

Predizione delle contaminazioni da micotossine mediante analisi di immagine.

Giuseppe Firrao

Dipartimento di Scienze Agro-Alimentari, Ambientali e Animali dell'Università di Udine

I recenti sviluppi applicativi dell'analisi dell'immagine in agricoltura e, specificamente, nel settore della protezione dei prodotti vegetali dalle avversità dipendono dagli straordinari e rapidissimi progressi dei sistemi hardware e software che ne sono alla base. L'enorme diffusione dei telefoni cellulari, ormai invariabilmente equipaggiati con almeno una telecamera, ha fatto sì che elementi sensibili ad altissima sensibilità e definizione, solo pochi anni fa appannaggio di costose attrezzature specialistiche, siano diventati facilmente accessibili a basso costo. La considerevole massa di dati da essi generati può oggi essere trasferita per l'elaborazione remota con grande facilità e rapidità grazie allo sviluppo delle tecnologie e delle infrastrutture di trasmissione dati ormai diffuse capillarmente sul territorio. Infine, l'aumentata capacità di elaborazione e l'interesse multisetoriale verso il riconoscimento automatizzato degli oggetti e l'intelligenza artificiale ("machine learning") hanno creato una disponibilità di moduli software che semplificano notevolmente lo sviluppo di applicazioni dedicate.

In questa "Antologia" è presente un articolo di Salvatore Filippo Di Gennaro e Alessandro Matese, intitolato "Applicazioni di viticoltura di precisione da piattaforma UAV" (URL: <http://www.georgofili.it/Media?c=98ff1317-84a9-4f6b-8803-da29a85bbe59>) che tratta dell'applicazione specifica in viticoltura di una tecnologia di analisi di immagine per il monitoraggio remoto ("remote sensing"), una delle principali branche in cui l'analisi dell'immagine si è articolata. A tale articolo rimandiamo per una disamina dei principi fondanti e per i benefici del remote sensing, e ne prendiamo spunto per introdurre il parallelo approccio detto "proximal sensing", che è sostanzialmente una declinazione della stessa idea in una scala dimensionale diversa per pervenire all'estrazione di informazioni preziose per la gestione della coltura o del prodotto: se da una parte il remote sensing prevede l'utilizzo di telecamere installate su droni che restituiscono immagini di superfici di alcuni metri quadrati, dall'altra il proximal sensing consiste nell'utilizzo a terra, in postazioni fisse, di simili telecamere che producono immagini di pochi centimetri lato e quindi con una elevata definizione del dettaglio degli elementi discreti che vengono fatti passare sotto di esse.

Che si tratti di "remote" o di "proximal" sensing, la potenza della tecnologia nelle applicazioni collegate alla difesa delle colture dalle avversità è data dalla capacità di una accurata registrazione del "colore", ossia, più tecnicamente, dei valori di assorbanza o di riflettanza in definite regioni dello spettro. Nella dinamica degli eventi avversi alle piante, ed in modo particolare durante i processi patologici, vengono iniziati dai patogeni o dall'ospite stesso processi metabolici che producono nell'area interessata significativi cambiamenti fisiologici, con la conseguente modifica nella concentrazione dei metaboliti presenti e dunque delle proprietà ottiche del tessuto interessato.

I diversi metaboliti prodotti dall'ospite o dal patogeno, infatti, possono avere picchi di assorbimento tipici e caratteristici, cui corrisponde un utile valore diagnostico. Un'alterazione fisiologica può dunque essere fortemente correlata con l'assorbimento in una o più frequenze dello spettro visibile o, molto frequentemente, infrarosso. Nelle tipiche implementazioni delle tecniche di analisi d'immagine con finalità semi quantitative, quali ad esempio la determinazione del contenuto in specifiche micotossine, le immagini raccolte sono multi- o iper- spettrali. Ogni fotogramma raccolto è cioè una collezione di immagini costruite sui valori di assorbimento o riflettanza risultanti ad alcune specifiche lunghezze d'onda (multispettro) o addirittura in tutte le lunghezze d'onda in un certo ambito

(potenzialmente tra 350 nm e 2500 nm) con una risoluzione spettrale finanche di 1 nm (iperspettro) (Mahlein *et al.*, 2018). Si tratta sostanzialmente di un'analisi spettroscopica condotta su ogni singolo elemento dell'immagine (pixel). La diagnostica con immagini multi- o iper-spetttrali ha dunque enormi potenzialità perché ogni evento ha una sua dinamica spazio-temporale che si associa precocemente a specifiche alterazioni delle proprietà ottiche, visibili ad occhio nudo solo in seguito, oppure mai, come nel caso delle infezioni di *Fusarium verticillioides* nel mais.

Non sorprende quindi che le applicazioni delle tecniche di analisi di immagini multi- o iper- spetttrali in proximal sensing stiano interessando sempre più colture ed in primo luogo leguminose e cereali. Metodi di analisi di immagini iperspettrali per la valutazione di infestazioni di insetti e di funghi sono disponibili per cece, lenticchia, pisello, fagiolo, soia (Karrupiah *et al.*, 2016 e articoli ivi citati). Ma certamente la predizione della contaminazione delle micotossine nei cereali è il settore che ha visto l'impegno più significativo della ricerca: la numerosità dei contributi scientifico-tecnologici (si veda Xing *et al.*, 2020, per una rassegna recente) testimonia la rilevanza della sfida, oltre naturalmente la diversità delle micotossine prodotte dai funghi dei generi *Aspergillus*, *Penicillium* e *Fusarium* e dei diversi substrati da essi colonizzabili. In generale, la relazione tra le proprietà ottiche del substrato e la presenza di un particolare metabolita contaminante non è risultata facile da stabilire e, frequentemente, si è intrapresa la strada più praticabile della relazione con la presenza e l'intensità della colonizzazione fungina, assumendo indirettamente, con le ovvie precauzioni del caso, la presenza dei metaboliti da essi prodotti. Tra i cereali soprattutto il mais è stato oggetto di indagine, anche in Italia (Firrao *et al.*, 2010 ; Del Fiore *et al.*, 2010; Fig.1).

Le tecniche ottiche per la determinazione semiquantitativa del contenuto di contaminanti presentano interessantissimi vantaggi che permettono di prevederne un sempre più largo impiego nel settore agroalimentare. Si tratta, infatti, di tecniche che, a fronte di una capacità di determinazione del reale contenuto del contaminante, ancora relativamente poco accurata, per cui è più corretto parlare di predizione piuttosto che di determinazione, offrono le opportunità del bassissimo costo per campione, della non distruttività del campione analizzato, della elevata velocità di processamento e della spiccata automazione. Rappresentano, pertanto, le tecnologie di elezione per la selezione ottica ("optical sorting"), la cui introduzione rappresenta anche concettualmente una sostanziale evoluzione della tecnica diagnostica per il miglioramento della qualità dei prodotti agricoli sotto il profilo igienico-sanitario, quasi una linea di demarcazione per la funzione della diagnostica per la presenza dei contaminanti. La metodologia tradizionale prevedeva il ruolo sostanzialmente passivo dell'analisi chimica, che determina la contaminazione e quindi, eventualmente, il destino commerciale della partita. La cernita ottica, con l'allontanamento delle sole componenti contaminate, produce un effettivo miglioramento qualitativo della partita trattata. L'industria ha maturato la consapevolezza di questi così sensibili vantaggi e sta cogliendo l'occasione dell'accessibilità della tecnologia per tradurla in un concreto progresso in fase produttiva: selezionatrici ottiche per i cereali, capaci di individuare, classificare in base alle proprietà ottiche ed eventualmente eliminare singole cariossidi di mais lavorando ad una velocità di più di 10 tonnellate per ora, sono oggi già una realtà commerciale.

Mentre per i cereali e leguminose la tecnologia è matura al punto da essere parte di applicazioni industriali, la ricerca espande i propri orizzonti verso altre colture (vite, pomodoro, e molto altro, come esaurientemente riportato nella rassegna di Salem *et al.*, 2019) dove il riconoscimento morfologico dell'oggetto da classificare complementa l'analisi delle caratteristiche ottiche in un contesto tecnologico ancor più sofisticato e preciso.

Bibliografia citata

Del Fiore, A., Reverberi, M., Ricelli, A., Pinzari, F., Serranti, S., Fabbri, A.A., Bonifazi, G., Fanelli, C. (2010). Early detection of toxigenic fungi on maize by hyperspectral imaging analysis. *International Journal of Food Microbiology*, 144, 64e71.

Firrao, G., Torelli, E., Gobbi, E., Raranciuc, S., Bianchi, G., Locci, R. (2010) Prediction of milled maize fumonisin contamination by multispectral image analysis. *Journal of Cereal Science*, 52, 327-330.

Karuppiah, K., Senthilkumar, T., Jayas, D. S., White, N. D. G. (2016). Detection of fungal infection in five different pulses using near-infrared hyperspectral imaging. *Journal of Stored Products Research*, 65, 13-18.

Mahlein, A. K., Kuska, M. T., Behmann, J., Polder, G., Walter, A. (2018). Hyperspectral sensors and imaging technologies in phytopathology: State of the art. *Annual Review of Phytopathology*, 56, 535-558.

Qi, X., Jiang, J., Cui, X., Yuan, D. (2020). Moldy peanut kernel identification using wavelet spectral features extracted from hyperspectral images. *Food Analytical Methods*, 13, 445-456.

Saleem, M. H., Potgieter, J., Arif, K. M. (2019). Plant disease detection and classification by deep learning. *Plants*, 8, 468.

Xing, F., Yao, H., Liu, Y., Dai, X., Brown, R. L., Bhatnagar, D. (2019). Recent developments and applications of hyperspectral imaging for rapid detection of mycotoxins and mycotoxigenic fungi in food products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59, 173-180.

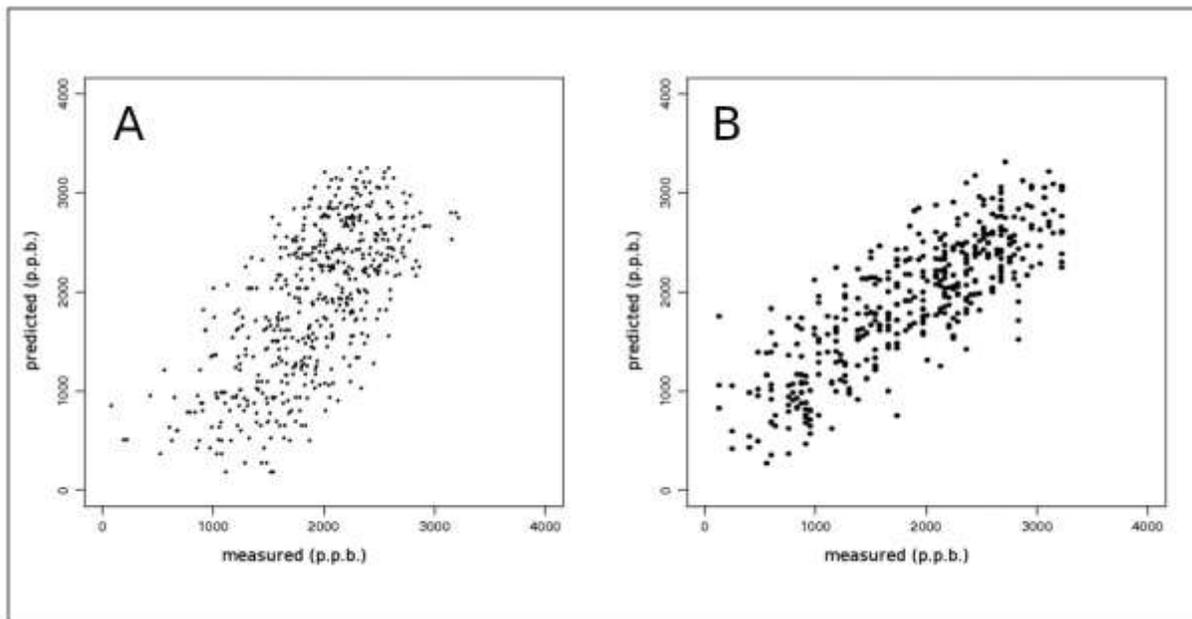


Fig.1: L'analisi multi- e iper- spettrale permette di formulare previsioni sulla presenza di contaminanti in matrici complesse sfruttando metodi statistici diversi: nell'esempio qui riportato la quantità di fumonisin B1 in mais è predetta tramite correlazione lineare (A) o rete neurale (B).