

## Controllo delle aree irrigate nei Consorzi di Bonifica mediante analisi multi-temporale di dati Sentinel-2.

Salvatore Falanga Bolognesi<sup>(a)</sup>, Oscar Rosario Belfiore<sup>(b)</sup>, Carlo De Michele<sup>(b)</sup>,  
Camillo Mastracchio<sup>(c)</sup>, Antonio Ferraiuolo<sup>(c)</sup>,  
Massimo Natalizio<sup>(d)</sup>, Guido D'Urso<sup>(a)</sup>

<sup>(a)</sup> Dipartimento di Agraria, Università degli studi di Napoli Federico II, via Università 100,  
80055, Italia, tel: +39 081 25 39 418,  
*e-mail*: salvatore.falanga@ariespace.com; durso@unina.it

<sup>(b)</sup> Ariespace S.r.l. Spin off Company Università degli studi di Napoli Federico II, Centro  
Direzionale IS. A3, 80143 Napoli, Italia, tel+39 08119 56 42 82, fax +39 081 19 56 42 23,  
*e-mail*: oscar.belfiore@ariespace.com; carlo.demichela@ariespace.com;  
ileana.mula@ariespace.com.

<sup>(c)</sup> Consorzio Generale di Bonifica del Bacino Inferiore del Volturno, via Roma 80, 81100,  
Italia, tel: +39 0823 27 83 11, *e-mail*: camillo.mastracchio@consbiv.it;  
antonio.ferraiuolo@consbiv.it.

<sup>(d)</sup> Consorzio di Bonifica del Sannio Alifano, Viale delle Libertà, 61, 81016, Italia,  
tel: +39 0823 911446, *e-mail*: direzionegenerale@sannioalifano.it

**Parole chiave:** Analisi multi-temporale, Classificazione ad oggetti, Irrigazione, Sentinel-2.

### Abstract

I Consorzi di Bonifica ed Irrigazione gestiscono impianti collettivi per fornire l'acqua per l'irrigazione. Il calcolo del ruolo irriguo si basa, in mancanza di misure dirette, su una dichiarazione prodotta da ciascuna azienda agricola in cui sono riportate, per ciascuna particella catastale, le superfici irrigate e le relative dotazioni per ettaro. L'esame della veridicità di tali dichiarazioni rappresenta un'operazione dispendiosa effettuata mediante ispezioni a campione. Tale controllo può essere effettuato utilizzando i dati satellitari per mappare le aree irrigate e i relativi volumi irrigui le ispezioni a pochi casi dubbi. In questo lavoro viene riportata l'esperienza relativa alla stagione irrigua 2016 nei due comprensori irrigui della Regione Campania: il Consorzio del Sannio Alifano (attività finanziata dal programma EU H2020 – progetto: DIANA G.A. 730109) ed il Consorzio di Bonifica del Volturno Inferiore. La metodologia utilizzata sfrutta le potenzialità del nuovo satellite multispettrale Sentinel-2 (S2) in combinazione con dati agro-meteorologici di rianalisi ERA-Interim. Dopo la fase di *pre-processing*, sono derivate mappe di indici e parametri biofisici della vegetazione (NDVI, LAI e albedo). L'individuazione delle aree irrigate è stata eseguita mediante una segmentazione ed una classificazione multi-temporale ad oggetti, interpretando i tipici trend di sviluppo delle colture irrigate. Le mappe sono state validate utilizzando immagini ad altissima risoluzione (Google Earth) e un set di verità a terra acquisite con rilievi in campo. Infine, i fabbisogni irrigui sono stati determinati calcolando l'evapotraspirazione potenziale (ETp) con la procedura FAO56, in cui i parametri culturali sono derivati da satellite (metodologia IRRISAT). Attraverso un applicativo Web-GIS dedicato vengono restituite, per ciascuna particella catastale, le percentuali di superficie coperta da colture irrigue

erbacee, irrigue arboree e suolo nudo e i rispettivi volumi di adacquamento per le principali colture praticate: mais, pomodoro, erba medica e alberi da frutto.

## **1. Introduzione**

L'individuazione ed il monitoraggio delle irrigazioni e del prelievo non autorizzato di acqua a scopo irriguo risulta ancora un'attività impegnativa per gli enti gestori delle risorse idriche. La qualificazione dell'irrigazione come "non autorizzata" implica l'accesso a un database dei diritti al prelievo d'acqua dei singoli utenti e di informazioni indipendenti e georiferite per verificare, attraverso il controllo incrociato, la loro conformità. Di solito il monitoraggio e l'individuazione delle aree irrigate viene effettuato mediante ispezioni in loco e/o registrazioni del contatore dell'acqua, quando disponibili. In assenza di misuratori o in caso di malfunzionamenti, i volumi irrigui sono stimati indirettamente sulla base delle colture dichiarate dagli agricoltori all'inizio della stagione irrigua e di una tabella del fabbisogno irriguo medio per coltura. In genere si distinguono due tipi di "non conformità": l'irrigazione avviene senza autorizzazione oppure, in presenza di autorizzazione il consumo di acqua a scopo irriguo supera il volume consentito. In tale ambito i dati di Osservazione della Terra (OT) offrono un valido strumento di supporto in quanto dalle variazioni stagionali di parametri biofisici (es. Indice di aria fogliare, LAI) o di indici di vegetazione (es. Normalized Difference Vegetation Index, NDVI), consentono di stimare le aree potenzialmente irrigate ed il relativo fabbisogno irriguo. L'individuazione delle aree irrigate richiede un'analisi multi-temporale di dati di OT e si basa sul presupposto che in ambienti aridi e semi aridi, come le aree Mediterranee, l'andamento della crescita vegetativa è compatibile solo con l'irrigazione. La metodologia descritta beneficia di migliorate funzionalità operata in termini di risoluzione spettrale, spaziale e temporale dalla nuova costellazione di satelliti Sentinel-2 (S2).

## **2. Materiali e metodi**

### **2.1 Area di studio**

Le aree oggetto di studio riguardano i Consorzi di Bonifica del Sannio Alifano e del Volturno. Entrambi situati nell'Italia meridionale, il primo ha una superficie irrigabile di circa 19.000 ettari ed è suddiviso in due distretti - Sannio Alifano e Valle Telesina -, caratterizzati da particelle colturali con dimensione media di 2 ettari destinate principalmente a mais, erba medica, alberi da frutto e ortaggi durante la stagione irrigua (da maggio a settembre). Il secondo ha una superficie irrigabile di circa 12.000 ettari ed è suddiviso in tre distretti: Destra Volturno, Sinistra e Destra Regi Lagni. Nel 2013, il Consorzio ha istituito un sistema di informazioni geografiche in supporto alla gestione dell'irrigazione. Il sistema, realizzato dallo Spin Off Accademico della Federico II Ariespace srl, consultabile e aggiornato via web, consente al Consorzio di integrare le informazioni relative alle aree irrigate (limiti catastali e dei distretti irrigui, reti di distribuzione) con dati forniti dagli agricoltori sulle colture presenti, la data di semina e di raccolta, il metodo irriguo, etc.

### **2.2 Dati satellitari**

Il presente lavoro si basata sull'utilizzo dei dati del sensore multispettrale (MSI) a bordo del satellite Sentinel 2A (S2A), che ha una *swath* di circa 290 km ed

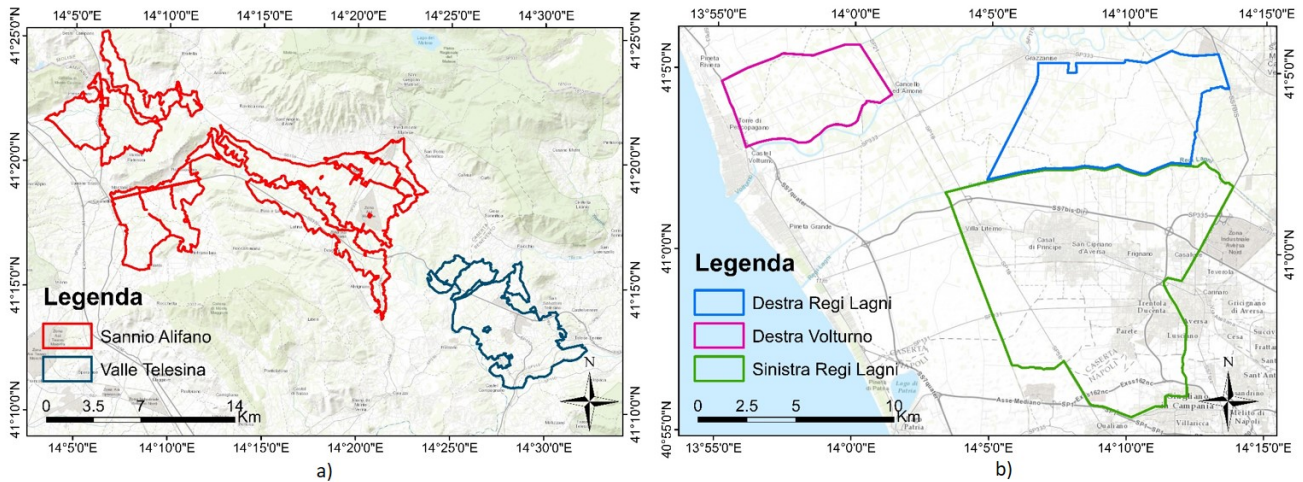


Figura 1 –Distretti di irrigazione dei Consorzi di Bonifica Sannio Alifano (a) e del Volturno (b).

acquisisce in 13 bande spettrali (nel range 443-2219 nm) (Figura 2) con risoluzione radiometrica di 12 bit e risoluzione spaziale di 10, 20 e 60 m.

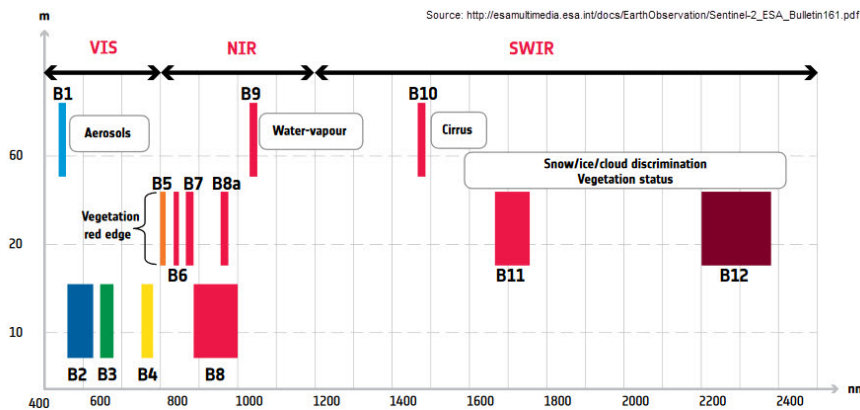


Figura 2 – Sentinel-2- Risoluzione spaziale rispetto alla lunghezza d'onda.

Per l'individuazione delle aree irrigate durante l'anno 2016 sono state processate diciotto acquisizioni S2A aventi una copertura nuvolosa inferiore al 20%.

### 2.2.1 Correzione atmosferica

Per le applicazioni di OT basate sull'approccio multi temporale è indispensabile una calibrazione dei dati satellitari in riflettanza superficiale. I dati sono stati convertiti dal prodotto 1C (ToA-Top of Atmosphere reflectance) al prodotto 2A (BoA - Bottom of Atmosphere reflectance) mediante il processore Sen2Cor Versione 2.3.1.

### 2.2.2 Smoothing e gap filling

Una corretta interpretazione degli andamenti multi temporali di indici e di parametri biofisici richiede dati privi di nuvole, coerenti e continui. Si è operato uno *smoothing* ed un *gap-filling* mediante il pacchetto MODIS (R-Project).

### 2.3 Dati agrometeorologici

Per il calcolo dell'evapotraspirazione potenziale e del fabbisogno irriguo sono state considerate le variabili climatiche del Centro europeo per le previsioni a medio termine (ECMWF) ERA-Interim. Le dette grandezze climatiche sono state aggregate a scala giornaliera, nel periodo giugno-settembre 2016, a partire dai valori in corrispondenza dei campi di analisi 00:00, 06:00, 12:00, 18:00 UTC e dei campi di previsione a 0h, 3h e 12h.

### 2.4 Calcolo del fabbisogno irriguo

L'evapotraspirazione potenziale (ETp) è stata stimata mediante l'approccio proposto da D'Urso *et al.*, (2010) dove i parametri colturali utilizzati nell'equazione FAO-56 Penman-Monteith sono costituiti dalle mappe di LAI ed albedo derivate da satellite. Il Fabbisogno irriguo è stato calcolato sulla base dall'ETp e della precipitazione netta, ridotta in funzione del LAI a partire dalla precipitazione totale.

## 2.5 Classificazione delle aree irrigate

### 2.5.1 Segmentazione e classificazione orientata ad oggetti

Requisito fondamentale per la fruibilità di dati di OT in agricoltura è la corretta delimitazione delle parcelle agricole. In tal senso, svolgono un ruolo chiave le immagini satellitari ad alta risoluzione processate con specifici algoritmi di *machine-learning*. Nel presente lavoro per stimare le aree irrigate è stato applicato il processo di segmentazione mediante l'algoritmo *Large scale Mean Shift Segmentation* (LSMS) (Comaniciu *et al.*, 2002) utilizzando le quattro bande S2A a 10 m. L'algoritmo LSMS opera mediante tre parametri: *Spatial Radius*  $h_s$  (distanza spaziale tra classi), *Range Radius*  $h_r$  (differenza spettrale tra classi), *Minimum Size*  $m_s$  (criterio di fusione), definiti in questo lavoro mediante un approccio di tipo *trial-and-error*. L'output finale è un file vettoriale che contiene i poligoni dell'immagine segmentata, caratterizzato da media e varianza dell'indice NDVI per ogni data della serie temporale considerata, utilizzati successivamente per eseguire una classificazione non supervisionata ad oggetti con un algoritmo di *clustering*, ad esempio *K-means* (Hartigan & Wong, 1979), mediante il pacchetto K-Means clustering disponibile in software R (R Stats Package).

### 2.5.2 Ricodifica dei pattern di NDVI in chiave irrigua/non irrigua

Per determinare il numero ottimale di cluster è stato utilizzato il metodo Elbow (RPubs) (Story & Congalton, 2013). Tale metodo consente di eseguire il *clustering* mediante k-means sul set di dati per un intervallo di valori di k (nel nostro caso k da 1 a 100) calcolando per ogni valore di questi la somma dei quadrati degli errori quadrati (SSE). L'obiettivo è stabilire un equilibrio tra k ed SSE, condizione che si verifica in corrispondenza del "gomito" della curva decrescente nel piano (k;SSE). Nella fase successiva vengono analizzate, per ciascuna classe K-means, gli andamenti temporali di media e deviazione standard (Figura 3) oltre che delle precipitazioni, allo scopo di associare i cluster simili alle classi potenzialmente irrigue o non irrigue.

### 3 Risultati

#### 3.1 Stima delle aree irrigate

La metodologia è stata applicata per mappare le aree irrigate per ciascun distretto del Consorzio del Sannio Alifano e del Volturno (Figura 4). Seguendo l'approccio Elbow il numero ottimale di cluster è stato fissato a 70, mentre 100 è il numero massimo di classi e di iterazioni. Gli andamenti in termini di NDVI (valori medi e deviazioni standard) sono stati ricodificati in quattro classi (Suolo nudo, vegetazione naturale ed irriguo erbaceo ed arboreo) per il Consorzio del Sannio Alifano e in sei classi (Suolo nudo, vegetazione naturale ed irriguo erbaceo ed arboreo, serra stabile e serra mobile con alternanza di Irriguo erbaceo e suolo nudo) per il Consorzio del Volturno.

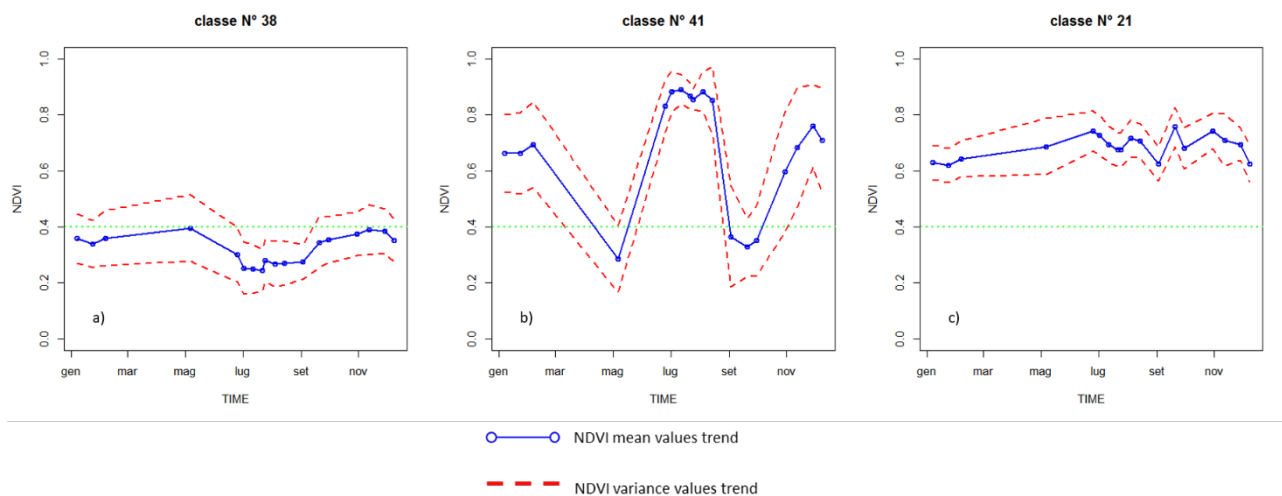


Figura 3- Esempi di andamento multi-temporale dell'indice NDVI: a) aree non irrigate, b) aree irrigate, c) aree con coltura permanente irrigata.

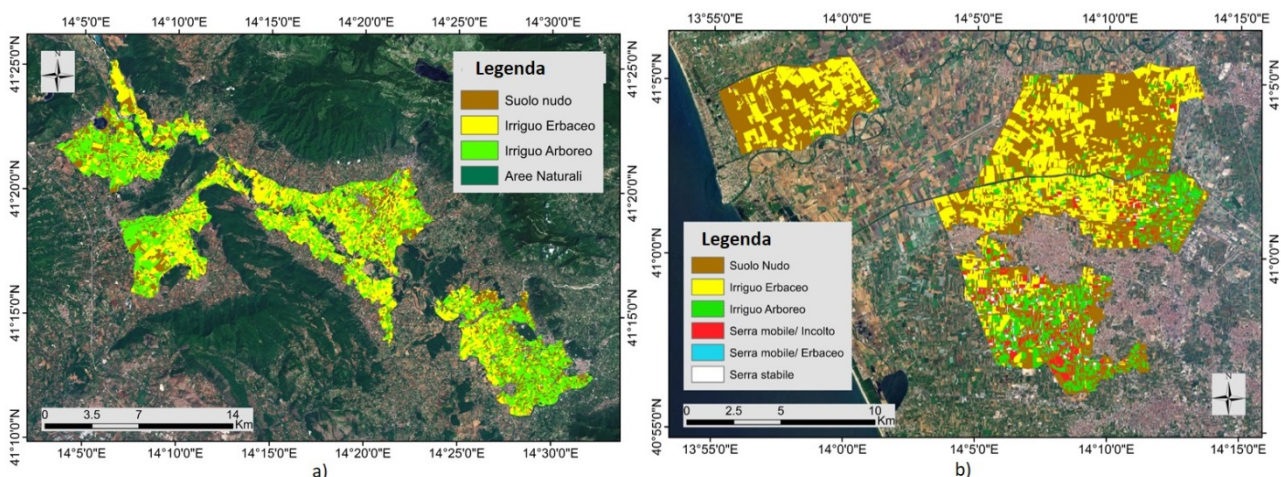


Figura 4 - Mappa delle aree irrigate dei Consorzi di Bonifica Sannio Alifano (a) e del Volturno (b).

I risultati mostrano che per la stagione irrigua 2016, l'area irrigata totale per il Consorzio del Sannio Alifano e per il Consorzio del Volturno è rispettivamente pari a 14.020 ha (37% colture erbacee –mais ed erba medica-, 42% colture arboree – vigneti e nocchie) e 7161 ettari (32% colture erbacee –mais ed erba medica, 12% colture arboree – frutteti) (Figura 5) (Tabella 1).

Per definire l'accuratezza tematica delle classificazioni è stata utilizzata la matrice di errore, per la stima della *Producer's Accuracy* (PA), *User's Accuracy* (UA) e *Overall Accuracy* (OA) (Story & Congalton, 1986; Congalton & Green, 2009) – considerando per ciascuna area di studio 100 pixel distribuiti in maniera random. Tali punti sono stati interpretati visivamente utilizzando l'andamento dell'indice NDVI, immagini in falso colore S2A ed immagini ad alta risoluzione di Google Earth. La OA è risultata pari al 75% per la classificazione relativa al Consorzio di Bonifica del Sannio Alifano e pari al 76% nel caso del Consorzio di Bonifica del Volturno.

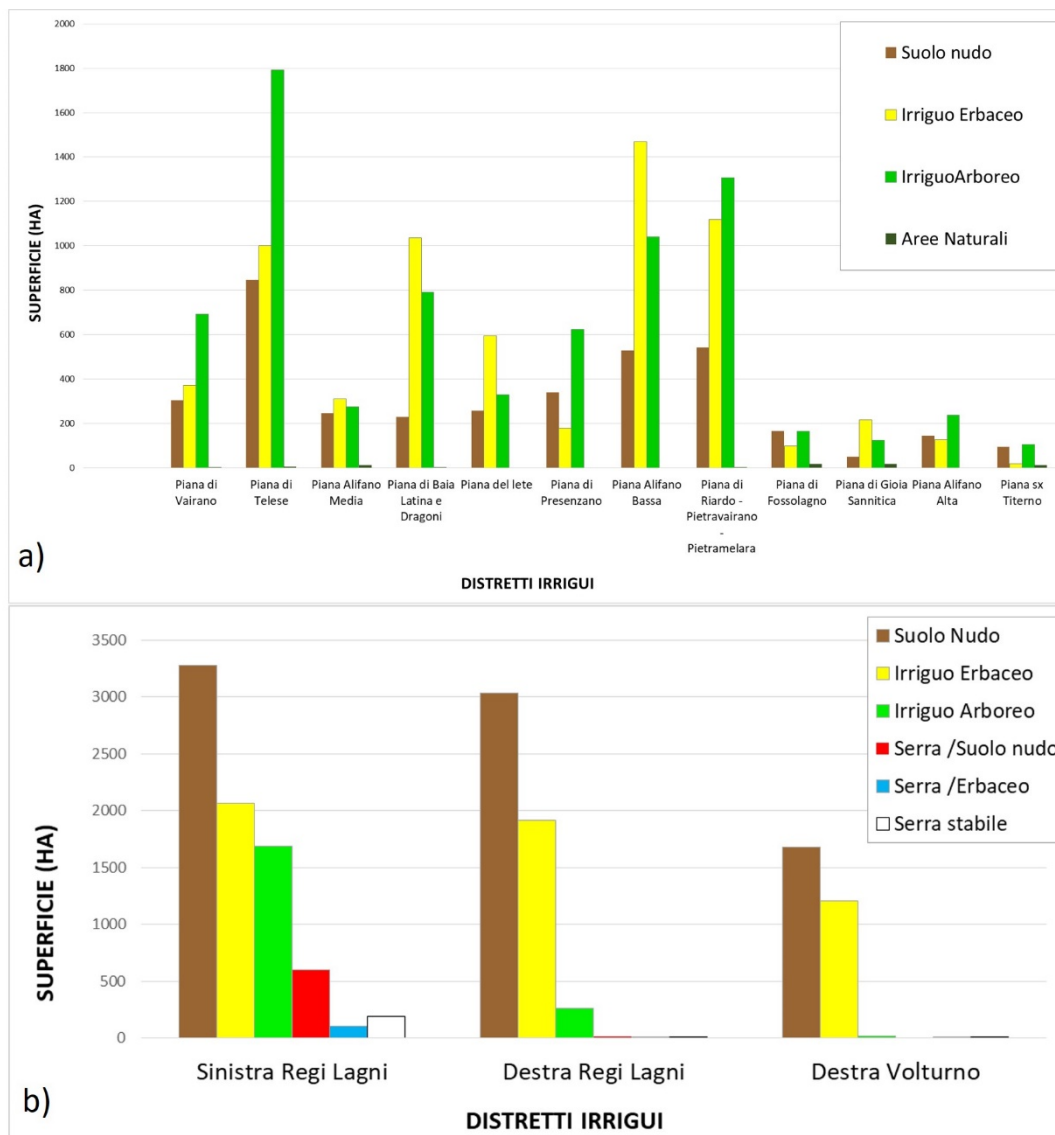


Figura 5- Superficie in ettari suddivisa per classi all'interno di ciascun distretto del consorzio Sannio Alifano (a) e del Volturno (b).

Tabella 1 – Estensione in ettari delle classi tematiche individuate nei due Consorzi.

| Consorzio | Risultato della classificazione |                 |                 |                    |                 |               |               |
|-----------|---------------------------------|-----------------|-----------------|--------------------|-----------------|---------------|---------------|
|           | Suolo Nudo                      | Irriguo Erbaceo | Irriguo Arboreo | Serra - Suolo nudo | Serra - Erbaceo | Serra stabile | Aree Naturali |
|           |                                 |                 |                 |                    |                 |               |               |

|                |      |      |      |     |     |     |    |
|----------------|------|------|------|-----|-----|-----|----|
| Volturno       | 7988 | 5190 | 1971 | 623 | 113 | 201 | NA |
| Sannio Alifano | 3743 | 6538 | 7482 | NA  | NA  | NA  | 68 |

### 3.2 Fabbisogni irrigui stimati da dati di OT e misurati dal Consorzio

Dalla stima dell'evapotraspirazione potenziale è stato possibile derivare i fabbisogni irrigui al campo mediante l'applicazione di un coefficiente di efficienza media pari a 0,8 per tenere in conto delle inevitabili perdite della rete distributiva. Per quantificare la bontà di questa metodologia, è stato effettuato un confronto del volume d'acqua fornito dal Consorzio e stimato dai dati OT, considerando un campione di 24 aziende agricole, dotate di misuratori. I risultati di questa indagine sono riportati in Figura 6; nei casi in cui è stata rilevata una rilevante differenza fra i volumi stimati e quelli misurati sono state riscontrate anomalie nel funzionamento dei misuratori e/o nelle superfici irrigate dichiarate dalle aziende. Un esempio di quest'ultimo caso è riportato in Figura 7.

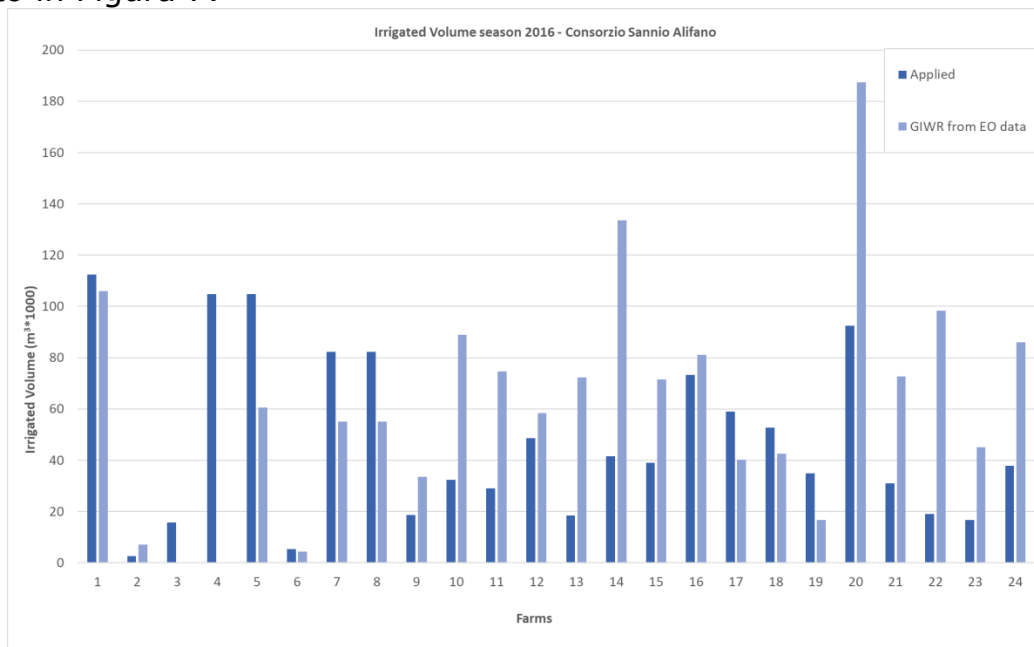


Figura 6- Confronto a scala aziendale tra volume irriguo fornito dal Consorzio e stimato da satellite.

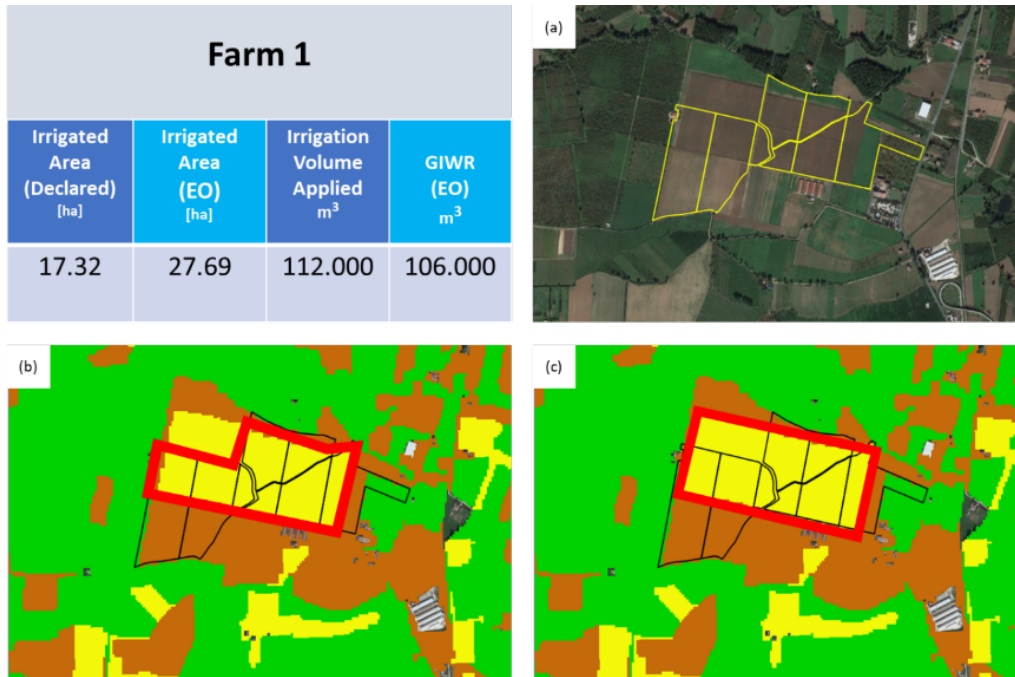


Figura 7 - Difficoltà tra l'area irrigata dichiarata e quella stimata dai dati di OT: a) Parcella catastale b) Zona irrigata dichiarata (limitata in rosso) c) Zona irrigata stimata dai dati OT (limitata in rosso).

#### 4. Discussione e conclusioni

I casi di studio analizzati hanno messo in evidenza l'efficacia nell'utilizzo di tecniche OT nell'individuazione dei volumi irrigui e delle aree irrigate. Queste informazioni, di fondamentale importanza per una corretta gestione delle risorse idriche, offre indiscutibili vantaggi rispetto alle tradizionali ispezioni di campo, consentendo alle amministrazioni dei Consorzi di recuperare risorse economiche dalle mancate esazioni. Oltre alla evidente maggiore economicità rispetto alle ispezioni in campo, i dati OT insieme all'utilizzo di tecniche GIS consentono di velocizzare le operazioni di verifica delle domande di fornitura di acqua a uso irriguo, delle istanze di riesame, oltre all'eventuale applicazione del ruolo irriguo anche nelle aziende prive di misuratori. Infine, si rende possibile un controllo della qualità dei dati di lettura e di eventuali malfunzionamenti dei misuratori.

Ulteriori linee di indagine potrebbero essere esaminate per verificare ed estendere i risultati raggiunti con l'approccio proposto. In primo luogo, per la stagione irrigua 2017, potrebbero essere utilizzate anche le immagini acquisite dal satellite Sentinel-2B, allo scopo di ottenere una serie temporale più densa, con solo 2-3 giorni tra le due acquisizioni. In questo modo si possono ottenere maggiori dettagli sull'andamento della fenologia delle colture durante la stagione irrigua grazie ad un'elevata probabilità di immagini prive di copertura nuvolosa. E' possibile inoltre valutare l'impiego di metodi alternativi di classificazione (ad esempio, mediante *machine learning* come *Random Forest*), considerando le verità a terra fornite dalle ispezioni in campo.

#### Bibliografia

Comaniciu, D., Meer, P. (2002). "Mean shift: a robust approach toward feature space analysis. TPAMI, 24(5), 603-619.



Congalton, R. G., Green, K. (2008). "Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices". 2th edition, CRC press, Boca Raton, FL, USA.

D'Urso, G. (2010). "Current status and perspectives for the estimation of crop water requirements from Earth Observation". Italian Journal of Agronomy, 5(2), 107-120.

Hartigan, J. A., Wong, M. A. (1979). "Algorithm AS 136: A k-means clustering algorithm". Journal of the Royal Statistical Society. Series C (Applied Statistics). 28.1, 100-108.

OTB Cookbook Documentation: <https://www.orfeo-toolbox.org/packages/OTBCookBook.pdf>. (ultimo accesso ottobre 2017).

R Stats Package. (<https://stat.ethz.ch/R-manual/R-devel/library/stats/html/00Index.html#K>). (ultimo accesso ottobre 2017).

R-project. (<https://www.r-project.org/>). (ultimo accesso ottobre 2017).

Story, M., Congalton, R. (1986) Accuracy assessment: "A user's perspective". Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. 52.3, 397-399.

