

EDOARDO A.C. COSTANTINI¹

Monitoraggio e gestione di precisione del suolo: tecnologie, applicazioni e prospettive per l'agricoltura sostenibile

¹ Accademia dei Georgofili; CNR-IBE, Sesto Fiorentino (Firenze)

I. INTRODUZIONE

Il suolo costituisce una risorsa strategica per la sicurezza alimentare, la conservazione della biodiversità e la regolazione dei cicli biogeochimici. Tuttavia, l'intensificazione agricola, il cambiamento climatico e la gestione non sostenibile ne minacciano la funzionalità. In tale contesto, il monitoraggio sistematico del suolo, abbinato a strumenti di gestione di precisione, rappresenta un'opportunità concreta per promuovere un uso più consapevole ed efficiente di questa risorsa.

Il monitoraggio del suolo si basa su attività di misurazione, campionamento e analisi volte a caratterizzare le sue proprietà fisiche, chimiche e biologiche, nonché a rilevarne le variazioni nel tempo e nello spazio. Esso trova applicazione in molteplici ambiti:

Agricoli:

- Valutare la fertilità del suolo e ottimizzare la gestione dei nutrienti.
- Individuare le carenze, gli eccessi di sali, acidità, elementi.
- Regolare gli interventi irrigui sulla base del contenuto idrico reale.
- Rilevazione di problemi idrologici, quali drenaggio difficoltoso.
- Prevenire la salinizzazione e la degradazione chimica.
- Sostenere pratiche di agricoltura conservativa e rigenerativa.

Ambientali:

- Rilevare contaminazioni da metalli pesanti, pesticidi o idrocarburi.
- Valutare l'efficacia di interventi di bonifica e recupero ambientale.

- monitorare le minacce alla salute del suolo, quali: stato e rischio di erosione (superficiale e di massa), presenza di contaminanti, funzionalità e attività biologica, compattamento, perdita sostanza organica, emissioni di carbonio e gas serra (GHG).

Forestali e idrogeologici:

- Analizzare la stabilità dei versanti in contesti collinari e montani.
- Verificare l'effetto di sistemazioni idraulico-forestali su suolo e vegetazione.
- Monitorare l'accumulo di sostanza organica in suoli riforestati.
- Prevenire fenomeni di dissesto idrogeologico.

Urbani e infrastrutturali:

- Valutare la capacità portante del terreno per edificazioni.
- Monitorare fenomeni di subsidenza in ambito urbano.
- Controllare l'evoluzione del suolo in aree di scavo o movimento terra.
- Garantire la sicurezza di infrastrutture pubbliche e private.

Scientifici e climatici:

- Studiare la dinamica della sostanza organica e del carbonio nel suolo.
- Rilevare variazioni nei cicli biogeochimici in relazione ai cambiamenti climatici.
- Sviluppare e calibrare modelli previsionali pedologici e idrologici.
- Valutare la biodiversità del suolo come indicatore ecologico.

Politico-bioeconomici:

- Implementazione e verifica della efficacia delle misure agroambientali, quali Carbon farming (Registro pubblico dei crediti di carbonio)

2. CAMPIONAMENTO STATISTICO: DIMENSIONAMENTO E STRATEGIE

L'eterogeneità intrinseca del suolo è un fattore limitante per la gestione agronomica. Disporre di dati ad alta densità spaziale e temporalmente aggiornati permette di calibrare gli input colturali, ridurre gli impatti e rigenerare la fertilità. Quando implementato con elevato dettaglio, il monitoraggio consente di attuare una gestione di precisione del suolo, adattando gli interventi alle specificità locali dei terreni coltivati.

2.1. Dimensione del campione

Un disegno di campionamento statisticamente solido prevede il prelievo di un numero di campioni di suolo elevato. Infatti, il numero di punti da campionare (n) cresce con la deviazione standard (σ) della variabile monitorata e con la precisione (d) richiesta:

$$n = (z * \sigma / E)^2$$

dove n è il numero di campioni,

z è il valore associato al livello di confidenza desiderato (ad esempio, per un livello di confidenza del 95%, $z = 1.96$).

σ è la deviazione standard della popolazione.

E è l'errore ammissibile (es, 10%, 0.10)

In terreni altamente variabili, n può diventare economicamente proibitivo, occorre quindi ridurre l'eterogeneità dell'area di campionamento. Un sistema comunemente adottato è il campionamento a due fasi (double-sampling), dove:

- Fase 1 (delineazione) – Rilievo sistematico a grana grossa (p. es. maglie 100-200 m) per stimare varianze e individuare aree omogenee.
- Fase 2 (densificazione mirata) – Aggiunta di punti in sotto-unità relativamente omogenee, ottimizzando lo sforzo dove la varianza residua resta elevata.

Il metodo riduce i costi del 30-60 % rispetto a un campionamento sistematico a maglia fine uniforme.

Secondo alcuni autori, il numero minimo di unità di campionamento primarie varia a seconda della superficie dell'area monitorata da un minimo di 3, in aree inferiori a 5 ha, a 6 o più in aree superiori ai 25 ha (Stolbovoy et al., 2007). Queste indicazioni però sono solo di larga massima, perché non tengono conto della effettiva variabilità del suolo nell'area di campionamento.

3. INTEGRAZIONE DEI DATI E MAPPATURA DIGITALE DEL SUOLO (DSM)

Un approccio che si sta sempre più diffondendo per diminuire la variabilità dell'area di campionamento è quello che utilizza una stratificazione dell'area per tematismi ambientali e successivo raggruppamento statistico (clustering) (McBratney et al., 2003).

- Stratificazione basata su covariate – Si suddivide l'area in aree (strati) costruiti su variabili predittive (topografia, indici spettrali, tessitura nota...), riducendo la varianza intra-strato.

- Clustering spaziale (k-means, reti neurali) – Quando le covariate sono numerose, gli algoritmi di clustering permettono di identificare unità relativamente omogenee che fungono da strati.

3.1. *Covariate ambientali e sensori multi-sorgente*

Nell'approccio per covariate ambientali, le più utilizzate sono le variabili topografiche, geologiche, pedologiche e di uso del suolo.

3.2. *Variabili topografiche derivate da modello digitale del terreno (DEM)*

Quota, pendenza, curvatura, TWI e analisi di esposizione influenzano la distribuzione di umidità, sostanza organica e nutrienti. I DEM LiDAR < 1 m producono covariate assai dettagliate.

3.3. *Carte geologiche, pedologiche e di uso del suolo*

Sono ormai largamente disponibili anche in formato digitale carte geologiche, pedologiche e di uso del suolo. Anche se queste carte da sole possono avere un dettaglio insufficiente per attuare interventi di precisione, rappresentano sempre covariate utili a ridurre notevolmente la variabilità delle aree monitorate.

3.4. *Sensori prossimali e distali*

Negli ultimi anni, la disponibilità di strumenti avanzati di rilevamento ha rivoluzionato il modo di acquisire dati sul suolo. Le tecnologie si suddividono principalmente in sensori prossimali e distali, a seconda della presenza di contatto diretto o ravvicinato con il suolo, nel primo caso, o lontano alcuni o molti metri dalla superficie del suolo (Piikki et al., 2015).

3.4.1. Sensori prossimali

Montati su piattaforme mobili, permettono rilievi diretti e non invasivi (Priori et al., 2016; Adamchuk et al., 2004):

- Georesistivimetri (ERT): misurano la resistività elettrica, utile per stimare la tessitura, l'umidità e la salinità (Andrenelli et al., 2013). La profondità

d'indagine è fino a circa 150 cm. Utilizzando tre barre di sensori riceventi posti a diversa distanza possono discriminare, tramite opportuni algoritmi, la risposta geoelettrica a diversi livelli del suolo, ad esempio, tra 0 e 50 cm, fino a 100 cm e fino a 150 cm (Fig. 1).



Fig. 1 *Georesistivimetro a tre profondità di indagine*

- Sensori EMI (Electromagnetic Induction): rilevano la conduttività del suolo senza contatto diretto e sono relazionabili a tessitura, salinità e umidità. La profondità d'indagine è fino a circa 150 cm, ma in genere non discriminano gli orizzonti del suolo.
- Georadar (GPR): impiegato per l'analisi della stratigrafia e della profondità degli orizzonti, consente di individuare le discontinuità fino a 2–3 m. Particolarmente utili per rilevare la profondità della roccia o di orizzonti cementati dai sali o pietrosi.
- Spettrometri a raggi gamma: utilizzano la radioattività naturale di K, U e Th. I tre elementi possono essere messi in relazione alla quantità e tipologia di argilla, alla mineralogia del substrato, alla pietrosità, al potassio

disponibile, al carbonato di calcio e alla sostanza organica. La profondità d'indagine è fino a 30-40 cm (Priori et al., 2013a).

- Spettrometri portatili o portati su piattaforma Vis-NIR/SWIR: stimano proprietà come contenuto di sostanza organica e umidità attraverso la riflettanza spettrale. Predicono carbonio organico (SOC), argilla e carbonati in tempo reale. Le performance migliori si ottengono con misure operate su campioni prelevati in campo tramite trivella o scavo di profilo e successivamente analizzati in laboratorio. Hanno bisogno di modelli di calibrazione multivariata (PLSR, SVM) supportati da librerie spettrali locali (Rossel et al., 2010).

3.4.2 Sensori remoti basati sulla riflettanza

Consentono il monitoraggio a distanza, da satellite o tramite droni (UAV) (Mulder et al., 2011):

- UAV multispettrali/termici (Normalized Difference Red Edge, NIR, LWIR) rilevano le variazioni nella risposta spettrale della vegetazione, lo stress idrico, il vigore e temperatura della chioma, correlabili alla variabilità del suolo.
- Immagini satellitari: forniscono dati frequenti e su larga scala, adatti al monitoraggio temporale. I satelliti Sentinel-2/3 e hyperspectral (PRISMA, EnMAP) forniscono serie storiche utili per analisi di trend. Gli indici spettrali (NDVI, NDRE, PRI, NDWI, CCCI, ecc.) fungono da covariate indirette del suolo quando correlati con i dati prossimali.

I dati raccolti vengono analizzati mediante tecniche GIS, modelli statistici e geostatistici, algoritmi di interpolazione spaziale, machine learning e intelligenza artificiale. In contesti avanzati, il processo si compone delle seguenti fasi (Grunwald, 2009):

- a. Pre-processing dei dati sensoriali (correzione radiometrica, geolocalizzazione, filtri di rumore).
- b. Selezione di covariate per eliminare le variabili ridondanti che portano instabilità nella stima dei coefficienti. Si possono usare varie tecniche, quali: VIF (Variance Inflation Factor), misura della multicollinearità tra le variabili indipendenti. Boruta, algoritmo che seleziona automaticamente le covariate rilevanti e robuste..
- c. Geostatistica, ad esempio, kriging con regressione esterna, Geographically Weighted Regression (GWR regressione pesata geograficamente)
- d. Validazione tramite cross-validation.

4. IMPLICAZIONI PER LA GESTIONE AGRONOMICA

Una applicazione molto diffusa dell'uso dei sensori remoti è la produzione di mappe di vigoria. Queste mappe possono variare molto in funzione dello strumento utilizzato, ad esempio, satellite, drone, oppure sensore portato dalla trattrice (tabella 1).

INDICE E SENSORE	NDVI DA SENTINEL 2	NDVI DA DRONE	NDRE DA TRATTRICE
Risoluzione	decametrica	decimetrica	decimetrica
Dettaglio agronomico	Non discrimina la fila dall'interfila nelle colture arboree	Discrimina l'interfila con una certa approssimazione	Discrimina bene l'interfila
Costo	Basso, immagini gratuite	Medio	Alto
Velocità	Rilievi settimanali	10-20 ha /giorno	3-5 ha /giorno
Superfici rilevate	Ampie	Medie	Piccole

Tab. 1 *Caratteristiche di alcuni indici e sensori distali utilizzati per la produzione di mappe di vigoria*

Le mappe di vigoria discriminano bene le aree a diversa risposta vegetativa della pianta, ma non distinguono le cause delle possibili sofferenze. Ad esempio, aree ad elevata pietrosità possono dare la stessa risposta spettrale di aree con problemi di ristagno idrico, ma le due aree hanno una risposta produttiva quanti-qualitativa diversa e hanno necessità di una gestione agronomica ben diversificata (Andrenelli et al., 2011; Costantini et al., 2013).

Sono ormai disponibili numerosi esempi di applicazione dell'analisi sensoristica e del DSM all'agricoltura di precisione. Priori e altri (2016) hanno adottato l'uso combinato di due sensori prossimali, ovvero uno spettrometro nel visibile-infrarosso vicino (Vis-NIR) e uno spettrometro a raggi gamma per ottenere mappe ad alta risoluzione dello stock di carbonio nel suolo a una profondità di 0-30 cm (CS30), utilizzando un numero limitato di siti di campionamento per campo (circa 1 per ettaro). Le mappe di CS30 sono state interpolate all'interno dei campi indagati mediante regressione multipla geograficamente ponderata (GWMP). L'accuratezza delle mappe previste di CS30 ha consentito di monitorare gli effetti della gestione agricola e dell'erosione del suolo sul pool di carbonio e sulla sua variabilità spaziale.

L'uso combinato di telerilevamento e sensoristica prossimale del suolo dei vigneti ha consentito di discriminare aree a diversa fertilità (Martini et al.,

2013) e di migliorare la qualità dell'uva e del vino attraverso la vendemmia differenziata (Priori et al., 2013c).

Tra i numerosi altri esempi di gestione di precisione dei suoli si possono segnalare l'uso dei sensori prossimali per la delimitazione di aree degradate (Priori et al., 2013b) e per la definizione degli interventi per la loro rigenerazione (Costantini et al., 2021), per il corretto degli interventi di movimento di terra prima dell'impianto delle colture arboree (Costantini e Priori, 2021), per il posizionamento dei drenaggi superficiali e profondi e per la scelta dei portaiinseti (Priori et., 2018).

5. CONCLUSIONI E PROSPETTIVE

Il monitoraggio del suolo deve essere inquadrato in un contesto di politiche europee e nazionali che considerano diversi servizi ecosistemici forniti dal suolo, oltre alla produzione agricola. La gestione del carbonio del suolo (carbon farming), in particolare, è oggetto di una specifica direttiva europea che sta sviluppando un quadro normativo specifico, che include il monitoraggio del carbonio. La direttiva è volta a promuovere pratiche agricole sostenibili che migliorino il sequestro di carbonio nel suolo, contribuendo alla mitigazione del cambiamento climatico in corso. Il carbon farming non solo mira alla riduzione delle emissioni di gas serra e alla riduzione dell'anidride carbonica atmosferica, ma anche al miglioramento della salute del suolo, alla promozione della biodiversità e allo sviluppo di un'agricoltura più sostenibile, che è realizzabile solamente attraverso la gestione di precisione del suolo e della coltura.

In questo contesto, il monitoraggio di precisione del suolo costituisce lo strumento essenziale per ottimizzare la produttività riducendo gli impatti ambientali. L'efficacia del monitoraggio dipende dalla qualità dei dati, dalla capacità di interpretarli correttamente e di tradurli in pratiche colturali adeguate. Gli errori di gestione del suolo sono spesso causati dalla sottovalutazione delle variazioni del suolo nel profilo e nel paesaggio, cioè nella sua dimensione sia orizzontale, sia verticale.

Il monitoraggio al dettaglio delle variazioni spaziali del suolo può essere grandemente agevolato dall'uso dei sensori (prossimali e distali), combinato con altre informazioni tematiche, quali topografiche e pedologiche, elaborate con tecniche GIS e geostatistiche. E' però in ogni caso indispensabile il controllo in campo del profilo del suolo, cioè della sua variabilità verticale.

La combinazione tra disegno di campionamento efficiente, covariate multi-sorgente e modellistica DSM rende economicamente sostenibile la raccolta

di dataset a densità elevata, trasformando l'eterogeneità del suolo da problema a risorsa gestionale. La fase decisiva resta la traduzione dei modelli in azioni: qui il ruolo del professionista agronomo, dotato di competenze digitali e sistemiche, diventa centrale per traghettare l'innovazione dai sensori al campo.

La sola disponibilità tecnologica non è sufficiente. È essenziale una progettazione agronomica accurata, che valorizzi i dati raccolti e ne guidi l'interpretazione operativa. Il ruolo del professionista agronomo si evolve così verso nuove competenze digitali e di integrazione multidisciplinare. Nel quadro della transizione ecologica e digitale dell'agricoltura, è quindi prioritario investire nella formazione, nella ricerca e nell'adozione di tecnologie accessibili, affinché la sostenibilità dei suoli diventi un obiettivo concreto, misurabile e condiviso.

RIASSUNTO

Il monitoraggio del suolo rappresenta uno strumento fondamentale per valutarne lo stato di salute, prevenirne il degrado e orientarne una gestione sostenibile. Consiste in un insieme di attività di misurazione, campionamento e analisi volte a rilevare lo stato fisico, chimico e biologico del suolo, nonché la sua evoluzione nel tempo. Tale pratica trova applicazione in campo agricolo, ambientale e forestale, pianificazione territoriale, ingegneria civile e forestale e nelle politiche bioeconomiche. Se attuato ad elevato dettaglio, il monitoraggio del suolo permette di attuarne una gestione di precisione. A tal fine, sono attualmente disponibili strumenti sempre più sofisticati e potenti, quali i sensori prossimali e remoti, in grado di rilevare la variabilità di numerose caratteristiche del suolo alla scala di campo. Tra i sensori prossimali, risultano di particolare interesse i sensori non invasivi e che consentono di essere montati su piattaforme mobili, quali i georesistivimetri, i sensori ad induzione elettromagnetica e i georadar, gli spettrometri di raggi-gamma e gli spettrometri di riflettanza Vis-NIR. Sensori multispettrali e termici montati su droni e immagini satellitari vengono utilizzati soprattutto per il rilevamento in remoto della variabilità della risposta della vegetazione alle variazioni di suolo. Queste informazioni possono completare altri tematismi, soprattutto pedologici e topografici, ed essere trattate con opportune tecniche GIS e geostatistiche per realizzare schemi di campionamento mirati, in grado di produrre mappe dei suoli dettagliate e in grado di guidare le scelte operative aziendali.

ABSTRACT

Soil monitoring constitutes a critical instrument for assessing soil health, preventing degradation processes, and informing sustainable soil management strategies. It encompasses a suite of measurement, sampling, and analytical procedures aimed at characterizing the soil's physical, chemical, and biological properties, as well as their spatiotemporal dy-

namics. This approach is widely applicable across agricultural, environmental, and forestry domains, territorial planning, civil and forest engineering, and bioeconomy policy frameworks. When implemented at high spatial and temporal resolution, soil monitoring enables precision soil management. To this end, a growing array of advanced and high-throughput tools is available, including proximal and remote sensing technologies capable of capturing intra-field variability in multiple soil attributes. Among proximal sensing tools, particular emphasis is placed on non-invasive sensors deployable on mobile platforms, such as electrical resistivity tomography (ERT), electromagnetic induction (EMI) sensors, ground-penetrating radar (GPR), gamma-ray spectrometers, and visible–near infrared (Vis-NIR) reflectance spectrometers. Multispectral and thermal sensors mounted on unmanned aerial vehicles (UAVs), along with satellite-based remote sensing, are predominantly used to assess spatial heterogeneity in vegetation spectral responses as proxies for underlying soil variability. These datasets can be integrated with pedological and topographic information layers and processed through advanced statistical and geostatistical modelling techniques to design optimized sampling frameworks and generate high-resolution digital soil maps, which can support site-specific agronomic or land management decisions.

BIBLIOGRAFIA CITATA

- ADAMCHUK V.I., HUMMEL J.W., MORGAN M.T., UPADHYAYA S.K. (2004): *On-the-go soil sensors for precision agriculture*, «Computers and Electronics in Agriculture», 44 (1), pp. 71-91. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2004.03.002>
- ANDRENELLI M.C., MAGINI S., NATARELLI L., VIGNOZZI N., AGNELLI A., BUCELLI P., PELLEGRINI S., PRIORI S., COSTANTINI E.A.C. (2011): *Applicazione di tecniche innovative in viticoltura di precisione*, «EQA – Qualità ambientale», 7, pp. 103-112.
- ANDRENELLI M.C., MAGINI S., PELLEGRINI S., PERRIA R., VIGNOZZI N., COSTANTINI E.A.C. (2013): *The use of the ARP© system to reduce the costs of soil survey for precision viticulture*, «Journal of Applied Geophysics», 99, pp. 24-34. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2013.09.012>
- COSTANTINI E.A.C., L'ABATE G. (2009): *The soil of Tuscany (Italy): Genesis, classification and mapping*, in *Soil Resources of Europe*, a cura di R.J.A. Jones et al., Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- COSTANTINI E.A.C. et al. (2013): *Oltre la zonazione. Beyond zoning. Tre anni di studio al Castello di Brolio. A three-years study at Castello di Brolio*, Polistampa, Firenze, 177 pp., ISBN 978-88-596-1224-7.
- COSTANTINI E.A.C., D'AVINO L., PRIORI S. (2021): *Interrow organic management to restore soil functionality of vineyards*, in *Recarbonizing Global Soils – A technical manual of recommended sustainable soil management. Vol. 4: Cropland, grassland, integrated systems and farming approaches – Case studies*, FAO & ITPS, Roma, pp. 286-295. <https://doi.org/10.4060/cb6598en>
- COSTANTINI E.A.C., PRIORI S. (2021): *Avoiding improper earth movements before planting tree crops*, in *Recarbonizing Global Soils – A technical manual of recommended management practices. Vol. 3: Cropland, grassland, integrated systems and farming approaches – Practices overview*, FAO & ITPS, Roma, pp. 337-345. <https://doi.org/10.4060/cb6595en>

- GRUNWALD S. (2009): *Multi-criteria characterization of recent digital soil mapping and modeling approaches*, «Geoderma», 152 (3-4), pp. 195-207. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.06.003>
- MARTINI E., COMINA C., PRIORI S., COSTANTINI E.A.C. (2013): *A combined geophysical-pedological approach for precision viticulture in the Chianti hills*, «Bollettino di Geofisica Teorica e Applicata», 54 (2), pp. 165-181.
- MCBRATNEY A.B., SANTOS M.L.M., MINASNY B. (2003): *On digital soil mapping*, «Geoderma», 117 (1-2), pp. 3-52. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(03\)00223-4](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(03)00223-4)
- MULDER V.L., DE BRUIN S., SCHAEPMAN M.E., MAYR T.R. (2011): *The use of remote sensing in soil and terrain mapping — A review*, «Geoderma», 162 (1-2), pp. 1-19. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.12.018>
- PIIKKI K., SÖDERSTRÖM M., STENBERG B. (2015): *Three decades of proximal soil sensing research: A bibliometric analysis*, «Precision Agriculture», 16 (3), pp. 299-311. <https://doi.org/10.1007/s11119-014-9380-8>
- PRIORI S., et al. (2016): *6. Sensori e metodi per rilievi prossimali delle proprietà del suolo e della coltura*. AGRICOLTURA DI PRECISIONE-Metodi e tecnologie per migliorare l'efficienza e la sostenibilità dei sistemi colturali. Il Sole 24 Ore Edagricole srl, pp. 129-153.
- PRIORI S., BIANCONI N., FANTAPPIÈ M., PELLEGRINI S., FERRIGNO G., GUAITOLI F., COSTANTINI E.A.C. (2013a): *The potential of γ -ray spectroscopy for soil proximal survey in clayey soils*, «EQA – Environmental quality / Qualité de l'Environnement / Qualità ambientale», 11, pp. 29-38.
- PRIORI S., FANTAPPIÈ M., BIANCONI N., FERRIGNO G., PELLEGRINI S., COSTANTINI E.A.C. (2016): *Field-scale mapping of soil carbon stock with limited sampling by coupling gamma-ray and Vis-NIR spectroscopy*, «Soil Science Society of America Journal», 80 (4), pp. 954-964. <https://doi.org/10.2136/sssaj2016.01.0018>
- PRIORI S., FANTAPPIÈ M., MAGINI S., COSTANTINI E.A.C. (2013b): *Using the ARP-03 for high-resolution mapping of calcic horizons*, «International Agrophysics», 27 (3), pp. 313-321.
- PRIORI S., L'ABATE G., FANTAPPIÈ M., COSTANTINI E.A.C. (2018): *Mapping soil spatial variability at high detail by proximal sensors for vineyard planning*, «EQA – Environmental quality», 30, pp. 9-15.
- PRIORI S., MARTINI E., ANDRENELLI M.C., MAGINI S., AGNELLI A.E., BUCELLI P., BIAGI M., PELLEGRINI S., COSTANTINI E.A.C. (2013c): *Improving wine quality through harvest zoning and combined use of remote and soil proximal sensing*, «Soil Science Society of America Journal», 77 (4), pp. 1338-1348.
- ROSSEL R.A.V., BEHRENS T. (2010): *Using data mining to model and interpret soil diffuse reflectance spectra*, «Geoderma», 158 (1-2), pp. 46-54. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.12.025>
- STOLBOVOY V., MONTANARELLA L., FILIPPI N., JONES A., GALLEGGO J. (2007): *Field soil sampling to detect the changes of organic carbon stock in mineral soil*, in *Carbon Sink Enhancement in Soils of Europe: Data, Modeling, Verification*, JRC Scientific and Technical Reports, Ispra (VA), Italy, pp. 31-73.