

## STIMA DEI FLUSSI DI EVAPOTRASPIRAZIONE DA AGRUMETI MEDIANTE TECNICHE MICROMETEOROLOGICHE E DI SAP FLOW

Simona Consoli<sup>1</sup>, Antonio Motisi<sup>2</sup>, Rita Papa<sup>1\*</sup>, Luigi Pasotti<sup>3</sup>

<sup>1</sup> DiGeSA, Dipartimento di Gestione dei Sistemi Agroalimentari e Ambientali, Università degli Studi di Catania, via S. Sofia 100, 95123, Catania

<sup>2</sup> DEMETRA, Università degli Studi di Palermo, viale delle Scienze, 90128, Palermo

<sup>3</sup> SIAS - Servizio Informativo Agrometeorologico Siciliano, via S. Giuseppe alla Rena 32, 95121, Catania

\* rita.papa@gmail.com

### Riassunto

Il lavoro consiste nella valutazione dei flussi di evapotraspirazione da colture agrumicole in ambiente mediterraneo attraverso l'utilizzo di un approccio integrato tra tecniche micrometeorologiche differenti e metodi di misura indipendenti, applicati a diverse scale spaziali. I flussi di calore sensibile,  $H$ , ottenuti dalla tecnica Eddy Covariance sono stati confrontati con i valori dei medesimi flussi determinati dall'applicazione della tecnica Surface Renewal; infine, le misure di ET da Eddy Covariance sono state confrontate con le misure di traspirazione ottenute dalla tecnica Sap Flow. L'agrumeto in studio è ubicato in un'area della Sicilia Orientale in cui elevati valori di temperatura, modesta nuvolosità, moderata velocità del vento, assenza di precipitazioni e avvezione regionale, sono le tipiche condizioni meteorologiche del periodo irriguo. Il monitoraggio dei flussi di energia e di massa scambiati dal sistema suolo-pianta-atmosfera è riferito agli anni 2010 e 2011.

**Parole chiave:** evapotraspirazione, Tecniche micrometeorologiche, Sap flow.

### Introduzione

I recenti studi sui processi evapotraspirativi dei sistemi colturali hanno consentito la messa a punto di modelli dettagliati e di tecniche di misura delle diverse componenti dei bilanci energetico e di massa che interessano il sistema continuo suolo-pianta-atmosfera (SPA) (Simmons et al., 2007). In questo contesto, buona parte della ricerca applicata è rappresentata dalle tecniche micrometeorologiche, la cui fase di validazione comporta l'integrazione dei risultati sperimentali da esse ottenuti con misurazioni indipendenti degli scambi di massa e di energia nel sistema SPA. Con l'obiettivo di analizzare l'evoluzione dei flussi di evapotraspirazione da colture agrumicole in condizioni climatiche di tipo semi-arido, nello studio è stato sviluppato e applicato un approccio integrato tra tecniche micrometeorologiche differenti e metodi di misura indipendenti. I flussi di calore sensibile,  $H$ , ottenuti dalla tecnica Eddy Covariance ( $H_{EC}$ ) sono stati confrontati con i valori dei medesimi flussi determinati dall'applicazione della tecnica Surface Renewal ( $H_{SR}$ ); attraverso tale confronto è stato possibile effettuare la calibrazione dei flussi  $H_{SR}$ . Infine, le misure di ET da Eddy Covariance sono state confrontate con le misure di traspirazione ottenute dalla tecnica Sap Flow (SF), opportunamente spazializzate.

### Materiali e Metodi

L'area oggetto di studio è un agrumeto adulto (aranceto, varietà tarocco ippolito), ubicato nel Comune di Lentini (Sicilia Orientale), che presenta condizioni ideali di omogeneità colturale, altimetria, direzione del vento dominante e fetch per l'applicazione di tecniche di misura di tipo micrometeorologico. La temperatura dell'aria e le tre componenti della velocità del vento, utili per l'applicazione delle tecniche SR ed EC, sono state misurate a due altezze,  $z=4$  e  $z=8$  metri rispetto alla superficie del suolo, utilizzando, rispettivamente, termocoppie sensibili (76  $\mu\text{m}$  di diametro) ed anemometri sonici. I dati grezzi dei flussi di energia ( $H$ , LE) sono stati acquisiti dalle strumentazioni ad una frequenza di 10 Hz e

successivamente corretti utilizzando il software TK2 (Mauder et al., 2007), ottenendo valori medi alla mezz'ora.

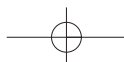
Applicando la teoria SR (Paw U et al., 1995; Van Atta, 1977), i flussi di calore sensibile  $H$  sono stati stimati come:

$$H_{SR} = \rho C_p (\alpha z) \frac{A}{\tau} \quad (1)$$

dove  $\rho$ , e  $C_p$  sono, rispettivamente, la densità dell'aria e il calore specifico dell'aria a pressione costante;  $z$  è l'altezza di misurazione della temperatura dell'aria;  $\alpha$  è una costante che tiene conto dell'ineguale riscaldamento del volume al di sotto dei sensori e la sua determinazione richiede la calibrazione della tecnica SR mediante misure indipendenti di  $H$  da EC. L'applicazione della tecnica Sap Flow, in particolare il metodo Heat Pulse (HP) (Green e Clothier, 1988), ha consentito di stimare i flussi di traspirazione ( $T_{SF}$ ) di tre piante rappresentative dell'area in esame. Il confronto tra i valori di traspirazione ottenuti dal metodo HP a livello della singola pianta e i valori di evapotraspirazione determinati dall'applicazione delle tecniche micrometeorologiche sul sistema agrumeto è stato condotto su base temporale oraria, giornaliera e stagionale. L'up-scaling dei valori di  $T_{SF}$  è stato effettuato sulla base del rapporto tra indice di area fogliare (LAI) a livello di agrumeto e area fogliare a livello del singolo albero.

### Risultati e Discussione

La Tabella 1 riporta, per prescelti periodi di calibrazione (P) nell'anno 2010, il numero N di dati disponibili, i valori di  $\alpha$  calibrati per  $H_{SR-4m}$  e  $H_{SR-8m}$ , e i risultati dell'analisi di regressione (pendenza  $s$ , intercetta int.),  $R^2$  e  $R_{mse}$  ottenuti dal confronto tra  $H_{EC-4m}$  e  $H_{EC-8m}$  (Castellví et al., 2012). In condizioni atmosferiche stabili, si osserva una tendenza all'incremento di  $\alpha$  per ( $R_s$ -G) positivo; in condizioni di instabilità,  $\alpha$  mostra una significativa variabilità che implica la necessità di calibrare SR su lunghi intervalli temporali. I valori di  $R_{mse}$  sono più bassi per  $H_{SR-8m}$  rispetto



Tab. 1 - Calibrazione del parametro  $\alpha$  a  $z=4$  m e  $z=8$  m; + e - indicano ( $R_n$ -G) positivo e negativo; P: periodo di calibrazione.

	N	$\alpha_{z=4m}$	Rmse	$\alpha_{z=8m}$	Rmse	s	int.	R <sup>2</sup>	Rmse
P: 75-90									
Instabile	304	0.66	61	0.64	56	0.85	-4	0.94	35
Stabile <sup>-</sup>	286	0.32	13	0.17	10	0.67	-1	0.70	12
P: 159-172									
Instabile	271	0.58	75	0.53	67	0.81	2	0.86	49
Stabile <sup>-</sup>	108	0.21	17	0.18	15	0.53	-8	0.55	14
Stabile <sup>+</sup>	29	0.41	14	0.27	17	0.35	-9	0.23	21
P: 244-258									
Instabile	183	0.76	51	0.61	45	0.89	2	0.86	25
Stabile <sup>-</sup>	274	0.25	13	0.17	11	0.42	-7	0.29	15
Stabile <sup>+</sup>	61	0.38	9	0.29	9	0.74	-3	0.38	13

Tab. 2 - Confronto tra  $H_{EC-4m}$ ,  $H_{SR-4m}$ ,  $H_{SR-8m}$  e  $H_{EC-8m}$ .

N	$H_{EC-4m}$					$H_{SR-4m}$					$H_{SR-8m}$					
	s	int.	R <sup>2</sup>	Rmse	D	s	int.	R <sup>2</sup>	Rmse	D	s	int.	R <sup>2</sup>	Rmse	D	
P: 47-120																
in.	1570	0.85	-3	0.93	37	0.82	0.92	-11	0.78	56	0.83	1.00	11	0.65	72	1.10
sl.	1545	0.66	-2	0.77	14	0.75	0.42	-8	0.51	19	0.79	0.53	-6	0.47	19	0.81
P: 121-212																
in.	1883	0.81	6	0.81	51	0.84	0.90	-15	0.64	73	0.81	1.00	6	0.59	77	1.04
sl.	2021	0.48	-7	0.46	17	0.97	0.19	-11	0.23	20	0.96	0.44	-13	0.30	20	1.32
sl.	94	0.17	-10	0.02	29	0.62	0.20	-10	0.09	21	0.67	0.28	-5	0.09	23	0.56
P: 213-268																
in.	1113	0.79	7	0.85	35	0.85	1.11	-24	0.70	56	0.92	1.14	-2	0.59	72	1.12
sl.	1827	0.51	-7	0.41	14	1.22	0.27	-12	0.21	16	1.62	0.41	-10	0.29	16	1.36
sl.	234	0.67	-3	0.54	11	0.86	0.58	-5	0.42	12	0.91	0.60	-2	0.33	14	0.76

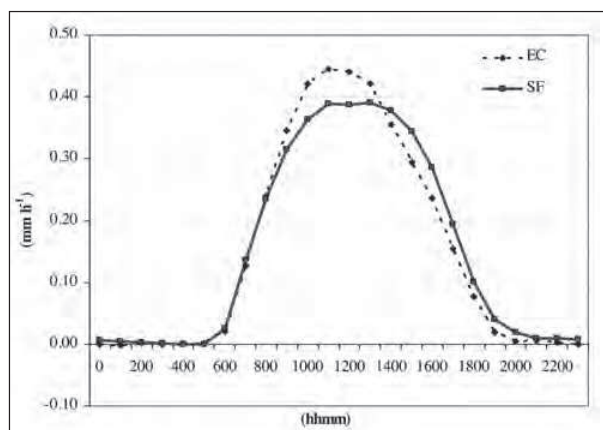


Fig. 1 - Andamento medio orario di  $ET_{EC}$  e  $T_{SF}$

a  $H_{SR-4m}$ , il che suggerisce di utilizzare per SR ed EC lo stesso livello di misura.  $H_{EC-4m}$  e  $H_{EC-8m}$  sono ben correlati in condizioni atmosferiche instabili ( $R^2 \geq 0,86$ ). I valori di  $\alpha$  ottenuti in fase di calibrazione sono stati utilizzati per stimare H da SR sia nel 2010 che nel 2011. La Tabella 2 mostra i risultati del confronto tra  $H_{EC-4m}$ ,  $H_{SR-4m}$ ,  $H_{SR-8m}$  e  $H_{EC-8m}$ . Le misure di  $H_{EC}$  effettuate a 4 metri sottostimano (di circa il 18%) i valori di  $H_{EC}$  a 8 metri ( $D < 1$ ). Dai confronti effettuati emerge che i valori di  $H_{SR-4m}$  sono ben correlati a quelli di riferimento  $H_{EC-8m}$ . La Figura 1 mostra l'andamento giornaliero medio dei valori

orari di evapotraspirazione da EC ( $ET_{EC}$ ) e di traspirazione da Sap Flow ( $T_{SF}$ ), registrati nei mesi da maggio a settembre negli anni in studio. I valori di  $ET_{EC}$  rispecchiano l'andamento giornaliero della domanda evapotraspirativa atmosferica, mentre i flussi di  $T_{SF}$  presentano una certa stazionarietà nelle ore centrali della giornata; a partire da circa le 9:00 a.m. si osserva uno scostamento tra le due grandezze, dovuto alla capacità di accumulo d'acqua da parte della pianta nel corso del processo traspirativo diurno. Le differenze riscontrate sono poi recuperate nelle ore pomeridiane e notturne, quando  $T_{SF}$  è maggiore di  $ET_{EC}$ . In generale, i valori di  $ET_{EC}$  risultano superiori del 10% rispetto a quelli di  $T_{SF}$ ; tale differenza corrisponde verosimilmente alla quantità d'acqua evaporata dal suolo, che non viene presa in considerazione dal metodo SF.

## Conclusioni

Il lavoro riporta i principali risultati dell'applicazione di tecniche micrometeorologiche per la stima dell'evapotraspirazione colturale ( $ET_c$ ) di un agrumeto in ambiente mediterraneo. Gli elementi da evidenziare sono i seguenti: (1) la tecnica SR è una valida alternativa all'utilizzo di EC per la stima dei flussi di H; alcuni accorgimenti sono però necessari nel corso della fase di calibrazione di SR, la quale richiede lunghi periodi di monitoraggio; (2) la tecnica SF può essere efficacemente utilizzata per la caratterizzazione di  $ET_c$  a livello di sistema agrumeto; la principale difficoltà concerne l'individuazione del più corretto fattore di scala per il passaggio dalla misura relativa alla singola pianta a quella di pieno campo.

## Bibliografia

- Castellvi F., Consoli S., Papa R., 2012. Sensible heat flux estimates using two different methods based on Surface renewal analysis. A study case over an orange orchard in Sicily. *Agric. Forest Meteorol.*, 152, 58-64.
- Green S.R., Clothier B.E., 1988. Water use of kiwifruit vines and apple trees by the heat-pulse technique. *J. Exp. Bot.*, 39, 115-123.
- Mauder M., Foken T., Clement R., Elbers J.A.E.W., Grünwald T., Heusinkveld B., Kolle O., 2007. Quality control of CarboEurope flux data - Part 2: Inter-comparison of eddy-covariance software. *Biogeosciences*, 5, 4067-4099.
- Paw U K.T., Qiu J., Su H.B., Watanabe T., Brunet Y., 1995. Surface renewal analysis: a new method to obtain scalar fluxes without velocity data. *Agric. Forest Meteorol.*, 74, 119-137.
- Simmons L.J., Wang J., Sammis T.W., Miller D.R., 2007. An evaluation of two inexpensive energy-balance techniques for measuring water use in flood-irrigated pecans (*Carya illinoensis*). *Agric. Water Manag.*, 88, 181-191.
- Van Atta C.W., 1977. Effect of coherent structures on structure functions of temperature in the atmospheric boundary layer. *Arch Mech.*, 29, 161-171.