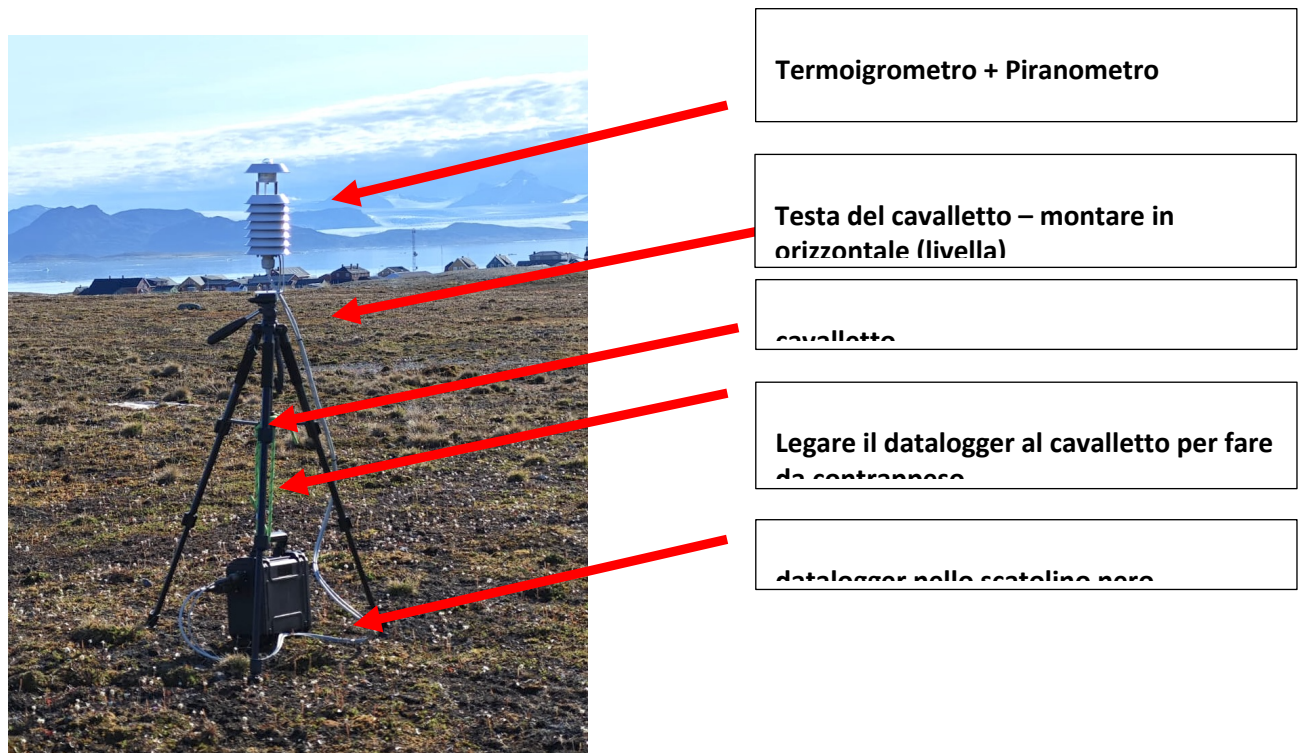


Terminate le misure in un sito (non a ogni misura puntuale), il datalogger va spento con l'interruttore. I dati vengono automaticamente salvati secondo la programmazione dello strumento.

Configurazione montata in campo:

COMPONENTI:

- Stazione meteo compatta composta di radiometro (piranometro) e termoigrometro
- Datalogger per la registrazione dei dati LASTEM LSI fornito di batteria
- Cavalletto per il montaggio della stazione in campo



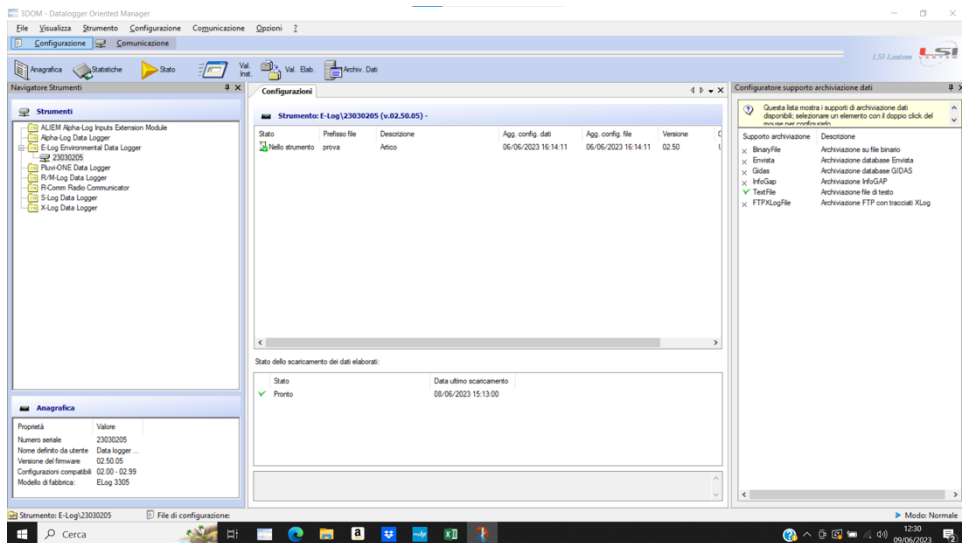
ATTENZIONE: IL RADIOMETRO è MOLTO DELICATO E FRAGILE E NON DEVE ASSOLUTAMENTE GRAFFIARSI – VA SEMPRE PROTETTO NELLA MANIPOLAZIONE E NEL TRASPORTO

SCARICARE I DATI

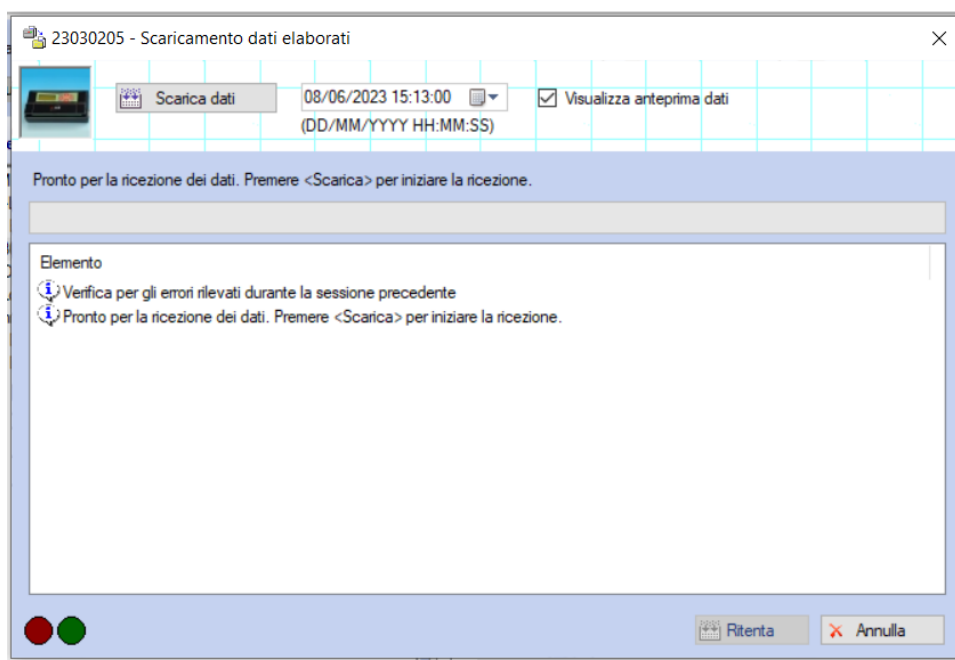
1) Collegare il data-logger al computer portatile di laboratorio attraverso il cavo VGA seriale (VGA femmina to VGA maschio) e l'**adattatore VGA to USB**, o al computer fisso presente in base (non necessita dell'adattatore VGA to USB). La presa VGA del data-logger è dietro la seconda guarnizione rotonda nera presente sul lato della valigetta che contiene lo strumento.

2) Accendere il data-logger tramite il pulsante.

3) Avviare il software **3DOM** attraverso il collegamento presente sul desktop del computer portatile. Si apre la finestra mostrata in figura qui sotto.



4) Cliccare su “Val. Elab.” dalla barra degli strumenti (eventualmente il percorso da menu è comunicazione>>dati elaborati). Si aprirà la finestra in figura sotto e dal bottone “scarica dati” viene scaricato un file txt con tutti i dati.



5) i file txt si trovano nella cartella desktop\ARCTIC_EDI_DATA. Verificare il corretto scaricamento dei dati.

6) Spegnerne il data-logger e riporre i cavi.

CARICA DELLA BATTERIA del datalogger

Il datalogger è alimentato con batteria al Pb. La ricarica è effettuata attraverso un alimentatore presente in base (officina) che va collegato alla batteria tramite i morsetti. **Attenzione al segno degli elettrodi!! Non invertire i poli!!**

Le batterie al piombo dovrebbero essere sempre ricaricate completamente. Ricaricare le batterie per un breve periodo senza completare il ciclo di ricarica impatta negativamente sulla durata.

8. BIBLIOGRAFIA

- Brantley, S. L., McDowell, W. H., Dietrich, W. E., White, T. S., Kumar, P., Anderson, S. P., Chorover, J., Ann Lohse, K., Bales, R. C., Richter, D. D., Grant, G., & Gaillardet, J. (2017). Designing a network of critical zone observatories to explore the living skin of the terrestrial Earth. *Earth Surface Dynamics*, 5(4), 841–860. <https://doi.org/10.5194/esurf-5-841-2017>
- Cannone, N., Augusti, A., Malfasi, F., Pallozzi, E., Calfapietra, C., & Brugnoli, E. (2016). The interaction of biotic and abiotic factors at multiple spatial scales affects the variability of CO₂ fluxes in polar environments. *Polar Biology*, 39(9), 1581–1596. <https://doi.org/10.1007/s00300-015-1883-9>
- Giamberini, M., Parisi, A., Avogadro di Valdeno, F., Baneschi, I., & Raco, R. (2022). *Procedura di laboratorio - Calibrazione flussimetro portatile*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6638556>
- Magnani, M., Baneschi, I., Giamberini, M., Mosca, P., Raco, B., & Provenzale, A. (2020). Drivers of carbon fluxes in Alpine tundra: a comparison of three empirical model approaches. *Science of the Total Environment*, 732. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139139>
- Magnani, M., Baneschi, I., Giamberini, M., Raco, B., & Provenzale, A. (2022). Microscale drivers of summer CO₂ fluxes in the Svalbard High Arctic tundra. *Scientific Reports*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-04728-0>
- Pavelka, M., Acosta, M., Kiese, R., Altimir, N., Brümmer, C., Crill, P., Darenova, E., Fuß, R., Gielen, B., Graf, A., Klemetsson, L., Lohila, A., Longdoz, B., Lindroth, A., Nilsson, M., Jiménez, S. M., Merbold, L., Montagnani, L., Peichl, M., ... Kutsch, W. (2018). Standardisation of chamber technique for CO₂, N₂O and CH₄ fluxes measurements from terrestrial ecosystems. *International Agrophysics*, 32(4), 569–587. <https://doi.org/10.1515/intag-2017-0045>
- Wohlfahrt, G., Anfang, C., Bahn, M., Haslwanter, A., Newesely, C., Schmitt, M., Drösler, M., Pfadenhauer, J., & Cernusca, A. (2005). Quantifying nighttime ecosystem respiration of a meadow using eddy covariance, chambers and modelling. *Agricultural and Forest Meteorology*, 128(3–4), 141–162. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2004.11.003>