

Analisi assistita da immagini aeree ad elevata risoluzione geometrica per il riconoscimento del *Complesso del Disseccamento Rapido dell'Olivo* associato al batterio *Xylella fastidiosa* in Puglia

Stefania Gualano (*, **), Eufemia Tarantino (**), Franco Santoro (*), Franco Valentini (*), Nicola Dongiovanni (***), Anna Maria D'Onghia (*)

(*) CIHEAM/Istituto Agronomico Mediterraneo di Bari, Via Ceglie 9, 70010 Valenzano (Bari), Italy,

Tel: +39 080 4606315, e-mail: gualano@iamb.it

(**) DICATECh - Politecnico di Bari, via Edoardo Orabona 4, 70125 Bari, Italy

(***) Sistemi di Informazioni Territoriali, P.zza Papa Giovanni Paolo II 8/1, 70015 Noci (Bari), Italy

Riassunto

La *Xylella fastidiosa*, grave minaccia emergente per l'olivicoltura pugliese, è un batterio diffuso attraverso insetti vettori ed associato al "*Complesso del Disseccamento Rapido dell'Olivo*" (CoDiRO). La lotta contro questa batteriosi appare ardua poiché non esistono metodi curativi da attuare in campo e l'uso di antibiotici, che potrebbe avere un effetto positivo, non è consentito in Europa.

In tempi recenti si è assistito ad un aumento di studi scientifici basati sull'uso di tecniche Geomatiche a supporto dell'Agricoltura di Precisione. Tale incremento, favorito dalla maggiore disponibilità di strumenti di rilevazione da remoto e di prossimità, ha condotto ad un significativo avanzamento della possibilità di monitorare fenomeni biologici complessi e di gestire, in ambiente GIS, i relativi dati sia in modalità stand-alone che in rete. In tal modo è possibile integrare, in un unico ambiente operativo, dati spaziali eterogenei derivanti dall'impiego di metodi diretti come le azioni di monitoraggio (conteggio degli stadi di sviluppo, valutazione dei danni, accertamento dello stato sanitario delle colture, ecc.), o dall'utilizzo di metodi indiretti come l'elaborazione dei dati telerilevati (mappatura di aree affette da fitopatie, stima della biomassa, ecc.). I dati così prodotti possono essere utilizzati per l'implementazione di modelli previsionali nella difesa delle avversità sul territorio e per potere così adattare la strategia di intervento e razionalizzare la difesa delle colture.

Nel presente lavoro è valutata l'idoneità delle tecniche di fotointerpretazione per riconoscere e classificare piante colpite dal CoDiRO in ambiente GIS. A tal fine sono state utilizzate immagini da aereo ad alta risoluzione geometrica nel visibile e nell'infrarosso vicino relative ad un'area di studio del Salento (Puglia). Le misure radiometriche rilevate da remoto sono state orientate all'individuazione di appropriati fototipi, morfologicamente in grado di rilevare l'alterazione dello stato di salute delle piante d'olivo (stress di natura biotica o abiotica).

Abstract

The *Xylella fastidiosa*, an emerging serious threat for the Apulian olive growing, is a bacterium propagated by insects vectors (carriers) and connected with the "*Complesso del Disseccamento Rapido dell'Olivo*" (CoDiRO). The fight against these bacteria seems arduous since there aren't curative methods. To operate in this field and the employment of antibiotics, that might have a positive effect, it is not authorized in Europe.

Recently there have been many scientific studies based on the employment of Geomatic techniques to support Precision Agriculture. Such increase due to a greater availability of remote and proximal sensing instruments has led to an significant progress in complex biological phenomena monitoring

suitable for running in stand-alone or web-based GIS platforms. In this way it is possible to integrate heterogeneous spatial data in a single operative environment. Such data can be obtained by means of direct methods (monitoring operations i. e. counting the development phase, damage assessment, sanitary conditions ascertainment of cultivation, etc.), or indirect methods (remote sensing data processing i.e. mapping areas affected by phytopathologies, biomass assessment, etc.). The resulted data can be used for the implementation of provisional models on defence against the onsite adversity allowing the adaptation of intervention strategy in order to rationalize the cultivation defence.

In the present work the suitability of of photointerpretation techniques to recognize and classify the plants damaged by CoDiRO in GIS environment was evaluated. For this purpose very high geometrical resolution aerial images were used by processing visible (VIS) and near infrared (NIR) data on a study area of Salento (Apulia region, Italy).

The analysis were oriented to the identification of appropriate photo-types, morphologically suitable in detecting the alteration of olive trees health state (stress conditions caused by abiotic or biotic factors).

Introduzione

Il rinvenimento nel sud della Puglia del patogeno da quarantena *Xylella fastidiosa* (*Xf*) su piante di olivo (*Olea europea*) ha sollevato forti preoccupazioni, incognite e criticità nella gestione dell'emergenza fitosanitaria, unica per la sua peculiarità.

Xylella fastidiosa è un batterio gram-negativo che si riproduce nei vasi xilematici di determinate piante, strozzando l'apparato conduttore della linfa grezza e provocando tutta una serie di alterazioni fisiologiche in grado di determinare anche la morte delle piante colpite (Saponari et al., 2013).

In realtà, la sintomatologia riscontrata sugli ulivi pugliesi ha interessato anche la presenza di altri agenti parassitari che hanno ulteriormente aggravato il quadro fitosanitario (Nigro et al., 2014).

I danni riscontrati e diagnosticati sono risultati a carico del materiale legnoso, del floema e dello xilema con occlusione dei vasi linfatici delle piante interessate. Tale quadro sintomatologico ha suggerito la definizione e la caratterizzazione della malattia che ha colpito gli olivi della Puglia come "Complesso del Disseccamento Rapido dell'Olivo - CoDiRO" (Saponari et al., 2013) a cui spesso è risultata associata la presenza di *Xf* (Figura 1).



Figura 1 - Sintomi evidenti del CoDiRO su una pianta d'olivo.

In Puglia la presenza del temibile batterio è relegata per il momento nella sola provincia di Lecce (agri di Gallipoli, Galatina, Lecce, Trepuzzi, Copertino, Alezio, Taviano, Nardò, Ugento, Corsi, Morciano di Leuca, ecc.).

La caratterizzazione e l'analisi filogenetica condotta sul batterio hanno evidenziato la collocazione genetica del ceppo pugliese e a cui è stato conferito la denominazione di *Xylella fastidiosa* subspecie *pauca* e ceppo *CoDiRO* (Cariddi et al., 2014).

Il nuovo ceppo *CoDiRO* identificato nel Salento (che appartiene alla subspecie *pauca*), è distinto geneticamente da ceppi già noti della stessa subspecie che attaccano caffè e agrumi.

In particolare, sulla base delle ricerche ad oggi condotte dalle istituzioni scientifiche pugliesi, oltre all'olivo, che costituisce la coltura prevalente nel territorio unitamente alla vite (fonte importante di redditività economica e patrimonio culturale-paesaggistico), altre rilevanti specie ospiti (frutticole e ornamentali) risultano infette da *Xf*. Infatti, *Xf* è stata riscontrata nella Provincia di Lecce sulle seguenti specie: mandorlo, ciliegio, oleandro, vinca minor, *polygala myrtifolia*, *westringia fruticosa*, acacia, *catharanthus roseus* (vinca rosea). Altre possibili piante ospiti del batterio possono aggiungersi all'elenco (ancora in fase di accertamenti sperimentali) e gravare ulteriormente sulla condizione fitosanitaria del territorio leccese già pesantemente compromessa.

Nelle azioni da condurre per il contenimento di *Xf* è essenziale attuare un monitoraggio costante del territorio coinvolto al fine di localizzare i sintomi di CoDiRO su specie olivo e dimensionare correttamente l'espansione dell'infezione per mettere in atto le misure necessarie a combatterla.

Si è ritenuto dunque opportuno condurre una ricerca in grado di indagare sulla possibilità di fornire alla gestione del monitoraggio classico da terra, il supporto del telerilevamento aereo con l'intento di riconoscere dall'alto i sintomi CoDiRO dell'olivo.

Con il presente lavoro si è voluto verificare, in ambiente GIS, l'efficacia della tecnica manuale della fotointerpretazione visiva (Nilsson, 1995, Jones, Vaughan, 2010, Vincikovà et al., 2010) per classificare informazioni fitosanitarie (CoDiRO) a partire da immagini aeree ad elevata risoluzione geometrica (nel visibile e nell'infrarosso vicino), relative ad aree studio di focolai del Salento in cui è stata accertata la presenza di *X. fastidiosa*.

Nel contesto del lavoro proposto, la metodologia presa in esame è quella ritenuta potenzialmente più idonea ad una concreta applicazione sul territorio del telerilevamento aereo, oltre ad essere in generale la più utilizzata in campo forestale e ambientale (Malthus, Younger, 2000, Lillesand et al., 2004).

Dati, strumenti e metodologie impiegati

Le scene aeree interessate della ricerca hanno esaminato zone focolaio del territorio salentino in cui erano evidenti i sintomi del CoDiRO associati con la presenza di *X. fastidiosa*. In particolare, lo studio è stato condotto nel focolaio di Trepuzzi al confine con il comune di Squinzano (di cui comprende una piccola area rurale).

Il territorio esaminato presentava caratteristiche morfologiche pianeggianti con importanti distese di uliveti ben distinguibili dal contesto circostante (Figura 2).

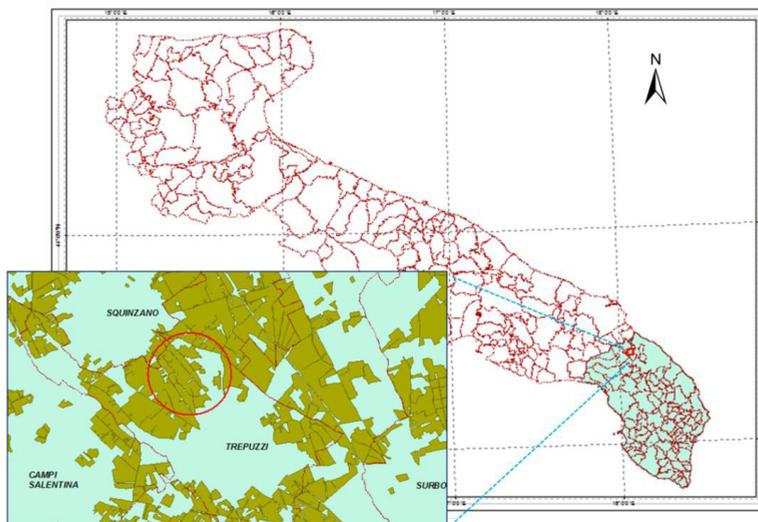


Figura 2 – Cerchiata in rosso l'area focolaio oggetto di studio, in verde le aree olivetate.

I dati raster utilizzati per il riconoscimento dall'alto dei sintomi del CoDiRO si compongono di dieci ortoimmagini in formato *tiff* (non compresso) ricampionate a 10 cm a partire da fotogrammi acquisiti con camera digitale DMC (*Digital Mapping Camera* della *Intergraph Z/I*), da un'altezza media di volo di circa 750 metri sul livello del mare (*Ground Sample Distance* del pixel a terra pari a circa 7 cm).

In particolare, i fotogrammi nelle bande del visibile e del infrarosso vicino (superficie totale coinvolta di circa 250 ettari) sono stati acquisiti nel marzo 2014 dall'azienda SIT di Noci (BA) in corrispondenza di un volo aereo "mirato" a sorvolare determinate aree focolaio interessate dal batterio.

Tutte le immagini utilizzate sono state ispezionate e processate in ambiente *ArcMap 9.3* di *Esri* e generati i rispettivi elementi puntuali geolocalizzati (*shape files*) delle piante CoDiRO riconosciute (Figura 3).

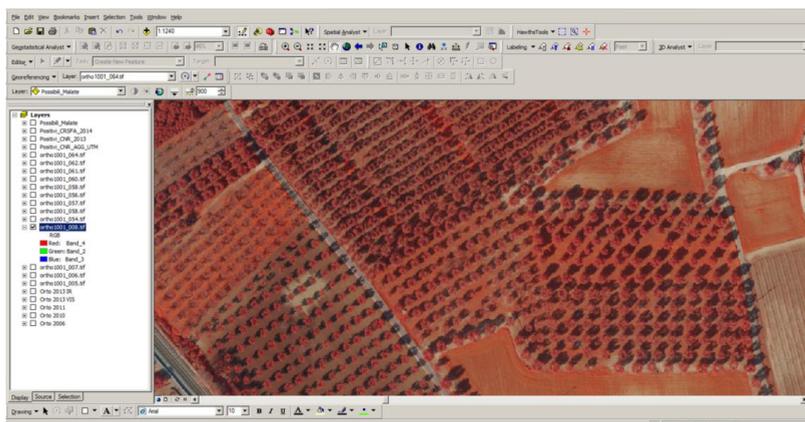


Figura 3 - Immagine in falsi colori, in ambiente GIS, impiegata nella fase fotointerpretativa manuale.

Per stabilire la presenza della *Xf* nelle piante d'olivo individuate attraverso la tecnica sono state effettuate analisi sierologiche (*Enzyme-Linked ImmunoSorbent Assay*, *ELISA*) e molecolari

(*Polymerase Chain Reaction PCR*) (Loconsole et al., 2014) presso i laboratori accreditati dell'Istituto Agronomico Mediterraneo di Valenzano (Bari). In particolare, il test molecolare è stato applicato su tutti i campioni che sono risultati sierologicamente negativi o dubbi, per verificare, con maggior sensibilità, l'assenza del patogeno.

Applicazione e risultati

Per eseguire la fotointerpretazione dei segni del CoDiRO sono state ipotizzate e realizzate alcune chiavi di fotolettura sulle ortoimmagini di marzo, sulla base dell'espressione più o meno grave del sintomo. Tra le sintomatologie tipiche e più frequenti associate alle infezioni di *X. fastidiosa* (Guario et al., 2013), vanno ricordate la "bruscatura" delle foglie, il disseccamento dei germogli e dei rami e il ridotto accrescimento della chioma (Figura 4).



Figura 4 - Sintomi specifici del CoDiRO su olivi infetti da *Xylella fastidiosa*: a) "bruscatura" delle foglie, b) disseccamento dei rami e c) accrescimento ridotto della chioma.

Queste ultime, in particolare, diventano sempre più evidenti man mano che l'infezione si diffonde asimmetricamente nella pianta (sino a provocarne la morte) e sono state ritenute oggetto di chiave interpretativa primaria per questo lavoro.

Nello specifico, viste le dimensioni del pixel a terra (10 cm), è stato creato un geoDataBase di attributi con tre livelli di gravità del sintomo CoDiRO (lieve, media e alta) in funzione della consistenza del disseccamento riscontrato nelle chiome.

La figura seguente mostra la morfologia tipica dei tre fototipi (in falsi colori), scelti per l'analisi visiva a monitor. Gli autori evidenziano la maggiore efficacia delle immagini in falso colore nell'evidenziare i sintomi rispetto al visibile. Ciò trova una fondata giustificazione nella minore influenza delle condizioni di luminosità sulla qualità dell'immagine, agevolando il riconoscimento dei sintomi, grazie ad un maggiore contrasto con lo sfondo (Spicciarelli, Arpaia, 1991).

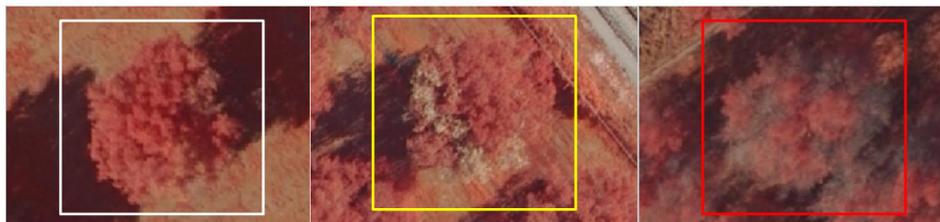


Figura 5 – Fototipi chiave scelti per i tre livelli di gravità (riquadro bianco: lieve; riquadro giallo: media; riquadro rosso: alta).

Il risultato dell'editing del processo di riconoscimento (nel focolaio di Trepuzzi), ottenuto in ambiente ArcMap 9.3, ha consentito di classificare circa 450 esemplari di piante d'ulivo, specificando la classe di gravità CoDiRO (Figura 6).

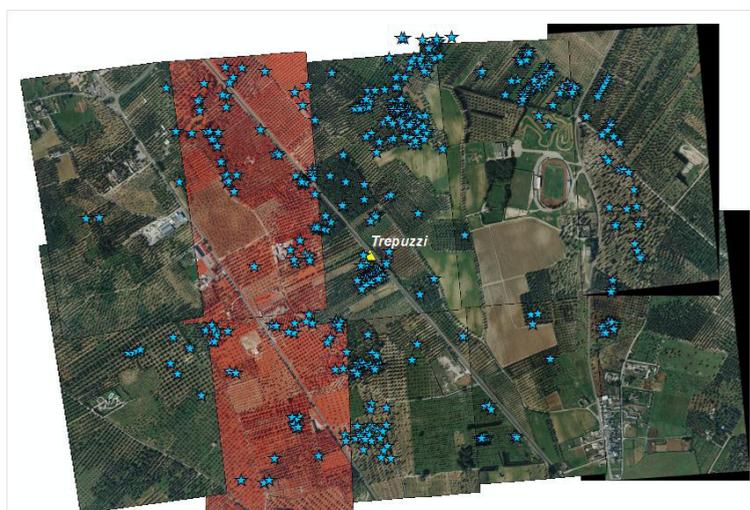


Figura 6 – Ulivi classificati CoDiRO.

Al fine di validare la tecnica, a partire da tutte le piante classificate CoDiRO in giugno 2014 sono state ispezionate in campo 43 esemplari (codificate TR1 –TR43). Da queste ultime, sono state selezionate 20 piante e sono stati prelevati opportunamente campioni di branchette.

I risultati di laboratorio hanno confermato la presenza di *Xf* su quattro esemplari d'olivo con sintomi di lieve e media gravità, fornendo complessivamente una percentuale di piante infette del 20% e comprovando l'efficacia della metodo (Figura 7).

Inoltre, dal confronto con i risultati pregressi del monitoraggio ufficiale (promosso dall'Osservatorio Fitosanitario Regionale e condotto sull'intero territorio pugliese nel 2013), è emerso che piante CoDiRO identificate nel focolaio, coincidevano in parte con piante risultate positive al batterio (soprattutto per la condizione di alta gravità) come riportato nell'ingrandimento della figura 7.

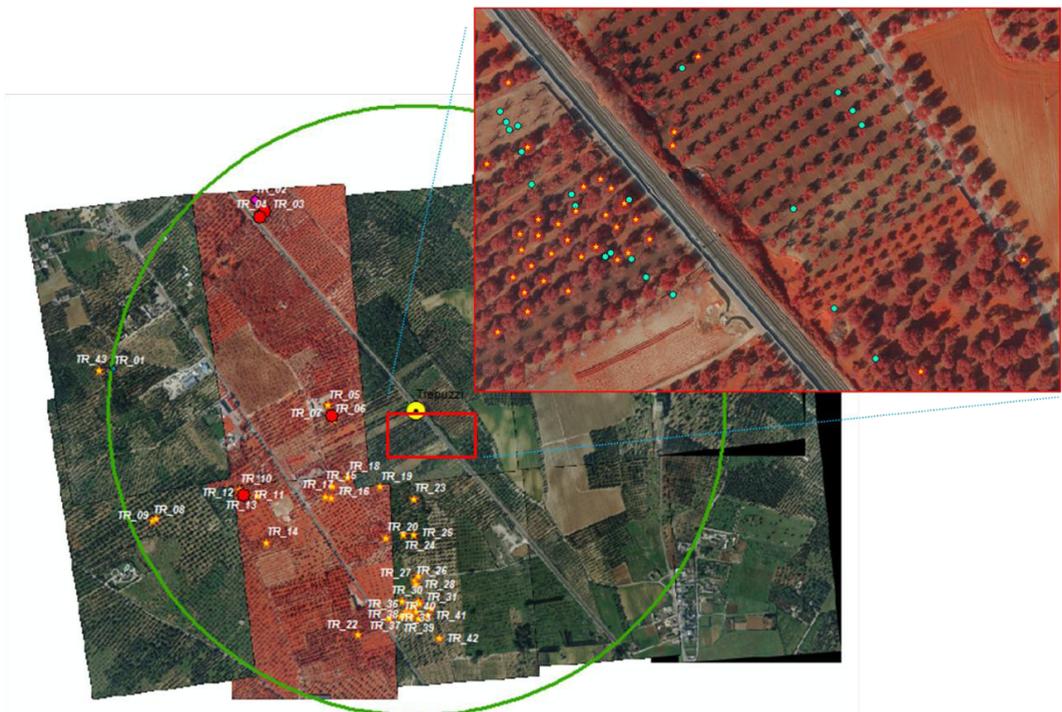


Figura 7 – Piante “fotointerpretate CoDiRO” ispezionate in campo e risultate positive (cerchi in rosso) ai test sierologici e molecolari in giugno 2014. Nell’area ingrandita, sono state sovrapposte, a confronto, le piante risultate positive dal monitoraggio ufficiale 2013 (cerchi in ciano).

Conclusioni

Con il presente lavoro si sono volute esplorare le potenzialità del telerilevamento aereo nella valutazione dello stato fitosanitario di piante d’olivo coinvolte con il problema della *Xylella fastidiosa* attraverso i sintomi CoDiRO ad essa molto spesso associati.

In particolare, l’impiego di immagini così spazialmente definite e rafforzate dalla presenza della banda dell’infrarosso vicino (NIR), hanno agevolato notevolmente l’individuazione dei segni del CoDiRO a partire da fototipi chiave, ben correlati all’espressione della patologia.

Sebbene ulteriori verifiche su aree più vaste debbano essere condotte, la tecnica ha consentito di raggiungere discretamente gli obiettivi perseguiti dalla ricerca (il 20% delle piante d’olivo riconosciute e saggiate sono risultate infette al batterio) e porre le premesse per approfondire e migliorare la metodologia attraverso l’uso della restituzione stereoscopica in ambiente GIS.

Anche l’aspetto della risoluzione del pixel a terra può essere migliorato con l’impiego di Aeromobili a Pilotaggio Remoto (APR). Ricerche mirate in questa direzione, infatti, consentirebbero di cogliere i sintomi della malattia in una fase ancora iniziale (es. disseccamento dei germogli), intervenendo con maggiore tempestività sull’insorgere di nuovi focolai.

Per contro, la necessità di investigare su vaste aree del territorio pugliese, stimola una riflessione sull’uso di immagini aeree a risoluzioni superiore (o immagini satellitari) e su metodologie “meno manuali” di processamento dei dati derivati, in grado di intercettare i sintomi della malattia in tempi più brevi.

Bibliografia

- Cariddi C, Saponari M, Boscia D, De Stradis A, Loconsole G, Nigro F, Porcelli F, Potere O, Martelli GP. (2014), "Isolation of a *Xylella fastidiosa* strain infecting olive and oleander in Apulia, Italy", *Journal of Plant Pathology*, 96 (2), 425-429
- Guario A, Boscia D, Nigro F. (2013), "Disseccamento rapido dell'olivo cause e misure di contenimento", *L'Informatore Agrario*, 46, 51-54
- Jones HG, Vaughan RA. (2010), *Remote sensing of vegetation: principles techniques and applications*, Oxford University Press, Oxford UK, 353
- Lillesand T, Kiefer M, Chipman JW. (2004), *Remote sensing and image interpretation*, John Wiley and Sons, New York USA, 763
- Loconsole G, Potere O, Boscia B, Altamura G, Djelouah K, Elbeaino T, Frasher D, Lorusso D, Palmisano F, Pollastro P, Silletti MR, Trisciuzzi N, Valentini F, Savino V, Saponari M. (2014), "Detection of *Xylella fastidiosa* in olive trees by molecular and serological methods", *Journal of Plant Pathology*, 96 (1), 1-8
- Malthus TJ, Younger CJ. (2000), "Remotely sensing stress in street trees using high spatial resolution data", *Proceedings of the 2nd International Geospatial Information in Agriculture and Forestry Conference - Lake Buena Vista (FL, USA)*, 2, 326-333
- Nigro F, Boscia D, Antelmi I, Ippolito A. (2014), "Fungal species associated with a severe decline of olive in southern Italy", *Journal of Plant Pathology*, 95 (3), 668
- Nilsson H. (1995), "Remote sensing and image analysis in plant pathology", *Canadian Journal of Plant Pathology*, 17, 154-166
- Saponari M, Boscia D, Nigro F, Martelli GP. (2013), "Identification of DNA sequences related to *xylella fastidiosa* in oleander, almond and olive trees exhibiting leaf scorch symptoms in Apulia (southern Italy)", *Journal of Plant Pathology*, 95 (3), 66
- Spicciarelli R, Arpaia S. (1991), "Esperienze fotografiche con pellicole in falso colore ed infrarossa per la localizzazione di alcuni stati morbosi in un agrumeto lucano", *Informatore Fitopatologico*, 1, 49-53
- Vinciková H, Hais M, Brom J, Procházka J, Pecharová E. (2010), "Use of remote sensing methods in studying agricultural landscapes - a review", *Journal of Landscape Studies*, 3, 53-63