

# UN PROFILOMETRO LASER DA CAMPO PER LA VALUTAZIONE DELLA RUGOSITÀ SUPERFICIALE DEL TERRENO

Roberto Pini, Michele Raffaelli, Alessandro Barbini, Andrea Peruzzi

## 1. INTRODUZIONE

### 1. Introduction

La superficie del terreno è caratterizzata da rilievi e depressioni, che vanno da pochi millimetri a qualche decina di centimetri e che nel loro insieme possono essere definiti come rugosità superficiale. Questa varia continuamente sia a causa di agenti naturali (temperatura, umidità, precipitazioni, vegetazione) che in seguito all'intervento diretto dell'uomo (attività agricole). La rugosità superficiale, a sua volta, influenza profondamente l'infiltrazione, il ristagno d'acqua nelle depressioni del terreno e l'evaporazione [6, 7, 11]. Inoltre, essa ha un ruolo fondamentale nei processi di erosione dovuti allo scorrimento superficiale [2, 4].

Una misurazione obiettiva della rugosità può, perciò, essere di aiuto sia nello studio delle alterazioni superficiali del terreno che nella valutazione dell'efficacia e correttezza delle pratiche agricole. Inoltre, come parametro per la caratterizzazione del suolo, la rugosità assume ancor più importanza in considerazione del fatto che la sua determinazione non implica il prelievo di campioni che, in determinate condizioni operative (terreno plastico od eccessivamente «friabile»), può risultare di non facile attuazione e comunque connesso ad una ridotta attendibilità del risultato [8, 9].

I dispositivi di misura della rugosità (indicati generalmente con il nome di profilometri) utilizzati in

passato si sono spesso caratterizzati per scarsa attendibilità, insoddisfacente precisione o costi elevati e difficoltà di gestione [1, 13]. L'avvento di profilometri con sonda che non viene a contatto con il suolo, basati su sistemi di misura ottico-elettronici od acustici, ha avviato a molti di questi problemi e ne ha esaltato le possibilità di applicazione [5, 12].

In sintesi, questi strumenti sono caratterizzati dal fatto di essere:

— *non invasivi*: non entrano in contatto con la superficie oggetto della misura e non ne provocano alterazione; è così possibile eseguire misure prima e dopo eventi modificativi;

— *veloci*: l'acquisizione dei dati richiede pochi minuti e consente quindi un numero elevato di misure;

— *semplici*: i dati ottenuti non richiedono particolari procedimenti di elaborazione, almeno per ciò che riguarda la descrizione elementare del profilo superficiale.

L'Istituto per la Chimica del Terreno del CNR di Pisa ha realizzato e messo a punto due profilometri con sonda laser [10]; uno di questi è stato studiato e costruito con caratteristiche che lo rendessero particolarmente valido per un uso «di pieno campo».

In questo lavoro sono riportate le caratteristiche dello strumento da campo e due esempi di sue applicazioni. Uno inerente la valutazione della qualità del lavoro delle macchine operatrici per la lavorazione del terreno, l'altro relativo allo studio di superfici esposte ad alto rischio degradativo ed erosivo.

Memoria presentata il 12.3.99; accettata il 10.6.99.

Dr. ROBERTO PINI, Ricercatore, Istituto per la Chimica del Terreno, CNR, Pisa.

Dott. MICHELE RAFFAELLI, Ricercatore; Prof. Andrea Peruzzi, Professore Associato di Meccanizzazione Agricola, Settore Meccanica Agraria e Meccanizzazione Agricola DA-GAE, Università degli Studi di Pisa.

ALESSANDRO BARBINI, CTER, Istituto di Fisica Atomica e Molecolare, CNR, Pisa.

*Gli Autori hanno contribuito in ugual misura alla stesura del presente lavoro.*

## 2. IL PROFILOMETRO LASER

### 2. The laser microreliefmeter

#### 2.1. DESCRIZIONE GENERALE

##### 2.1. General description

Il profilometro (fig. 1 e 2) è essenzialmente costituito da un telemetro a luce laser, che misura la distanza dal sensore al suolo mentre si muove su un binario

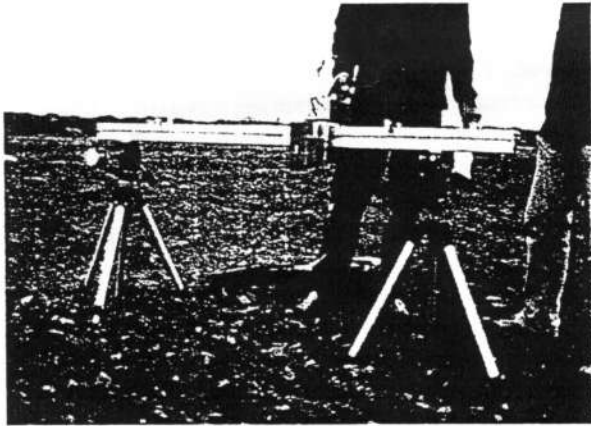


Fig. 1 - Profilometro laser in fase di lavoro.

Fig. 1 - The laser microreliefmeter at work.

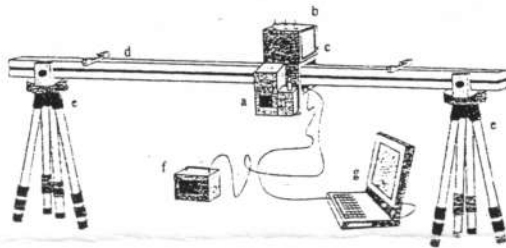


Fig. 2 - Profilometro laser: (a) telemetro a luce laser; (b) datalogger; (c) motore elettrico; (d) binario; (e) treppiedi; (f) batterie; (g) computer.

Fig. 2 - Laser microreliefmeter: (a) laser distance meter; (b) datalogger; (c) electric motor; (d) bar; (e) tripods; (f) batteries; (g) computer.

metallico rigido, ed un sistema elettronico per l'acquisizione e l'immagazzinamento dei dati. Il tutto è alimentato da accumulatori che permettono una notevole autonomia e sono facilmente ricaricabili.

Il distanziometro è un Sick modello DME 2000, il cui funzionamento si basa sulla misura del tempo di trasmissione della luce laser dal telemetro al bersaglio. Questa modalità di azione lo rende poco sensibile alle caratteristiche ottiche della superficie che va a colpire, lo fa essere più adatto per le applicazioni di pieno campo ed inoltre più attendibile rispetto ad analoghi apparati che basano la loro misura sulle caratteristiche geometriche della riflessione. Lo strumento può misurare distanze comprese tra 100 e 2000 mm con una risoluzione di 1 mm ed una precisione di  $\pm 0,25\%$  riferito al range di misura e di  $\pm 0,05\%$  con il 90% di riflettanza ad un metro.

## 2.2. MECCANICA

### 2.2. Mechanic

Il misuratore di distanza e la parte elettronica di controllo sono accoppiati ad un carrello che consente il loro spostamento lungo un binario sostenuto da nor-

mali treppiedi telescopici o da supporti fissati al suolo. La scelta di un semplice binario è dovuta alla necessità di effettuare misure anche in zone impervie e scoscese, che non avrebbero consentito il posizionamento di una intelaiatura bidimensionale per la scansione di profili paralleli su un'ampia superficie. Per ovviare a questo inconveniente, la sorgente laser è stata dotata di un meccanismo di basculaggio; è così possibile effettuare la scansione su profili paralleli senza apprezzabili alterazioni della correttezza dei dati, come evidenziato dai risultati di specifiche prove condotte in laboratorio ed in seguito in pieno campo.

Il carrello trasla grazie ad un motorino elettrico di tipo «passo passo» dotato di un pignone che ingrana su di una cremagliera inserita sul binario. Un secondo motore elettrico «passo passo» permette il basculaggio del distanziometro variandone l'inclinazione rispetto al telaio (fig. 3). Il binario è costituito da tre barre in alluminio del tipo utilizzato per costruzioni meccaniche modulari, sistemate per essere facilmente componibili al variare della lunghezza di misura desiderata. La lunghezza totale di scansione è regolabile posizionando due fine corsa sul binario, uno per il punto di partenza e l'altro per la fine. Lo strumento completo in fase di lavoro è supportato da due cavalletti di tipo fotografico o topografico ampiamente regolabili che permettono di ottenere una adeguata stabilità anche in presenza di suolo sconnesso. In condizioni estreme (ad esempio notevole pendenza) o quando è necessario ritrovare nel tempo con estrema precisione una determinata posizione, i cavalletti vengono sostituiti da supporti fissati al terreno.

## 2.3. ELETTRONICA

### 2.3. Electronic

L'acquisizione dei dati, il posizionamento e il controllo del telemetro sono effettuati per mezzo di una

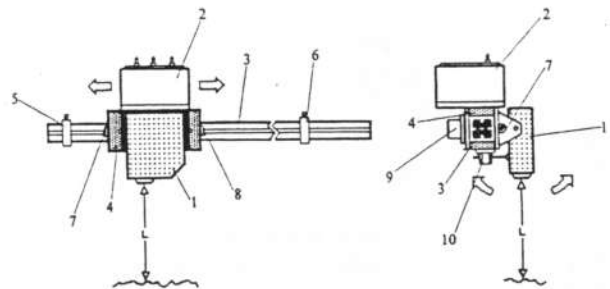


Fig. 3 - Schema di funzionamento del profilometro laser: 1) telemetro DME2000; 2) unità di controllo; 3) binario; 4) carrello; 5) posizione di inizio misura; 6) posizione di fine misura; 7) interruttore di inizio corsa; 8) interruttore di fine corsa; 9) motore passopasso; 10) motore di basculaggio.

Fig. 3 - Working scheme of the microreliefmeter: 1) distance meter DME 2000; 2) control unit; 3) alloy bridge support; 4) carriage; 5) start of measure position; 6) end of measure position; 7) start position switch; 8) stop position switch; 9) carriage stepper motor; 10) tilt stepper motor.

unità di controllo elettronica appositamente realizzata (fig. 4). L'unità è equipaggiata con un processore NEC V25 che controlla 2 porte seriali, 2 motori «passo passo» bipolari, input logici per tre interruttori e due switch di fine corsa. Inoltre è provvista di 256 kbytes di RAM statica che permette l'immagazzinamento di circa 128000 punti di misura. I due motori, uno necessario per la traslazione del telemetro e l'altro per la sua orientazione, possono lavorare in modo «full» o «half-step» permettendo differenti risoluzioni con un massimo di 0,1 mm. La prima porta seriale comunica con il telemetro laser ricevendo le misure e controllando le sue funzioni di base. La seconda porta seriale provvede a comunicare con un computer (generalmente un portatile) per il trasferimento dei dati e per regolare i parametri di misura. La velocità massima di comunicazione è 54100 bauds. I tre pulsanti sul pannello dell'unità di controllo comandano la partenza di una misura, la regolazione dell'inclinazione del distanziometro e il ritorno del carrello al punto di partenza. Sullo strumento sono inoltre presenti due interruttori di fine corsa, uno dei quali blocca il carrello a fine scansione e lo fa tornare indietro automaticamente, l'altro lo ferma definitivamente quando è di nuovo al punto di partenza.

#### 2.4. DESCRIZIONE DEL SOFTWARE E FUNZIONAMENTO DEL SISTEMA

##### 2.4. Software description and working system

Il software realizzato consente di colloquiare con lo strumento mediante un personal computer. Le funzionalità rese possibili sono il trasferimento dei dati raccolti ed il settaggio dello strumento. I parametri di misura che è possibile regolare sono la velocità di traslazione, il tempo di acquisizione, la distanza fra ogni singola scansione successiva, il numero di acquisizioni per ogni punto di misura (per ogni scansione da tutti i valori viene automaticamente calcolato quello

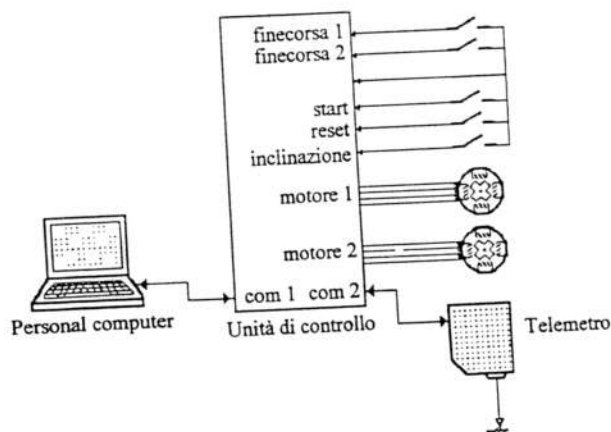


Fig. 4 - Schema dell'unità di controllo del profilometro laser.

Fig. 4 - The control unit of the microriliefmeter.

medio, in tal modo è possibile ottenere un filtraggio del «rumore» meccanico) e l'inclinazione del distanziometro per scansioni multiple della superficie.

Dopo la regolazione dei parametri di misura, lo strumento può essere disconnesso dal computer e attivato per le misure utilizzando i comandi sul dorso dell'unità di controllo. I dati immagazzinati durante le misure potranno essere scaricati sul computer tutti insieme alla fine della campagna di misura.

### 3. APPLICAZIONI

#### 3. Applications

##### 3.1. VALUTAZIONE DELLA QUALITÀ DEL LAVORO DELLE MACCHINE OPERATRICI PER LA LAVORAZIONE DEL TERRENO

##### 3.1. Evaluation of quality of work of operative machines for soil tillage

###### 3.1.1. Metodologia

###### 3.1.1. Methodology

Sono state effettuate prove di lavorazione con differenti attrezzature su due diverse tipologie di terreno. Su un terreno franco sabbioso sodo (73% sabbia, 16% limo e 11% argilla, con umidità media nello strato lavorato pari al 17,5% sulla massa umida) è stata utilizzata una zappatrice, accoppiata ad una trattrice a doppia trazione avente potenza nominale pari a 132 kW operante a velocità di 2,9 km/h. con due diverse regolazioni — con scudo posteriore aperto e bassa velocità di rotazione del rotore (208 giri/min) e con scudo chiuso ed alta velocità di rotazione (223 giri/min) — in modo da determinare differenti intensità di lavorazione. Su un terreno di medio impasto precedentemente arato (48% sabbia, 27% limo e 25% argilla, con umidità media nello strato lavorato pari al 16% sulla massa umida) è stato utilizzato un erpice rotante con diversi tipi di rullo pareggiatore, accoppiato con una trattrice da 73,5 kW DT, operante con velocità di avanzamento pari a 2,5 km/h combinata con un regime di rotazione dei rotori di 224 giri/min.

Le misurazioni sono state effettuate sia trasversalmente che parallelamente rispetto alla direzione di avanzamento delle macchine. Il binario del profilometro è stato mantenuto sempre orizzontale per avere un riferimento assoluto indipendente dalla pendenza del terreno. Il profilo superficiale è stato riprodotto graficamente ed è stato calcolato un indice di rugosità ( $\sigma_r$ ) seguendo il metodo proposto da Grant, Dexter & Huang nel 1990 [3], come riportato nella (1)

$$\sigma_r = \left\{ \frac{1}{N-n-1} \sum_{i=a+1}^{N-a} \left[ (y_i - \bar{y}_i) - (\bar{y}_i - \bar{y}_i) \right]^2 \right\}^{1/2} \quad (1)$$