

Atti del Convegno

“Galileo e l’Acqua:
guardare il Cielo per capire la Terra”

CNR Sede Centrale - Sala Marconi
Archivio di Stato di Roma - Biblioteca Alessandrina
Roma 17 - 18 Dicembre 2009

Edito da:

Lucio Ubertini
Piergiorgio Manciola
Arnaldo Pierleoni

Osservazioni satellitari e misure al suolo per la stima dei bilanci idrici

Marco Mancini¹, Chiara Corbari² e Giovanni Ravazzani¹

¹ Politecnico di Milano - Dipartimento di Ingegneria Idraulica, Ambientale, delle Infrastrutture Viarie e del Rilevamento

² Politecnico di Milano - Costruzioni Idrauliche e Marittime, Idrologia

Sommario

L'umidità del suolo è considerata la variabile principale del bilancio idrologico nella modellistica di piena e nella gestione in tempo reale della risorsa idrica. Nonostante questo ruolo, spesso l'umidità viene considerata una semplice variabile numerica interna al modello senza nessun controllo coi dati misurati, a causa principalmente della sua elevata variabilità spazio-temporale e delle ben note difficoltà di misura da sensore remoto di tale variabile. Queste problematiche hanno spinto la comunità scientifica all'utilizzo combinato di modellistica idrologica e informazioni satellitari per la stima dei contenuti idrici a scala di bacino e a scala locale tramite variabili ad esse correlate come la temperatura superficiale (LST).

Il presente lavoro analizza, quindi, la possibilità di controllare l'umidità del suolo e la sua variabilità spaziale e temporale tramite la temperatura superficiale ricavata da sensore remoto operativo (come MODIS e ASTER) e da misure locali effettuate da una stazione *eddy correlation* e tramite la temperatura termodinamica di equilibrio ricavata da un modello distribuito di bilancio idrico ed energetico (FEST-EWB). Inoltre il problema dell'effetto della scala di risoluzione spaziale e temporale del dato satellitare di temperatura viene analizzato anche in relazione alla stima del flusso di evapotraspirazione. Le analisi sono svolte a scala locale e di bacino.

Alla scala locale, il modello di bilancio idrico ed energetico è validato tramite i flussi energetici misurati da stazione *eddy correlation*. Mentre a scala di bacino, il lavoro studia l'utilizzo della LST ricavata da immagini satellitari per la validazione del modello idrologico distribuito come metodo complementare alla calibrazione tradizionale tramite misure di portata.

Le aree di studio sono il campo agricolo sperimentale coltivato a mais di Landriano (PV) e il bacino del fiume Po chiuso a Ponte della Becca.

Introduzione

L'umidità del suolo è la variabile principale nel bilancio idrologico di massa e di energia utilizzato operativamente sia per la previsione delle piene sia per la gestione dell'irrigazione in agricoltura (Montaldo & Albertson, 2003b). Rispetto a questo ruolo rilevante molte volte l'umidità del suolo è confinata ad una variabile numerica interna del modello (Dooge, 1986).

Questo è principalmente dovuto alla sua intrinseca variabilità spaziale e temporale e alle ben note difficoltà a definire il suo valore da sensore remoto e da misure in sito (Engman & Chauhan, 1995).

Questi problemi hanno portato la comunità scientifica ad utilizzare i modelli idrologici accoppiati ai dati da satelliti per la stima del contenuto idrico a scala di bacino e di campo attraverso variabili connesse all'umidità del suolo come la temperatura superficiale (LST). Questa temperatura superficiale è il parametro che lega i flussi di energia tra suolo, vegetazione e bassa atmosfera con un ruolo quindi fondamentale nella modellazione del bilancio energetico per la stima dei flussi di

radiazione netta, calore latente e sensibile e nel suolo (Noilhan & Planton, 1989; Famiglietti & Wood, 1994). La disponibilità di informazioni da satellite permette un facile utilizzo congiunto ai modelli idrologici distribuiti sia come variabili di ingresso che di validazione. Tuttavia alcune incertezze nella definizione della temperatura superficiale da satellite devono ancora essere definite come per esempio il problema della definizione di LST per superfici eterogenee (Norman et al., 1995; Jiménez-Muñoz & Sobrino, 2007).

In questo lavoro è studiata la potenzialità dell'utilizzo di una temperatura superficiale rappresentativa (RET) in un modello di bilancio di massa ed energia confrontata con la temperatura superficiale da satelliti operativi come TERRA con a bordo il sensore MODIS come strumento di monitoraggio della dinamica dell'umidità del suolo. L'approccio basato su RET è stato testato a diverse scale di risoluzione: dalla scala di campo (10 ha) a Landriano (Italia) alla scala di bacino idrografico nel bacino dell'alto Po (300000 ha), utilizzando come controllo i flussi energetici della stazione *eddy covariance* e i dati nell'infrarosso termico da satellite e misure al suolo.

A scala locale questo lavoro cerca di riprodurre la variabilità spaziale e temporale dell'umidità del suolo attraverso un modello distribuito di bilancio di massa ed energia (FEST-EWB) validato con i flussi energetici misurati da una stazione *eddy covariance*. La temperatura superficiale

modellata è
terra per
energetici d
bilancio di
bilancio en
disponibile
(Jacobs et
può essere
accumulo,
strumenti e
condizioni
2010).

A sca
modo conve
come metoc
misure di
incrementan
pixel del mc

Il modello c

FEST-
ed energia
partire dal
(Mancini, 19
calcola tu
l'evapotrasp
dinamica d
sviluppati u
energia tra
bacino idrog
quella tempe
definita con
energetico.
direttamente
superficiale.
dell'evapotra
invece è pre
l'evapotraspi
tramite una f

modellata è poi confrontata con i dati da satellite MODIS e con misure a terra per migliorare la gestione dell'irrigazione. L'utilizzo dei flussi energetici di una stazione *eddy covariance* per la validazione dei modelli di bilancio di massa ed energia richiede che sia verificata la chiusura del bilancio energetico. Questa di solito non è mai verificata e l'energia disponibile è maggiore della somma dei flussi turbolenti di circa 10-20 % (Jacobs *et al.*, 2008). Questo problema di chiusura del bilancio energetico può essere dovuto a diverse fonti d'errore, come per esempio i termini di accumulo, il periodo temporale di aggregazione, l'area di misura degli strumenti e il significato delle misure dei flussi turbolenti rispetto alle condizioni di stabilità o instabilità dell'atmosfera (Foken, 2008; Corbari, 2010).

A scala di bacino il confronto tra LST da satellite e RET sembra un modo conveniente per la validazione di un modello idrologico distribuito come metodo complementare a quello tradizionale di calibrazione con le misure di portata alle poche sezioni di controllo lungo il fiume, incrementando i punti di controllo del bilancio di massa ed energia in ogni pixel del modello idrologico

Il modello di bilancio energetico

FEST-EWB è un modello idrologico distribuito di bilancio di massa ed energia (Corbari *et al.*, 2008; Corbari, 2010) che è stato sviluppato a partire dal FEST-WB e dai modelli ad evento FEST98 and FEST04 (Mancini, 1990; Rabuffetti *et al.*, 2008; Ravazzani *et al.*, 2008). FEST-WB calcola tutti processi principali del ciclo idrologico come l'evapotraspirazione, l'infiltrazione, flusso superficiale e profondo e la dinamica della neve (Corbari *et al.*, 2009). Nel FEST-EWB è stato sviluppato un approccio innovativo per la soluzione del bilancio di massa ed energia tra suolo e bassa atmosfera per applicazioni a scala locale e di bacino idrografico. In particolare il bilancio energetico è risolto ricercando quella temperatura rappresentativa di equilibrio termodinamico (RET) che è definita come la temperatura superficiale (LST) che chiude il bilancio energetico. Utilizzando questo approccio, l'umidità del suolo (SM) è direttamente legata al flusso di calore latente e quindi alla temperatura superficiale. In questo modo si risolve il problema del calcolo dell'evapotraspirazione effettiva e della stima dell'umidità del suolo che invece è presente nell'approccio che utilizza il solo bilancio di massa dove l'evapotraspirazione effettiva è calcolata come frazione di quella potenziale tramite una funzione empirica.

L'equazione completa di bilancio energetico al suolo può essere espressa come:

$$R_n - G - (H_s + H_c) - (LE_s + LE_c) = F_{CO_2} + S_c + S_{air} + S_s$$

dove R_n (Wm^{-2}) è la radiazione netta, G (Wm^{-2}) è il flusso di calore nel suolo, H_s e H_c (Wm^{-2}) e LE_s e LE_c (Wm^{-2}) sono rispettivamente il flusso di calore sensibile e di calore latente per il suolo nudo (s) e per la vegetazione (c). Il flusso fotosintetico (F_{CO_2}), i flussi di entalpia nella vegetazione e nell'aira (Scanopy and Sair) e il flusso di calore nello strato superficiale di suolo (Ssoil) (Wm^{-2}) sono invece i termini di accumulo. Questi termini sono spesso trascurabili, specialmente a scala di bacino ad una bassa risoluzione spaziale; mentre a scala locale il contributo di questi termini può essere significativo (Corbari, 2010; Meyers & Hollinger, 2004).

Tutti i flussi dell'equazione di bilancio energetico dipendono dalla temperatura superficiale e quindi l'equazione di bilancio può essere risolta con il metodo di Newton-Rhapson:

$$LST_n = LST_{n-1} + \frac{f(LST_{n-1})}{f'(LST_{n-1})}$$

dove LST_n è il valore attuale, LST_{n-1} è il valore all'iterazione precedente, $f(LST_{n-1})$ è la funzione di bilancio energetico e $f'(LST_{n-1})$ è la sua derivata. La soluzione è quindi accettata quando:

$$\left| \frac{f(LST)}{f'(LST)} \right| < tolerance \quad e \quad f(LST) < tolerance$$

con una tolleranza pari a 0.001. I termini del bilancio energetico sono descritti nel dettaglio in Corbari, 2010.

Le misure di bilancio energetico a scala locale

La stazione *eddy correlation* di Landriano (45.19 N, 9.15 E) (Pavia-Italia), gestita dal Politecnico di Milano in collaborazione con l'Università statale di Milano, è situata in un campo sperimentale coltivato a mais. I dati utilizzati sono stati misurati nel 2006 dal 13 Marzo al 11 Ottobre, mentre il mais è stato piantato il 1 Giugno e raccolto l'11 Ottobre.

La stazione è dotata degli strumenti per la misura dei flussi di massa e energia. In particolare l'open-path gas analyzer accoppiato con un

anemc
latente
] 2008).

Valida

Flu:

I
bilancio
bilancio
chiusur
I
netta, i
stati co
con buc

anemometro sonico 3D permette la stima dei flussi turbolenti di calore latente e sensibile in base alla tecnica *eddy correlation*.

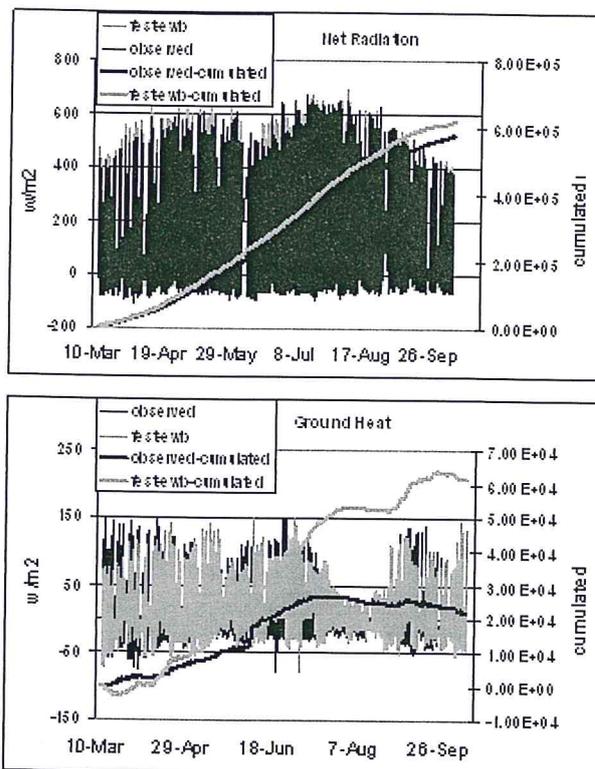
I dati sono acquisiti in continuo e mediati sulla mezzora (Horeschi, 2008).

Validazione del modello con dati a terra e da satellite a scale di campo

Flussi di energia

L'utilizzo dei flussi energetici per la validazione dei modelli di bilancio di massa ed energia richiede che sia verificata la chiusura del bilancio energetico. La qualità dei flussi energetici e gli errori relativi alla chiusura del bilancio energetico sono stati analizzati in Corbari, 2010.

I principali flussi energetici misurati e simulati, come la radiazione netta, i flussi di calore latente e sensibile e il flusso di calore nel suolo, sono stati confrontati per l'intero periodo di misurazione e il modello riproduce con buona accuratezza i flussi osservati (Figura.1).



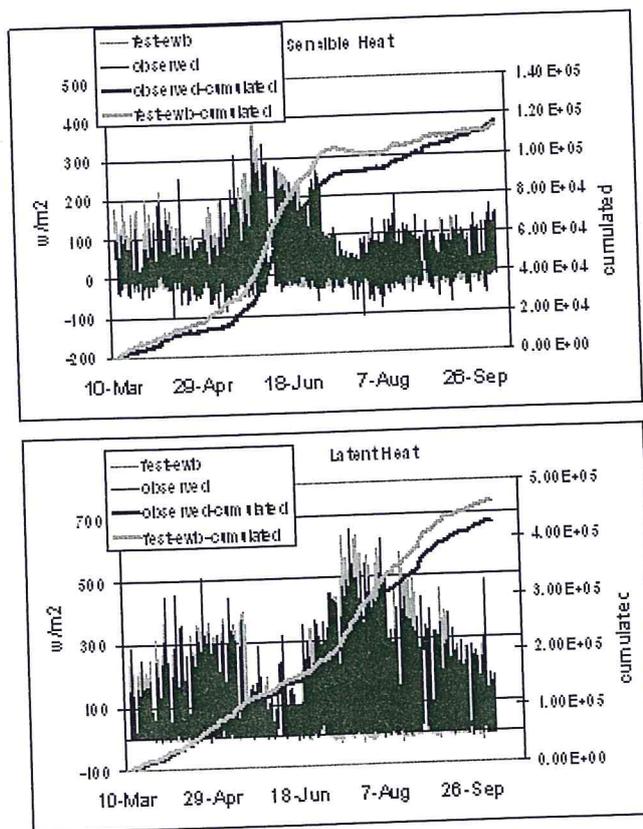


Figura.1 Confronto tra flussi energetici simulati e misurati

Questi risultati sono confermati dall'analisi statistica che ricerca la minimizzazione della radice dell'errore quadratico medio (RMSE) e la massimizzazione dell'efficienza dell'indice di Nash e Sutcliffe (Nash and Sutcliffe, 1970) (Tabella 1).

Tabella 1: RMSE e l'indice di Nash e Sutcliffe per i flussi energetici

	E_f	RMSE (Wm^{-2})	Coefficiente angolare	R^2	Energia totale (%)
Rn	0.96	38.3	$y = 0.95 x$	0.97	2.4
Le	0.75	54.8	$y = 0.87 x$	0.70	3.4
H	0.71	29.6	$y = 0.80 x$	0.66	-1.3
G	0.68	22.5	$y = 0.84 x$	0.80	7.2

Temperatura

La temperatura energetica che di calore. Le congegnato con definizione de

Per questa di LST ricavato (http://ladswell) dal 13 Marzo analizzato è permette di su che è pari a 1K

In Figura stazione eddy regressione lineare $y = 0.97 x$, non osservati punti confrontati con della retta di re

Anche la Nash e Sutcliffe confronto ai va

Figura 2: Confr

Temperatura superficiale

La temperatura superficiale è il parametro principale nel bilancio energetico che lega i flussi tra suolo e bassa atmosfera guidando lo scambio di calore. Le immagini da satellite sono un importante strumento per l'uso congiunto con un modello distribuito anche se alcune incertezze nella definizione della LST da satellite come per esempio in zone omogenee.

Per questo studio sono state utilizzate 104 immagini notturne e diurne di LST ricavate dal radiometro MODIS a bordo del satellite TERRA (<http://ladsweb.nascom.nasa.gov/index.html>) per il periodo di simulazione dal 13 Marzo al 11 Ottobre 2006. L'area agricola attorno al campo di mais analizzato è una zona omogenea dal punto di vista agricolo e questo permette di superare il problema della risoluzione spaziale del LST-MODIS che è pari a 1Km.

In Figura.2, LST da MODIS e la LST misurata dal radiometro della stazione *eddy* sono confrontati con la RET modellata dal FEST-EWB. La regressione lineare passante per l'origine tra RET e LST della stazione è $y = 0.97x$, mostrando una buona abilità del modello a riprodurre i dati osservati puntualmente. I valori di temperature modellati sono poi stati confrontati con i dati misurati da sensore remoto e il coefficiente angolare della retta di regressione raggiunge un valore di 0.9.

Anche la radice dell'errore quadratico medio (RMSE) e l'indice di Nash e Sutcliffe (E_f) confermano la bontà dei risultati della simulazione in confronto ai valori misurati alla stazione e da satellite.

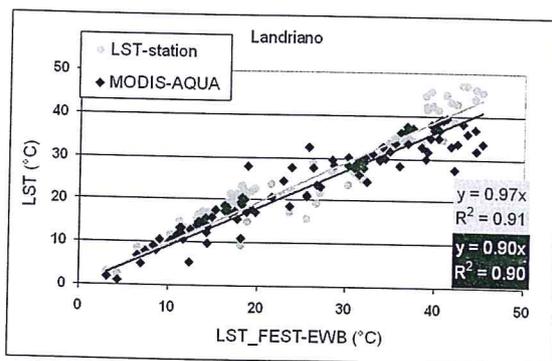


Figura 2: Confronto tra la RET simulata e LST misurata alla stazione e da MODIS

Validazione del modello con misure da satellite a scale di bacino

Area di studio

L'area di studio è il bacino dell'alto Po 36'000 Km², di cui il 73% di montagna e il 6% di risaie. Per questo studio le misure meteorologiche ed idrologiche sono misurate dalla rete di monitoraggio della Regione Piemonte, della Regione Lombardia e della Svizzera. I dati di precipitazione, temperature dell'aria, radiazione solare incidente ad onde corte e umidità dell'aria sono disponibili dal 1 Gennaio 2000 al 31 Dicembre 2003 ogni 30 minuti (Rabuffetti et al., 2008).

Temperatura superficiale

A scala di bacino, la temperatura superficiale da satellite fornisce un'importante opportunità di validare il modello idrologico distribuito come metodo complementare alla calibrazione tradizionale con le misure di portata.

130 immagini LST-MODIS diurne e notturne, con una copertura nuvolosa inferiore al 20 %, sono confrontate con la RET simulata dal FEST-EWB durante i 4 anni di simulazione. Particolare attenzione è stata prestata alle risaie che, come detto precedentemente, occupano un'area pari a 2300 Km² pari al 6 % di tutta l'area del bacino. Questa coltivazione è caratterizzata da quattro mesi, da maggio ad ottobre, dal campo completamente coperto d'acqua e quindi può essere modellata come uno specchio di acqua di profondità pari a 20 cm. Anche la temperatura del Lago Maggiore è stata simulata con il bilancio energetico per gli specchi d'acqua. La RET modellata su tutto il bacino è stata confrontata con LST da MODIS e si ottiene una buona correlazione. In Figura 3, due mappe di LST da FEST-EWB e MODIS sono riportate per il 29 Gennaio 2003 alle 11 e il 29 Giugno 2003 alle 13. In questa ultima immagine le risaie sono evidenti e simulate correttamente con una temperatura superficiale inferiore rispetto alle aree agricole circostanti.



Figura 3



Figura 4

In l
MODIS p
modello s
accuratez
omogenea
spaziale c
dinamiche
prodotto
della temp

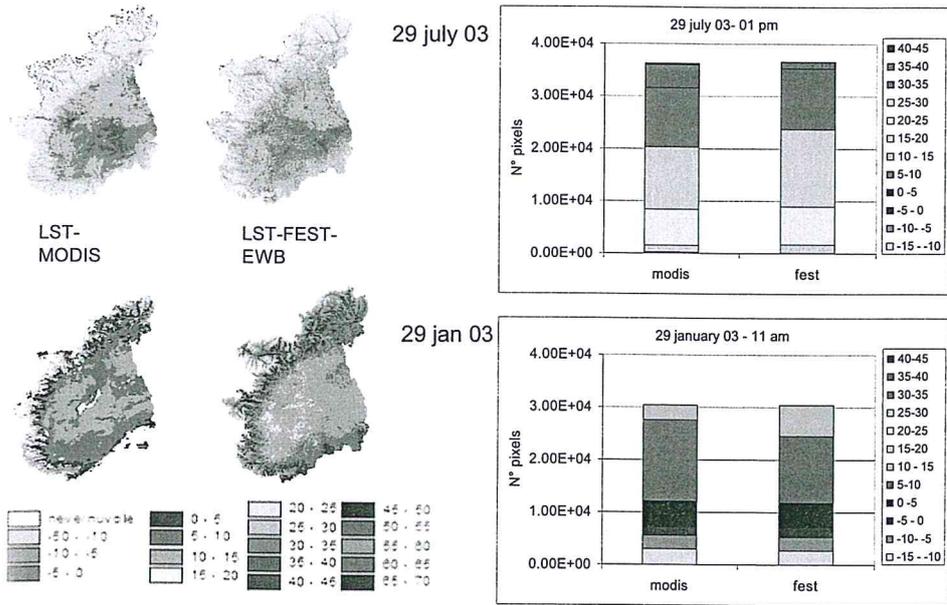


Figura 3: LST da FEST-EWB e MODIS per il 29 gennaio 2003 alle 11 e il 29 giugno 2003 alle 13

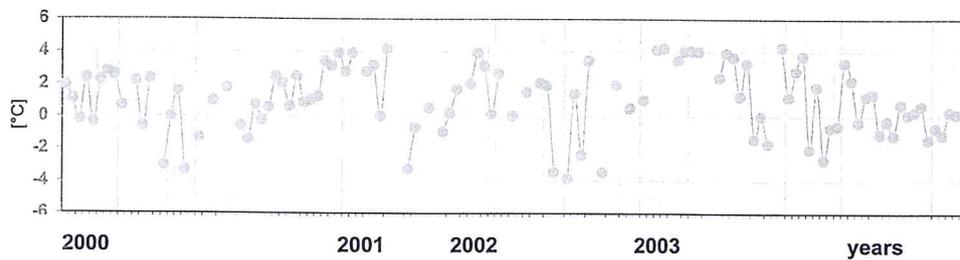


Figura 4: Differenza tra la LST da FEST-EWB e MODIS dal 2000 al 2003

In Figura 4 sono riportate le differenze tra LST da FEST-EWB e da MODIS per le 130 immagini nei 4 anni di simulazione. Si nota come LST da modello sia di 2.1 °C maggiore di quella da satellite, ma con una maggiore accuratezza nelle aree di montagna e risaie dove si ha una copertura omogenea mentre con errori maggiori nella zona agricola dove, data la scala spaziale della simulazione, risulta difficile rappresentare correttamente le dinamiche della vegetazione. Inoltre bisogna considerare gli errori del prodotto LST-MODIS dovuti soprattutto all'incertezza della definizione della temperatura in aree eterogenee.

Tabella 2: Analisi statistica delle differenze di temperature tra FEST-EWB e MODIS

	Media delle differenze assolute LST (°C)	Deviazione standard delle differenze assolute LST (°C)	LST RMSE (°C)	LST errore relativo (°C)	LST η
Bacino totale	2.9	5.8	5	0.0	0.8
Montagna	2.1	6.4	6.4	-0.2	-0.1
Collina	2	5.7	5.1	0.1	0.7
Pianura	3.4	4.9	4	0	0.1
Risaie	2.2	5.7	4.7	5.7	0.6
Lago Maggiore	1.9	2.9	4.3	0.2	0.7

Conclusioni

Questo lavoro ha mostrato un approccio innovativo per la soluzione del bilancio di massa ed energia tra suolo e bassa atmosfera per applicazioni a scala locale e di bacino idrografico basato sul controllo dell'umidità del suolo attraverso la temperatura superficiale da satellite nell'infrarosso termico. Il bilancio energetico è risolto ricercando quella temperatura rappresentativa di equilibrio termodinamico che chiude il bilancio energetico. Utilizzando questo approccio, l'umidità del suolo è direttamente legata al flusso di calore latente e quindi alla temperatura superficiale. In questo modo si risolve il problema del calcolo dell'evapotraspirazione effettiva e della stima dell'umidità del suolo che invece è presente nell'approccio che utilizza il solo bilancio di massa dove l'evapotraspirazione effettiva è calcolata come frazione di quella potenziale tramite una funzione empirica.

A scala locale la RET dal modello idrologico FEST-EWB è in grado di riprodurre correttamente i valori di LST misurati alla stazione e da satellite e dalla stazione. Anche i flussi energetici sono riprodotti in modo accurato.

A scala di bacino il modello idrologico è in grado di riprodurre la LST da MODIS. Inoltre il confronto tra LST da satellite e RET sembra un modo conveniente di controllare i flussi e il bilancio di massa ed energia in ogni pixel del modello idrologico ottenendo il doppio risultato di: a) fornire ulteriori punti di controllo rispetto ai dati tradizionali di misura delle portate,

b) valutare l'us modello idrolog

Ringraziamenti
ACQWA EU/F the Quantity a finanziato dalla Milano- Dipar matematica dei

Bibliografia

1. Blöschl, modelling
2. C. Corbar satellite Politecnico
3. C. Corbar temperaturu model for (Mediterra
4. C. Corbari correction model cal (www.hyd
5. Dooge, J.C 22(9) 46S-
6. Engman, I measureme 189-198.
7. Famiglietti variable w 1994, 30, 3
8. T. Foken, M
9. Hoeschi, I idrologico, italian), 20(
10. Jacobs, A. closing the Boundary I

b) valutare l'uso dei dati da satellite di LST per un controllo operativo del modello idrologico.

Ringraziamenti. Questo lavoro è stato finanziato nell'ambito del progetto ACQWA EU/FP7 (grant number 212250) "Assessing Climate impacts on the Quantity and quality of Water" e nell'ambito del progetto ACCA finanziato dalla Regione Lombardia in collaborazione con l'Università di Milano– Dipartimento di Idraulica Agraria, "Misura e modellazione matematica dei flussi di ACqua e CARbonio negli agro-ecosistemi a mais".

Bibliografia

1. Blöschl, G., Sivapalan, M., 1995. Scale issues in hydrological modelling: a review. *Hydrol. Processes*, 9 (3–4), 251- 290.
2. C. Corbari, Energy water balance and land surface temperature from satellite data for evapotranspiration control, PhD dissertation, Politecnico di Milano, Milan, Italy, 2010.
3. C. Corbari, D. Horeschi, G. Ravazzani, M. Mancini, Land surface temperature from remote sensing and from an energy water balance model for irrigation management, *Options Méditerranéennes, Series A (Mediterranean Seminars) 84*, CIHEAM, Bari, 2008, pp. 223-234
4. C. Corbari, G. Ravazzani, J. Martinelli, M. Mancini, Elevation based correction of snow coverage retrieved from satellite images to improve model calibration, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 13 (2009) 639–649 (www.hydrol-earth-syst-sci.net/13/639/2009).
5. Dooge, J.C.I.. Looking for hydrologic laws, *Water Resour Res*, 1986, 22(9) 46S-58S.
6. Engman, E.T. & Chauhan, N.. Status of microwave soil moisture measurements with remote sensing, *Remote Sens. Environ.*, 1995, 51, 189-198.
7. Famiglietti, J. S. & Wood, E. F. Multiscale modelling of spatially variable water and energy balance processes, *Water Resour. Res.*, 1994, 30, 3061-3078.
8. T. Foken, *Micrometeorology*, C.J. Nappo, Springer, Berlin, 2008.
9. Horeschi, D. Misure sperimentali per la determinazione del bilancio idrologico, PhD dissertation, Politecnico di Milano, Milan, Italy (in italian), 2008.
10. Jacobs, A.F.G., Heusinkveld, B.G. & Holtslag, A.A.M. Towards closing the energy surface budget of a mid-latitude grassland, *Boundary Layer Meteorol*, 2008, 126, 125-136.

11. Jiménez-Muñoz, J. C., Sobrino, J. A., 2007. Feasibility of retrieving land surface temperature from ASTER TIR bands using two-channel algorithms: a case study of agricultural areas. *IEEE Geoscience and remote sensing letters* 4 (1), 60-64.
12. Mancini, M. La modellazione distribuita della risposta idrologica: effetti della variabilità spaziale e della scala di rappresentazione del fenomeno dell'assorbimento, PhD dissertation, Politecnico di Milano; Milan, Italy (in italian), 1990.
13. Meyers, T.P. & Hollinger, S.E. An assessment of storage terms in the surface energy balance of maize and soybean, *Agr. Forest Meteorol.*, 2004, 125, 105-115.
14. Montaldo, N. & Albertson J. D. Temporal dynamics of soil moisture variability: 2. Implications for land surface models, *Water Resour. Res.*, 2003b, 39 (10), SWC 3-1: 3-13.
15. Nash, J. E., Sutcliffe, J. V., 1970. River flow forecasting through the conceptual models, Part 1: A discussion of principles, *J. Hydrol.* 10 (3) 282-290.
16. Noihlan, J. & Planton, S. A Simple parameterization of Land Surface Processes for Meteorological Models, *Mon. Wea. Rev.*, 1989, 117, 536-549.
17. Norman, J.M., Kustas, W. P. & Humes, K. S. Source approach for estimating soil and vegetation energy fluxes in observations of directional radiometric surface temperature, *Agr. Forest Meteorol.*, 1995, 77, 263-293.
18. Rabuffetti D. Ravazzani, G. Corbari, C. and Mancini, M. Verification of operational Quantitative Discharge Forecast (QDF) for a regional warning system - the AMPHORE case studies in the upper Po River, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 2008, 8, 1-13.
19. Ravazzani, G., Rabuffetti, D., Corbari, C. and Mancini, M. Validation of FEST-WB, a continuous water balance distributed model for flood simulation, *Proceedings of XXXI Italian Hydraulic and Hydraulic Construction Symposium*, Perugia, Italy, 2008.

Modelli indotte d

Divide De I
Pasquale Ve
Università de

Sommario

Il lega
memoria l'a
simulano le
gruppi princi

I primi
valori soglia
precipitazioni
scala di versa
falde e forma
pressioni inter

La men
modelli, foc
(Forecasting
SUSHI (Sat
entrambi reali

Il model
dato di input,
convoluzione
tipica per ogni
più flessibile r

Il modell
idrologico-idra
nel sottosuolo,
grado di stabili

Il moduk
un dominio sp
con differenti
Richards, espre

Nella me
effettuate utiliz



UNESCO International Hydrological Program
Italian Committee



Archivio di Stato di Roma



Associazione Italiana di Geografia Fisica
e Geomorfologia (AIGeo)



Associazione Italiana di Geologia
Applicata e Ambientale (AIGA)



Associazione Idrotecnica Italiana (AII)



Facoltà di Filosofia - Sapienza
Università di Roma



Facoltà di Filosofia - Sapienza Università
di Roma



Facoltà di Scienze MM.FF.NN.
Sapienza Università di Roma



Gruppo Italiano di Idraulica (GII)



International Association of
Hydrological Sciences (IAHS)



International Commission on Irrigation and
Drainage (ICID)
Italian Committee (ITAL-ICID)



International Union of Geodesy
and Geophysics (IUGG)



Honors Center
of Italian Universities

ISBN 978-88-95852-26-3



9 788895 852263