



Ricerca di Sistema elettrico

## Misure ottiche sui campioni dei terreni tipici per le zone di stoccaggio della CO<sub>2</sub>

A. Sytchkova, A. Piegari

## MISURE OTTICHE SUI CAMPIONI DEI TERRENI TIPICI PER LE ZONE DI STOCCAGGIO DELLA CO<sub>2</sub>

A. Sytchkova, A. Piegari (ENEA)

Dicembre 2018

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Trimestrale di Realizzazione 2018

Area: Generazione di energia con basse emissioni di carbonio

Progetto B.2: Polo Tecnologico del SULCIS: Tecnologie e Metodologie "Low Carbon" e Edifici ad Energia Quasi Zero (nZEB)

Parte A1 – Tecnologie per impiantistica energetica "low carbon"

B: SISTEMI AVANZATI DI MONITORAGGIO E DIAGNOSTICA PER LA COMBUSTIONE E LA RILEVAZIONE DI "CO<sub>2</sub> LEAKAGE"

Ob. b.2 – Sistemi di rilevazione della CO<sub>2</sub>

Task.1 Definizione di uno schema prototipale di un sistema spettroscopico per il monitoraggio real time delle zone di stoccaggio CO<sub>2</sub> per il rilevamento fughe, basato su spettrometri ultraleggeri da montare su drone

Responsabile del Progetto: Franca Rita Picchia, ENEA

## Sommario

1	INTRODUZIONE: IL MODELLO RADIOMETRICO UTILIZZATO E STIMA DEL BUDGET RADIOMETRICO .....	4
2	SCELTA DEI CAMPIONI .....	4
3	CARATTERIZZAZIONE OTTICA MWIR DEI CAMPIONI DEI SUOLI.....	6
3.1	SETUP DI MISURA MWIR .....	6
3.2	METODOLOGIA DI MISURA .....	7
3.3	RISULTATI DI MISURA .....	8
4	CONCLUSIONI.....	9
5	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI .....	9
6	ABBREVIAZIONI ED ACRONIMI.....	10

## 1 Introduzione: il modello radiometrico utilizzato e stima del budget radiometrico

Per eseguire l'analisi del budget radiometrico, si è affinato il modello radiometrico elaborato nel corso del secondo anno. Si è potuto definire così il design preliminare della camera iperspettrale che include sia la testa ottica basata sui filtri sviluppati sia i componenti elettronici of-the-shelf individuati. Queste attività sono state svolte nel terzo anno in collaborazione con la EIE Group Srl nell'ambito di un contratto dedicato.

L'acquisizione del segnale ottico da effettuare in assorbimento passivo nel medio infrarosso necessita dello sviluppo di un accurato e dettagliato modello radiometrico, che quantifichi in maniera precisa il requisito di sensibilità cui deve rispondere lo strumento per eseguire la mappatura richiesta. In particolare è stato sviluppato il codice numerico utilizzando Open Source SciLab. Il codice permette la stima del budget radiometrico al variare delle condizioni di acquisizione del segnale e al variare dei parametri del sistema ottico impiegato. Inoltre è in corso l'analisi dei componenti ottici ed elettronici disponibili sul mercato per completare la lista di componenti off-the-shelf necessari per la realizzazione di una camera iperspettrale.

Nel periodo di estensione del programma del terzo anno è stata svolta una campagna di misure di riflettanza nel medio infrarosso (MWIR) dei suoli presenti nel bacino del Sulcis con lo scopo di ottenere dati realistici che permettono di affinare notevolmente il modello radiometrico in elaborazione. Una serie di campioni è stata selezionata in collaborazione con personale della SOTOCARBO e dell'INGV (Roma).

## 2 Scelta dei campioni

Due campioni di sabbia argillosa sono stati prelevati da due terreni adiacenti dove ricadranno i pozzi di iniezione e monitoraggio. Inoltre sono stati scelti quattro campioni di roccia, 2 sono della Formazione di Monte Ulmus e 2 della Formazione di Nuraxi, sono entrambi rioliti (rocce vulcaniche).

Nelle Fig. 1 e 2 sono indicati i punti di ubicazione dei luoghi di campionamento sia per il materiale sabbioso (samples 1 e 2) che caratterizza la piana alluvionale quaternaria, sia per le rocce (samples 3-7), che sono distanti dall'area del test e che costituiscono l'alto morfologico della zona e una mappa di insieme.



Fig. 1. Locazione del prelevamento dei campioni di sabbia.



*Fig. 2. Locazione del prelevamento dei campioni di roccia.*

Le immagini tipiche delle zone del test sono date dalle figure 3 e 4. Si nota che la vegetazione presente sul suolo dovrà essere presa in considerazione nella valutazione della misura ottica.



*Fig. 3. Tipiche immagini delle zone test del campionamento (sample 1 e 2).*

Per scopi metodologici, oltre ai suddetti campioni sono stati caratterizzati tre campioni di altra provenienza: due campioni lavici di diversa natura e un campione di ghiaia riolitica. Tutti i campioni caratterizzati per la loro riflettività sono mostrati nella figura 4.



Fig. 4. I campioni caratterizzati, da sinistra in senso orario: Ulmus\_02, Nuraxi\_01, Ulmus\_01, campioni di sabbia Sample 02 e 01 avvolti nella carta, due campioni lavici, verde e nero, e uno di ghiaia riolitica.

### 3 Caratterizzazione ottica MWIR dei campioni dei suoli

#### 3.1 Setup di misura MWIR

I campioni di ingombro e natura simile a quelli selezionati (molto ruvidi e quindi poco riflettenti, di difficile manipolazione in quanto parzialmente o completamente sabbiosi) non sono adatti alle misure con gli strumenti ottici commerciali, come ad esempio i classici spettrometri IR a trasformata di Fourier (FT-IR). E' stato perciò necessario allestire appositamente un banco di misure sfruttando le caratteristiche di uno spettrometro FT-IR portatile di ultima generazione (attualmente il più compatto nel mondo per questo range spettrale). Questo spettrometro permette la customizzazione del setup di misure mantenendo una buona risoluzione spettrale e sensibilità sufficienti per questo tipo di campioni.

Il setup disegnato e assemblato per queste misure è mostrato dalla Figura 5 ed è composto da

- una sorgente incandescente della luce MWIR, modello ArcLight IR;
- uno spettrometro FT-IR, modello ARCOptix FT-IR Rocket Mid-IR specificato per il range spettrale di 2-6  $\mu\text{m}$  con la risoluzione di 4  $\text{cm}^{-1}$  (stimato da non-apodizzato);
- una guida di luce multi-fibra, specifica per le misure di riflettanza MWIR, avente configurazione a stella che illumina il campione con una serie di fibre posizionate a cerchio attorno della fibra di raccolta della luce riflessa;
- alcuni montaggi ottici.

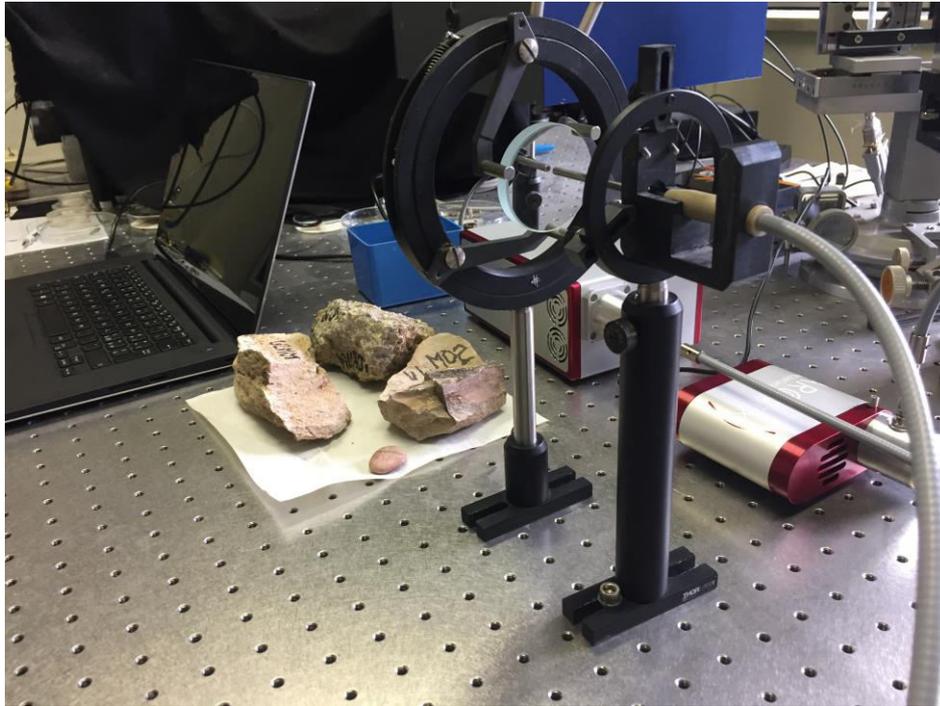


Fig. 5. Il setup di misura ottica nel MWIR, configurazione con lo specchio di riferimento montato.

### 3.2 Metodologia di misura

Le misure di riflettanza così impostate non sono misure assolute bensì relative. Tipicamente le misure di riflettanza nel IR si effettuano in modo relativo che è sufficiente per la major parte delle applicazioni, come in chimica o in farmaceutica. Nell'ottica servono invece i valori assoluti perciò il valore misurato per un campione deve essere rapportato alla riflettanza nota di un campione di riferimento. Un tale campione di riferimento deve avere diverse caratteristiche morfologiche e ottiche per poter garantire misure di qualità. In particolare è importante utilizzare un riferimento affine al campione da caratterizzare in termini del livello di riflettività totale e tipo di riflettività (speculare vs diffusa).

Al mondo esistono pochi campioni di riferimento la cui riflettività assoluta nel MWIR possa essere usata come valore standard. Sono normalmente specchi metallici e quindi di prevalente riflettività speculare molto alta. Per questo gli specchi non sono utilizzabili direttamente come riferimento per campioni che diffondono e/o assorbono la luce fortemente.

Per superare questo problema è stato elaborato un approccio che consiste nel:

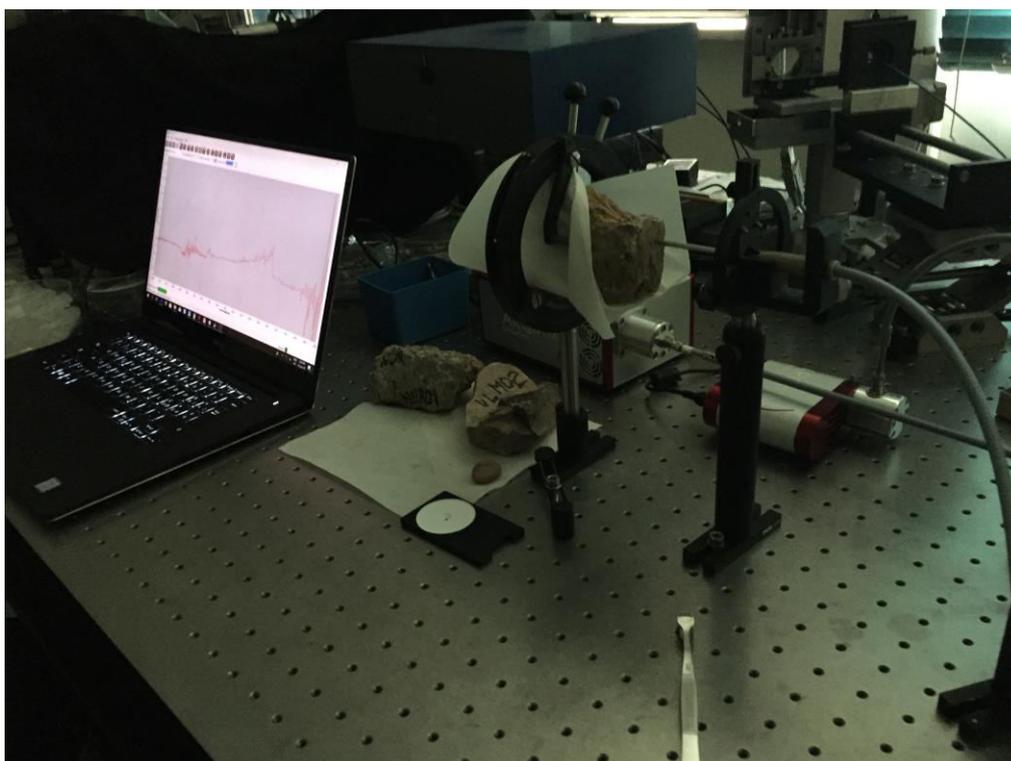
- Prendere come punto di riferimento iniziale uno specchio metallico certificato per IR;
- Caratterizzare un campione di riflessione totale (inteso come il valore integrato nell'emisfero davanti il campione) simile allo specchio certificato ma avente morfologia simile ai campioni dei suoli (diffusivi e assorbenti la luce). Il campione utilizzato di PTFE (marchio Spectralon) ha rugosità tale da fornire una distribuzione spaziale lambertiana alla luce riflessa.
- Normalizzare gli spettri acquisiti verso lo Spectralon così caratterizzato.

Nel range spettrale IR bisogna inoltre tener conto che la componente emissiva del campione e dell'ambiente in generale non è trascurabile. Mentre nell'IR termico (8-12 micron) il contributo emissivo è praticamente sempre significativo, per il nostro tipo di campioni che si trovano a temperatura ambiente e misurati col setup descritto, l'emissività nel range MWIR è molto bassa. Per questo motivo si ritiene che la

sottrazione dagli spettri acquisiti del background misurato (come tipico segnale del corpo nero) sia sufficiente per togliere il residuo contribuito emissivo.

### 3.3 Risultati di misura

La Figura 6 illustra uno dei campioni durante la misura



*Fig. 6. Misura in corso: campione Ulm01. Il cerchio bianco posato sul tavolo è un campione di Spectralon di riflettività lambertiana, rif. Sezione 3.2.*

La Figura 7 illustra i valori di riflettanza dei campioni dei suoli. Si osservano le bande di assorbimento della CO<sub>2</sub> negli spettri attorno 4- 4,3 micron. L'ampiezza di queste bande dovrà successivamente valutata ai fini di ottenere gli spettri normalizzati caratteristici dei suoli.

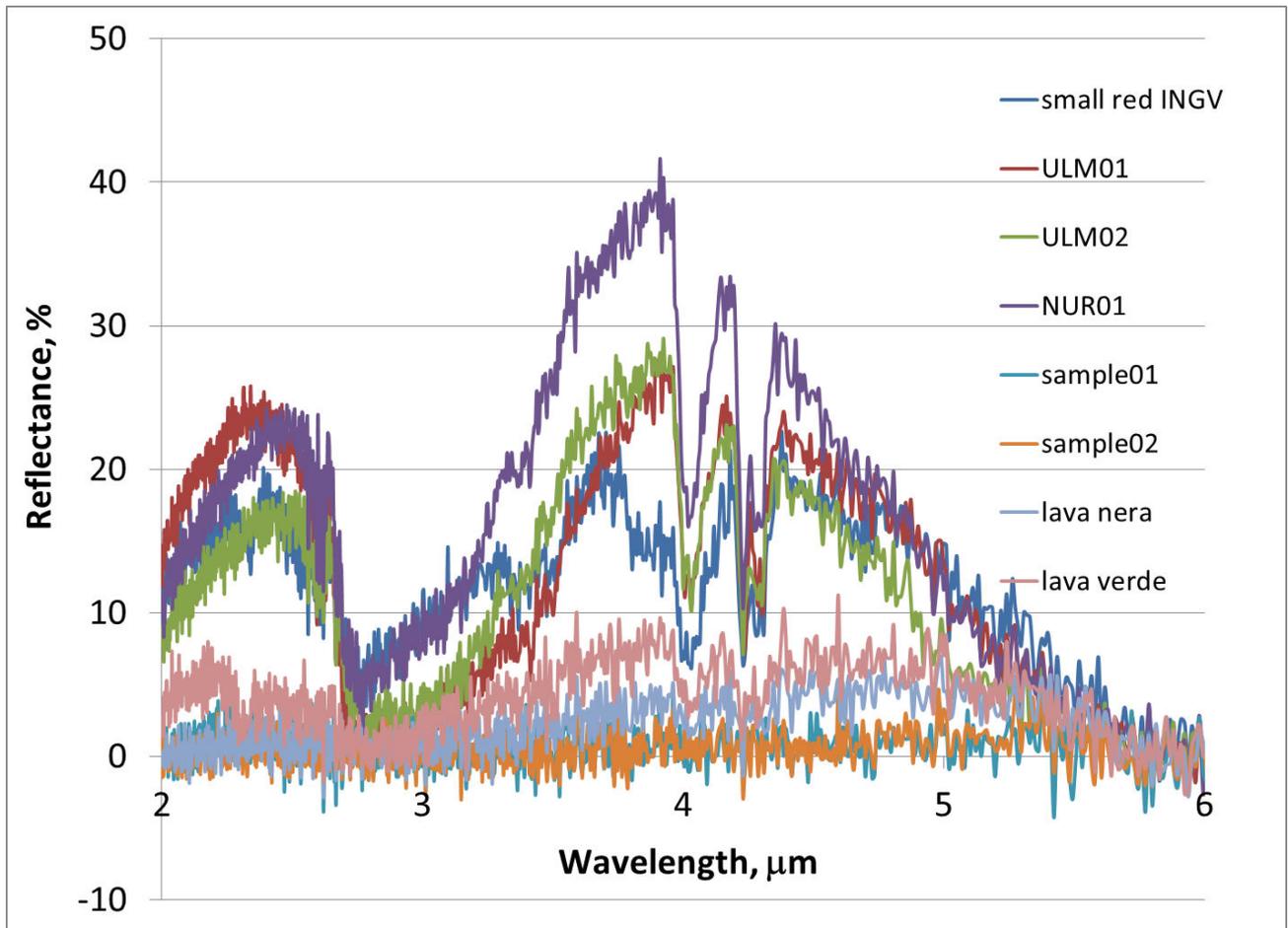


Fig. 7. Riflettanza dei campioni dei suoli, rif. Sez. 2.

## 4 Conclusioni

1. Sono stati selezionati, con supporto del personale SOTOCARBO, alcuni campioni di terreni tipici per le zone di stoccaggio della CO<sub>2</sub> nel bacino di Sulcis. Inoltre sono stati studiati altri campioni geologici per scopi metodologici, consigliati dal personale INGV.
2. E' stato assemblato un banco di misure *ad hoc* adatto alla caratterizzazione ottica MWIR dei campioni dei suoli.
3. E' stata elaborata una metodologia di misura di riflettanza assoluta dei campioni nel MWIR.
4. Le misure di riflettanza da questi campioni sono state fatte nel range ottico di interesse che è il medio infrarosso. Le misure ottiche MWIR dei campioni selezionati confermano la necessità di distinguere tra la riflettività ed emissività dei materiali in questo range spettrale partendo dalle caratteristiche morfologiche della superficie esposta valutabile, come rugosità e quindi opacità.
5. E' stato quindi aggiunto un dato realistico al modello radiometrico da utilizzare nel software per il calcolo del budget radiometrico, per ottenere i valori radiometrici sempre più realistici.

## 5 Riferimenti bibliografici

1. José A. Sobrino et al., "Soil emissivity and reflectance spectra measurements ", Appl. Opt. 48 (2009), 3664

2. A. Vogel, S. Diplas, A. J. Durant, A. S. Azar, W. I. Rose, A. Sytchkova, C. Bonadonna, K. Krüger, and A. Stohl, "Reference dataset of volcanic ash physicochemical and optical properties", *J. Geophys. Res. Atmos.*, 122 (4 Aug. 2017),

## 6 Abbreviazioni ed acronimi

CCS	Carbon Capture Storage
ENEA	Italian National Agency for New Technologies, Energy and Sustainable Economic Development
FIR	Far Infrared
FT-IR	Fourier-Transform IR (spectrometer)
HSI	Hyperspectral Imaging
INGV	Istituto Nazionale di Geologia e Vulcanologia
IR	Infrared
MIR (MWIR)	Medium Infrared
NIR	Near infrared