

IL PROGETTO DEMETER: TECNOLOGIE SPAZIALI PER L'ASSISTENZA ALL'IRRIGAZIONE

D'Urso G.¹, Marotta F.²

1. Dipartimento di Ingegneria Agraria e Agronomia del Territorio, Università di Napoli Federico II – via Università, 100 – 80055 Portici (NA), Tel +39 095 2339418, duroso@unina.it
2. Consorzio di Bonifica in Destra del Fiume Sele, C.so Vitt. Eman., Salerno

Riassunto

Il progetto DEMETER (DEMONSTRATION OF EARTH OBSERVATION TECHNOLOGIES IN ROUTINE IRRIGATION ADVISORY SERVICES), finanziato nell'ambito del V Programma Quadro per la Ricerca dalla Commissione Europea, è dedicato allo sviluppo di tecniche per l'impiego di informazioni ottenute da telerilevamento satellitare per la gestione delle risorse idriche in agricoltura. L'obiettivo specifico del progetto è quello di mettere a punto un prototipo pre-operativo basato sull'integrazione fra dati satellitari e tecnologie informatiche per fornire ai Consorzi ed alle aziende un servizio di assistenza all'irrigazione in tempo reale. Un complesso sistema informativo geografico, in cui convergono immagini satellitari ad alta risoluzione opportunamente interpretate e dati meteorologici raccolti a terra, provvede a calcolare i fabbisogni irrigui settimanali ed a distribuire l'informazione direttamente agli agricoltori sia in forma tabellare che grafica, attraverso protocolli di telefonia mobile di ultima generazione.

In questa nota, oltre ai concetti-guida alla base del progetto, vengono descritte le diverse fasi di messa a punto del prototipo, con riferimento alle campagne di misura a terra per l'area-test italiana, il Consorzio di Bonifica ed Irrigazione in Destra del Fiume Sele, in Campania.

Parole chiave: telerilevamento, evapotraspirazione, assistenza irrigua

Summary

The research project DEMETER (DEMONstration of Earth observation Technologies in Routine irrigation advisory services) has been financed by the U.E. within the V Framework Program and it is dedicated to the development of techniques for using space remote sensing data for improving water management in agriculture. The specific object of the project is the setting-up of a pre-operative prototype which integrates satellite data and information-technology to assist irrigation management in real-time. This service is not only addressed to Irrigation Advisory Boards, but also to district management and individual farmers. Meteorological ground-based data and map products derived from the analysis of satellite images are merged in a Geographic Information System, which provides to calculate the crop water requirements on a weekly basis for each farm. This GIS is interfaced to an Information Distribution Module, which is designed to deliver the irrigation advice information to the final users in both tabular and graphic form, by using last generation of mobile phones. In this paper, the main driving concepts and the experimental activities carried out in the Italian test-site are described.

Key words: remote sensing, evapotranspiration, irrigation assistance

1. INTRODUZIONE

Lo sviluppo di nuove tecnologie, in particolare il telerilevamento multispettrale da satellite, consente oggi la messa a punto di strumenti che possono fornire un utilissimo supporto alle decisioni nella gestione irrigua (F.A.O., 1995). L'evoluzione tecnologica dei sensori a bordo in trent'anni ha reso oggi commercialmente disponibili immagini satellitari in grado di rilevare dettagli di dimensione inferiore ad 1 metro.

Queste tecnologie oggi sono giunte ad un grado di maturazione ed affidabilità da essere trasferite con facilità agli utenti finali, fra cui in primis i gestori delle risorse territoriali nel comparto agricolo, con particolare riferimento ai soggetti coinvolti nella pianificazione e distribuzione delle risorse idriche.

In questo contesto, il progetto DEMETER (<http://www.demeter-ec.net>) è dedicato allo sviluppo di tecniche per l'impiego di informazioni ottenute da telerilevamento satellitare nei programmi di assistenza all'agricoltura irrigua. Il progetto rappresenta un esempio di trasferimento di risultati della ricerca, in particolare sulle tecniche di analisi di immagini satellitari per la stima dei fabbisogni irrigui, ad applicazioni operative in tempo reale. Gli algoritmi di base adottati in DEMETER sono stati sviluppati in anni recenti, anche presso il Dipartimento di Ingegneria Agraria ed Agronomia del Territorio dell'Università di Napoli (Bausch et al., 1987, 1995; D'Urso et al., 1995).

Dal punto di vista operativo, il progetto prevede la messa a punto uno strumento basato sull'integrazione fra dati satellitari e tecnologie informatiche per migliorare il livello di informazione di Consorzi e aziende agricole nella gestione dell'irrigazione. Un complesso sistema informativo geografico, in cui convergono immagini satellitari ad alta risoluzione opportunamente interpretate e dati meteorologici raccolti a terra, provvede a calcolare i *fabbisogni irrigui* settimanali. Questi dati, insieme alle immagini satellitari, vengono resi disponibili sia su Internet sia tramite MMS direttamente al conduttore dell'azienda, il quale riceve così un "consiglio irriguo" personalizzato in tempo reale.

Il progetto DEMETER viene sviluppato e testato in tre aree test nel Mediterraneo: il Consorzio di Bonifica in Destra del Fiume Sele, in Campania; l'area irrigua di Barrax, nella pianura della Castilla-La Mancha, in provincia di Albacete (Spagna); il comprensorio irriguo Caia, nel Portogallo meridionale. Nel corso della stagione irrigua 2004 sono state messe a punto e verificate le diverse procedure, con l'ausilio di campagne di misura; durante la stagione irrigua 2005, è prevista la fase dimostrativa in tempo reale.

2. MATERIALI E METODI

2.1. DESCRIZIONE DELL'AREA-TEST NEL CONSORZIO DI BONIFICA IN DESTRA DEL FIUME SELE (CAMPANIA).

L'area servita da rete irrigua nel Consorzio di Bonifica in Destra del Fiume Sele, la cui ubicazione geografica è riportata in Fig.1, ricopre oltre 15.000 ha; per oltre il 90% (13.800 ha) la risorsa idrica utilizzata per l'irrigazione è costituita dalle fluenze del Fiume Sele, con una portata media di $3,6 \text{ m}^3/\text{s}$, derivata dall'asta principale mediante un canale a pelo libero che si diparte dalla traversa di Persano. I rimanenti 1.200 ha sono irrigati con le acque del Fiume Tusciano ($0,7 \text{ m}^3/\text{s}$). Nell'intero Consorzio, circa 11.000 ha sono attualmente serviti da condotte in pressione, mentre l'ammodernamento della rimanente parte di rete ancora a pelo libero è in fase di completamento. Nella parte di Consorzio servita da reti in pressione, viene garantito l'esercizio alla domanda.

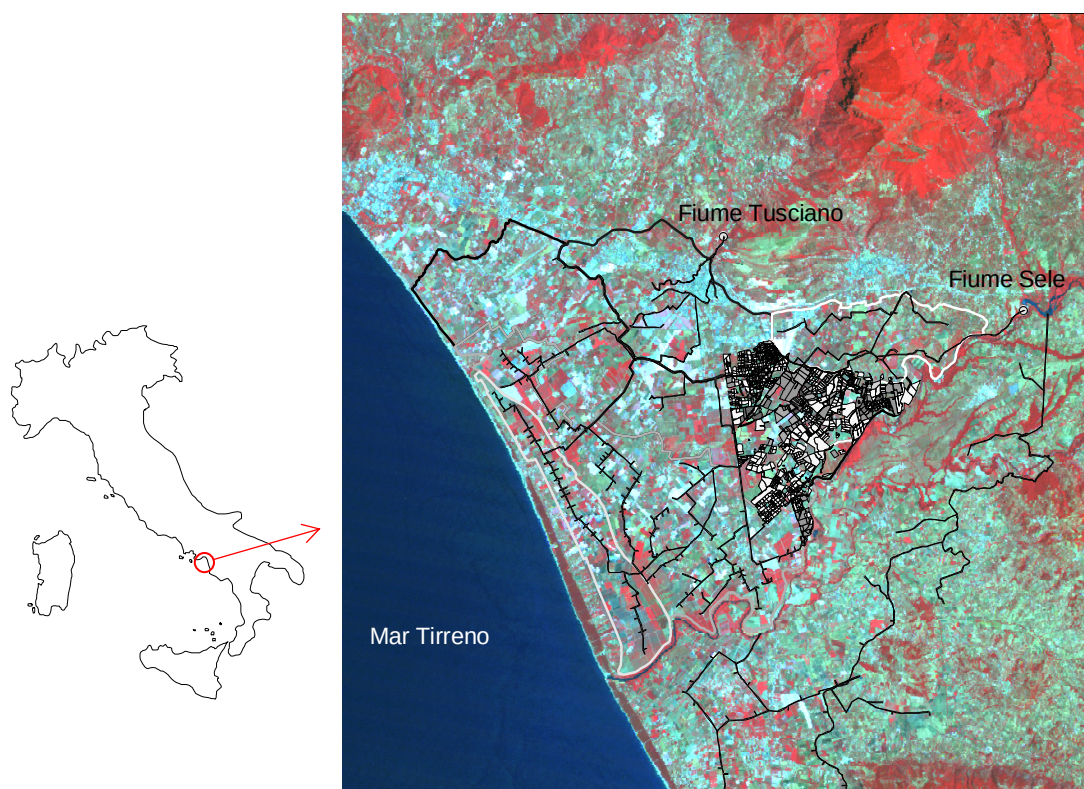


Fig. 1. Inquadratura geografica del Consorzio di Bonifica Destra Sele e dell'area-test per il progetto DEMETER (al centro). I limiti colorati indicano i diversi distretti irrigui del Consorzio. L'immagine a falsi colori visualizzata sullo sfondo è stata elaborata da dati del satellite Landsat 5, acquisiti il 18 giugno 2004 (risoluzione 30 m).



Fig.2 Ripresa del satellite QuickBird (risoluzione m. 2,80) con ubicazione dei siti di misura (cerchietti gialli) e della stazione meteo (cerchietto rosso).

L'area test scelta per l'implementazione del progetto DEMETER è rappresentata dal distretto "Boscariello", che, con un'estensione di circa 1800 ha, ricade interamente nel comune di Eboli (Fig.2). Sono presenti colture erbacee (mais, erba medica), arboree (pescheti) ed ortive, sia invernali che estive. Il distretto è servito da una stazione di sollevamento che preleva l'acqua dal canale principale di derivazione e la immette in pressione nella rete di distribuzione, garantendo alla consegna un carico piezometrico di almeno 4 bar. Tutti i gruppi di consegna sono dotati di elettrovalvola comandata da dispositivi programmabili, che, oltre a controllare l'apertura e la chiusura dell'idrante, consentono il monitoraggio dei volumi e dei tempi di erogazione di ciascun intervento irriguo.

2.2. ACQUISIZIONE DEI DATI DI CAMPO E DA SATELLITE

All'inizio del progetto DEMETER, è stata installata nell'area-test una stazione agrometeorologica, conforme allo standard della classe 1 del W.M.O. (World Meteorological Organisation), dotata di sensori di temperatura ed umidità dell'aria, velocità del vento e radiazione solare globale. I valori medi orari vengono acquisiti nella memoria di massa del sistema di acquisizione, che può essere interrogato a distanza tramite un protocollo di comunicazione basato su GSM. Durante le stagioni irrigue 2003 e 2004, sono state eseguite osservazioni e misure in 15 parcelle, individuabili in Fig.2, caratterizzate da diverse tipologie colturali. In ciascuna parcella, oltre ad annotare l'altezza della coltura e lo stadio fenologico, è stato misurato il valore dell'Indice di Area Fogliare, mediante l'analizzatore ottico-digitale Licor LAI-2000 (Welles et al., 1991).

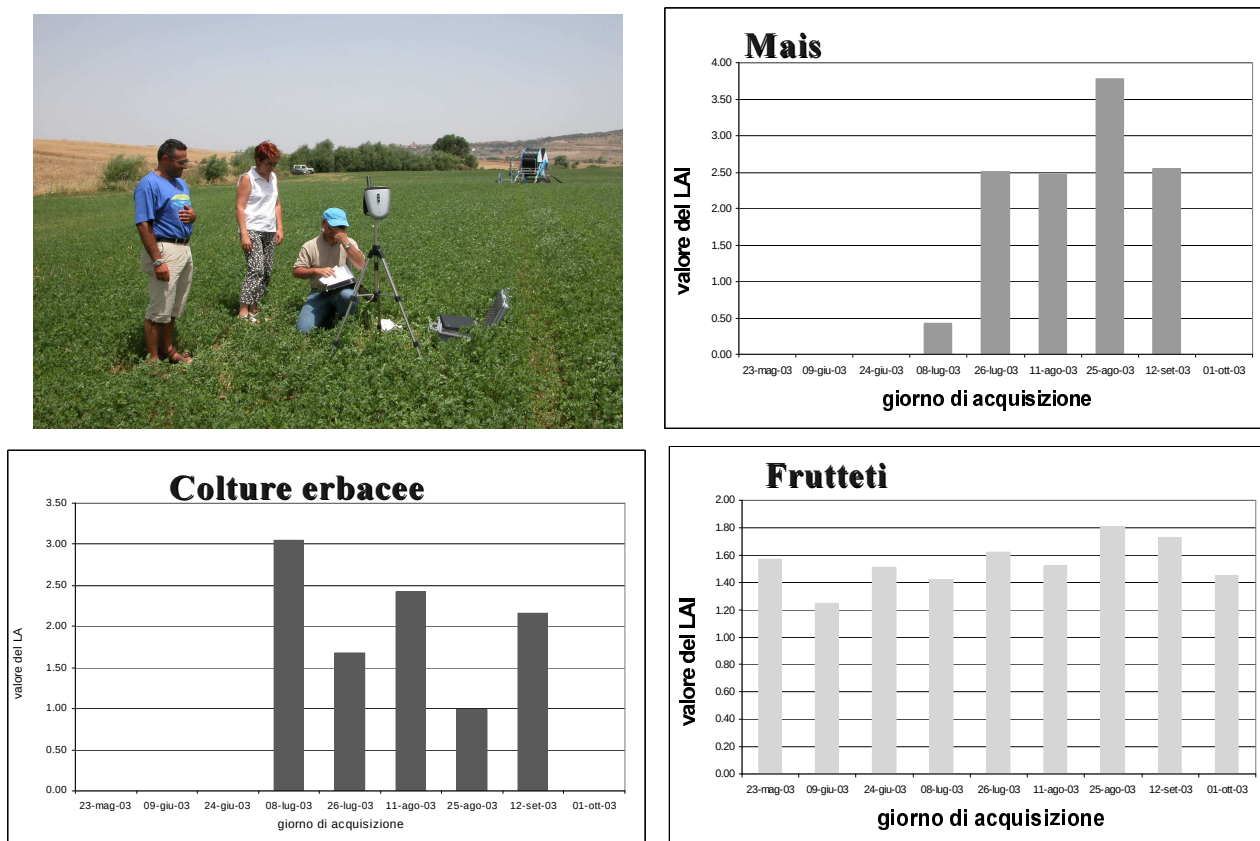


Fig.3 Acquisizioni nelle parcelle sperimentali e illustrazione dell'evoluzione temporale del LAI in alcune tipologie colturali durante la stagione irrigua 2003 nell'area-test "Boscariello".

In alcuni siti, inoltre, sono state effettuate misure radiometriche con uno spettroradiometro portatile, operante nel dominio solare da 400 a 1000 nm. In Fig.3, sono riportati, per alcuni gruppi principali di colture, i valori medi di Indice di Area Fogliare rilevati nel corso della stagione irrigua 2003. Si noti come sia stato possibile rilevare un ampio intervallo di variazione dei valori di LAI, in particolare per il mais e per le colture erbacee (erba medica). Le misure di campo sono state effettuate in coincidenza con le acquisizioni satellitari. La possibilità di disporre di diverse piattaforme orbitanti con sensori aventi caratteristiche spettrali simili ha consentito di sviluppare il concetto di “costellazione virtuale” di satelliti, grazie alla quale è possibile incrementare notevolmente il numero di acquisizioni possibili rispetto all’impiego di un’unica piattaforma orbitante, limitate sia per l’intervallo di tempo fra due passaggi consecutivi (in genere non inferiore a 15-16 giorni) sia per la presenza di copertura nuvolosa.

Nel caso del “Boscariello”, in considerazione dell’estensione media delle parcelle presenti nell’area, è stato fatto ricorso a sensori in grado di fornire una risoluzione spaziale di 30 m o migliore. Il calendario delle acquisizioni effettuate nelle stagioni irrigue 2003 e 2004, unitamente alla tipologia del sensore impiegato, è riportato in Tab.1. Di particolare interesse nel contesto applicativo del progetto, è l’impiego del satellite commerciale QuickBird (Digitalglobe, U.S.A.), il primo di una costellazione effettiva di satelliti uguali, caratterizzati da una risoluzione di m 2,8 in modo multispettrale (quattro bande nel visibile e nell’infrarosso prossimo) e quindi ideale per le applicazioni di *precision farming*.

Tab.1 Acquisizioni satellitari effettuate nel corso delle stagioni irrigue 2003 e 2004.

<i>Satellite</i>	<i>Sensore</i>	<i>Risoluz. (m)</i>	<i>Data</i>
IRS-1C	LISS	36	06/06/03
Landsat 5	TM	30	02/07/03
Landsat 5	TM	30	18/07/03
QuickBird	-	2.8	02/08/03
IRS-1C	LISS	36	17/08/03
Landsat 5	TM	30	04/09/03
TERRA	Aster	15	12/09/03
TERRA	Aster	15	25/05/04
Landsat 5	TM	30	18/06/04
Landsat 5	TM	30	20/07/04
TERRA	Aster	15	28/07/04
Landsat 5	TM	30	12/09/04
TERRA	Aster	15	23/09/04

Le caratteristiche spettrali di tutti i sensori presi in considerazione nell’elenco di Tab.1 consentono il calcolo di *indici di vegetazione*, i quali rappresentano il primo livello d’informazione utilizzato per la stima dei fabbisogni irrigui. In DEMETER, vengono utilizzati due indici, calcolati dai valori di riflettanza ρ_r e ρ_{ir} rispettivamente nelle bande del rosso (600-700 nm) e dell’infrarosso prossimo (750-850 nm):

$$- \text{NDVI (Normalised Difference Vegetation Index): } NDVI = \frac{\rho_r - \rho_{ir}}{\rho_r + \rho_{ir}} \quad (1')$$

– **WDVI** (Weighted Difference Vegetation Index): $WDVI = \rho_{ir} - \rho_r \frac{\rho_{s\,ir}}{\rho_{s\,r}}$ (1'')

Nella definizione del **WDVI** sopra riportata compare la riflettanza del suolo ρ_s negli intervalli spettrali specificati. Il legame diretto fra il valore di questi indici ed il grado di sviluppo della vegetazione è stato dimostrato con numerosi studi condotti sia con strumentazioni in pieno campo che da piattaforme aeree e spaziali (Baret et al., 1991; Price, 1992; Schultz ed Engman, 2000). Le misure di campo condotte nell'ambito del progetto DEMETER hanno confermato l'esistenza di questo legame, come illustrato in Fig.4, ed hanno consentito l'individuazione di relazioni analitiche fra i parametri biofisici caratteristici della vegetazione ed i corrispondenti valori degli indici spettrali.

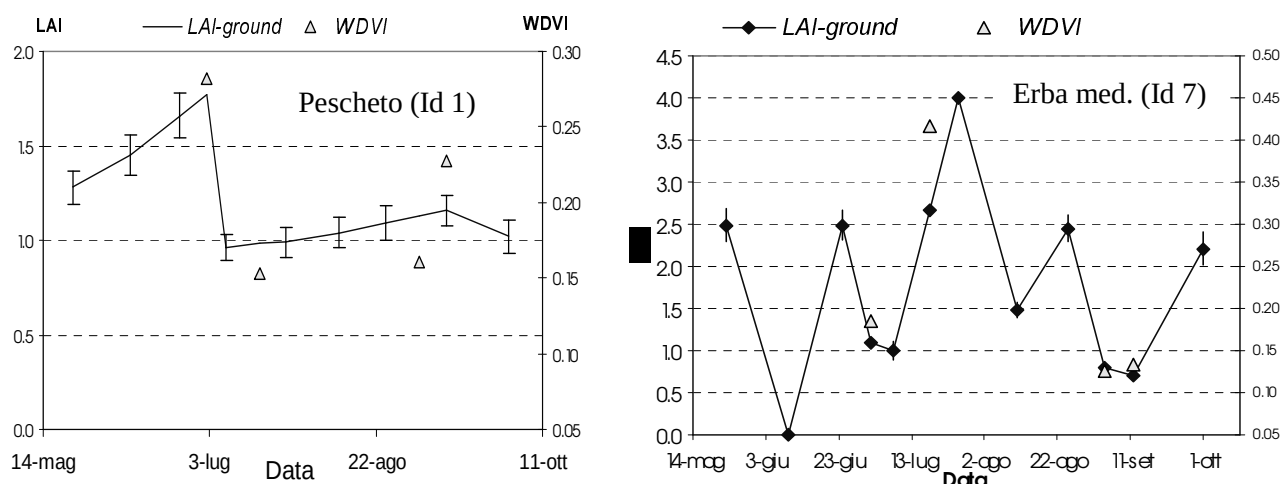


Fig.4 Evoluzione temporale dell'Indice di Area Fogliare LAI e dell'indice di vegetazione WDVI rilevato da satellite in due siti di misura nell'area-test "Boscariello".

2.3. PROCEDURE PER LA STIMA DEI FABBISOGNI IRRIGUI

L'approccio impiegato in questo studio, basato sull'analisi di immagini multispettrali ad alta risoluzione, è finalizzato alla mappatura del coefficiente colturale K_c , definito come il rapporto fra l'evapotraspirazione *potenziale* di una specifica coltura ET_p ed il valore dell'evapotraspirazione di riferimento ET_0 (Jensen et al., 1990; F.A.O, 1998). Questo rapporto è in larga misura determinato dallo sviluppo e della geometria dell'apparato fogliare della coltura interessata.

Ai fini del calcolo del coefficiente colturale, in DEMETER sono stati adottati due differenti approcci:

- regressione diretta fra il valore di K_c e quello del corrispondente $NDVI$ (metodo K_c - $NDVI$);
- calcolo analitico a partire dai parametri della coltura (metodo K_c -analitico).

Il primo metodo è stato applicato inizialmente da Bausch (1987; 1985) utilizzando misure radiometriche di campo a colture di mais; l'impiego con dati da satellite è stato sperimentato largamente in studi di carattere irriguo condotti nella pianura della Castilla-La Mancha, ove è ubicato la seconda area-test del progetto DEMETER. Il metodo si basa sul confronto fra le stime del valore del K_c in campo ed i valori di $NDVI$, questi ultimi ricavati dalle immagini satellitari; mediante tecniche regressive, viene così individuata una relazione lineare fra le due serie di dati. La stima del valore del K_c , in questo caso, è legata all'osservazione della tipologia colturale, del suo stadio fenologico e dello sviluppo

vegetativo.

Il secondo metodo, basato sulla definizione dell'evapotraspirazione potenziale proposta da Monteith (1990) ed adottata in ambito F.A.O. (1998), richiede la stima dei parametri caratteristici della coltura, quali l'albedo, r , l'indice di area fogliare, LAI ed l'altezza del manto vegetale, h_c . Queste stime vengono effettuate secondo procedure semi-empiriche, ricorrendo all'ausilio di dati di calibrazione a terra (Menenti, 1984; Hatfield et al., 1985; Kimes et al., 1987; Clevers, 1989; Moran, 1994). La messa a punto del metodo e la sua applicazione con dati da satellite sono state sviluppate nel corso di ricerche svolte presso il Dipartimento di Ingegneria Agraria ed Agronomia dell'Università di Napoli Federico II (D'Urso et., 1995; 2001). Successivamente, il metodo è stato applicato in diverse realtà irrigue e con tipologie colturali differenti. Per una descrizione più dettagliata del metodo, si rimanda alla letteratura citata o alla memoria di Barbagallo et al. (2005), che si riferisce ad un'applicazione a superfici agrumetate.

Con riferimento alle colture erbacee, il metodo del K_c analitico è stato verificato confrontando i risultati dei calcoli secondo la procedura proposta e le misure di ET effettuate con un sistema Bowen su un prato di erba medica irrigato in maniera ottimale (Fig.5). Rispetto al metodo K_c - $NDVI$, l'approccio analitico presenta una maggiore onerosità computazionale, ma in compenso consente una sua verifica oggettiva attraverso il controllo di parametri misurabili, come ad esempio il LAI . Di converso, il metodo K_c - $NDVI$ è legato invece ad un certo grado di soggettività nell'attribuzione dei valori di coefficiente colturale in base ad osservazioni di tipo agronomico.

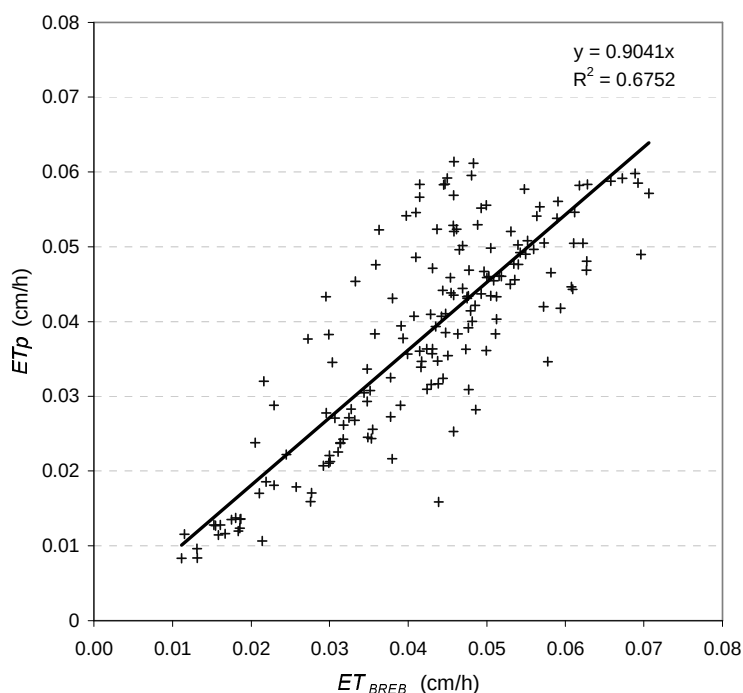


Fig.5 Confronto fra la stima di ETp con il metodo del K_c analitico e la misura effettuata con un sistema Bowen su un prato di erba medica irrigato in maniera ottimale, loc. Seliano, Piana del Fiume Sele, anno 2000.

Il pre-trattamento delle immagini satellitari prevede sia la correzione radiometrica (per rimuovere l'effetto causato dai fenomeni di adsorbimento e diffusione da parte

dell'atmosfera) che quella geometrica, necessaria per la manipolazione in ambito GIS. Per entrambi i livelli di elaborazione, sono state messe a punto procedure semi-automatiche. Le elaborazioni successive per il calcolo dei coefficienti colturali e dei fabbisogni irrigui prevedono il trattamento dei dati sia in formato "raster" che vettoriale.

Le mappe di ET_p in formato "raster" ottenute dall'elaborazione delle immagini satellitari costituiscono il primo livello d'informazione inserito nel GIS; gli altri dati utilizzati dal sistema riguardano la distribuzione spaziale e temporale delle precipitazioni e le informazioni riguardanti le caratteristiche delle diverse aziende, in merito alla superficie catastale, alle colture presenti, ai metodi irrigui impiegati e la portata al punto di consegna. Questi diversi livelli informativi vengono utilizzati per il calcolo dei fabbisogni irrigui per ogni parcella catastale. I risultati delle elaborazioni, dopo una verifica speditivi del livello di qualità, vengono trasferiti all'"Information Distribution Module" che provvede al trasferimento delle informazioni agli utenti finali tramite mezzi di "Information Technology" via web e reti GSM-UMTS. Il flusso delle informazioni prodotte è schematicamente riportato nelle Fig. 6 e 7.

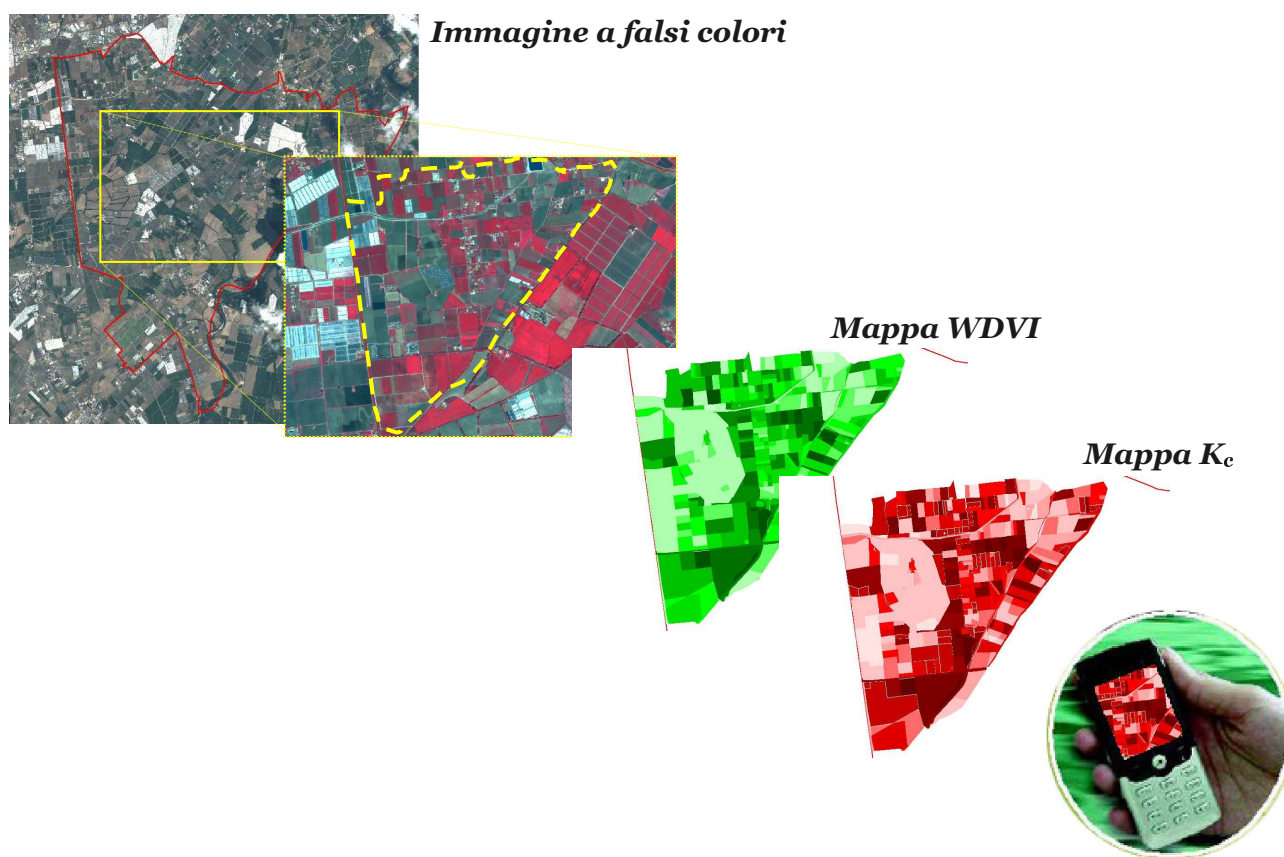


Fig.6 Fasi successive nella elaborazione delle immagini multispettrali

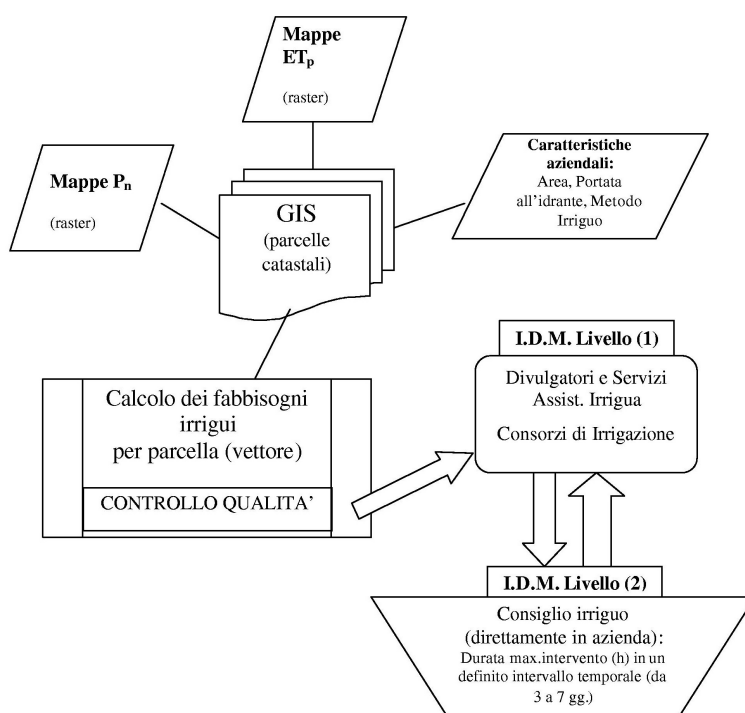


Fig.7 Schema del flusso delle informazioni prodotte in DEMETER.

2.4. DISTRIBUZIONE DELL'INFORMAZIONE AGLI UTENTI

L'impiego di procedure semi-automatiche consente di effettuare sulle immagini satellitari tutte le elaborazioni richieste per il calcolo dei fabbisogni irrigui in ciascuna parcella in maniera molto speditiva. E' infatti possibile distribuire l'informazione finale agli utenti entro 24-36 ore dall'acquisizione satellitare, grazie all'impiego di opportuni protocolli di trasferimento dei dati e di comunicazione cellulare.

Come illustrato sinteticamente in Fig.7, la distribuzione dell'informazione è divisa in un primo livello, basato su Web, destinato principalmente ai servizi di assistenza irrigua ed ai Consorzi. Attraverso un'interfaccia di agevole impiego, è possibile interrogare il data-base presente nel GIS e visualizzare i risultati delle elaborazioni. Il secondo livello prevede la distribuzione di un'informazione personalizzata direttamente agli agricoltori tramite messaggi di testo e grafica, contenenti il valore del fabbisogno irriguo consigliato (in m³) per ciascuna parcella ed la durata d'intervento corrispondente alle caratteristiche di portata del gruppo di consegna per la parcella considerata (Fig.8). Questo secondo livello di distribuzione prevede la possibilità da parte dell'agricoltore di interagire in maniera limitata con il sistema introducendo, ad esempio, il volume irriguo effettivamente applicato.

Nel corso della stagione irrigua 2005 verrà effettuata una dimostrazione del prototipo DEMETER in tempo reale, a cui seguirà una fase di valutazione che prevede il diretto coinvolgimento degli agricoltori e dei tecnici del Consorzio.



Fig.8 Terminale di nuova generazione per la distribuzione dei consigli irrigui forniti dal prototipo DEMETER agli agricoltori.

3. CONSIDERAZIONI FINALI

Il progetto DEMETER rappresenta un notevole salto di qualità nel livello d'informazione oggi disponibile per l'assistenza irrigua. Le tecniche di Osservazione della Terra, oggi sempre più facilmente disponibili, ed i nuovi strumenti della tecnologia della comunicazione consentono di fornire un consiglio irriguo legato ad una valutazione quantitativa dell'effettivo sviluppo colturale, in linea con le indicazioni metodologiche fornite anche in ambito F.A.O.

Il prototipo sviluppato in DEMETER presenta aspetti di notevole innovazione rispetto alle caratteristiche tradizionali dei servizi di assistenza irrigua. In primis, l'inserimento di tecniche di Osservazione della Terra nell'operatività giornaliera di assistenza all'irrigazione apre l'accesso ad una dimensione territoriale del servizio, poiché il monitoraggio è svolto su tutta l'area del comprensorio, oltre che nelle singole aziende. Inoltre, è possibile distribuire informazioni personalizzate alle aziende, non soltanto legate ai fabbisogni irrigui ed alla programmazione degli interventi, ma anche di valutare, attraverso l'osservazione delle mappe di indice di vegetazione, l'effettiva uniformità di distribuzione su parcelle di adeguate dimensioni. L'informazione può poi essere completata con indicazioni sull'andamento meteorologico e fornendo consigli di tipo agronomico.

Nel contesto dei Consorzi irrigui dell'Italia meridionale, il prototipo sviluppato in DEMETER rappresenta un utilissimo completamento nei sistemi di distribuzione ove sia adottato il controllo tramite schede programmabili dei prelievi ai punti di consegna. E' così possibile confrontare i volumi irrigui applicati con le stime dei fabbisogni irrigui stimati da satellite e procedere con un'analisi dell'efficienza irrigua a scala aziendale. In questo senso, i dati rilevati nel corso delle stagioni irrigue 2004 e 2005 nell'area-test del Consorzio Destra Sele potranno fornire indicazioni di estrema utilità per migliorare le modalità di gestione irrigua, sia a livello tecnico che amministrativo.

Bibliografia

- Barbagallo S., Consoli S., D'Urso G., Toscano A., (2005). *L'utilizzo di tecniche di telerilevamento per la stima di indici di vegetazione e dei flussi di evapotraspirazione da agrumeti*. Lavoro 9029, Atti VIII Convegno Nazionale Ass. Ital. Ingegneria Agraria, Catania
- Baret F., Guyot G., 1991. *Potential and limits of vegetation indices from LAI and APAR assessment*. Remote Sens. Environm., 35: 161-173
- Bausch W.C., Neale C.M.U., 1987. *Crop coefficients derived from reflected canopy radiation: a concept*. Transactions American Soc. Agric. Engin., 30, 3, 703-709
- Bausch W.C., 1995. *Remote sensing of crop coefficients for improving the irrigation scheduling of corn*. Agric. Water Manag., 27: 55-68
- Clevers J.G.P.W., 1989. *The application of a weighted infrared-red vegetation index for estimating leaf area index by correcting for soil moisture*. Remote Sens. Environm., 29: 25-37
- D'Urso G., Menenti M., 1995. *Mapping crop coefficients in irrigated areas from Landsat TM images*. Proceed. European Symposium on Satellite Remote Sensing II, Europto, Paris, sett.'95; SPIE, Intern. Soc. Optical Engineering, Bellingham (U.S.A.); Vol.2585: 41-47
- D'Urso G., 2001. *Simulation and management of on-demand irrigation systems: a combined agrohydrological and remote sensing approach*. Monography, Wageningen University; ISBN 90-5808-399-3; 174 pp.
- FAO, 1995. *Use of remote sensing techniques in irrigation and drainage*. Proceed. Expert Consultation FAO-Cemagref, Montpellier, Nov. 1993; Food and Agriculture Organism., Water Report nr.4; 201 pp.
- FAO, 1998. *Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements*. Irrigation and drainage Paper nr.56, Food and Agriculture Organism., Rome
- Hatfield J.L., Kanemasu E.T., Asrar G., Jackson R.D., Pinter P.J., Reginato R.J., Idso S.B., 1985. *Leaf Area estimates from spectral measurements over various planting dates of wheat*. Int. J. Rem. Sens., 6 (1): 167-175
- Jensen M.E., Burman R.D., Allen R.G. *Evapotranspiration and irrigation water requirements*. ASCE Manual no.701, 1990
- Kimes D.S., Sellers P.J., Diner D.J., 1987. *Extraction of spectral hemispherical reflectance (albedo) of surfaces from nadir and directional data*. Int. J. Rem. Sens., 8 (12): 1727-1746
- Menenti M., 1984. *Physical aspects and determination of evaporation in desert applying remote sensing techniques*. ICW Report nr.10 (Special issue)
- Monteith J.L., Unsworth M.H., 1990. *Principles of Environmental Physics*. E.Arnold Ed., London, pp.290
- Moran M.S., 1994. *Irrigation management in Arizona using satellites and airplanes*. Irrigation Science, 15 (1): 35-44
- Price J.C., 1992. *Estimating Leaf Area Index from remotely sensed data*. Proc. IGARSS '92 (Houston), vol.1, 1500-1502
- Schultz G.A., Engman E.T. (Eds.), 2000. *Remote Sensing in Hydrology and Water Management*. Springer-Verlag Inc., New York, U.S.A., 473 pp.
- Welles J.M., Norman J.M., 1991. *Instrument for indirect measurement of canopy architecture*. Agronomy J., 83: 818-825