

La componente pedologica del *terroir*

Edoardo A.C. Costantini*

CREA - Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria, Centro di ricerca per l'agrobiologia e la pedologia, Firenze

Ricezione: 13 gennaio 2015; Accettazione: 7 febbraio 2015

The soil component of *terroir*

This review paper is aimed at drawing the main traits of an interdisciplinary research field, bridging different branches of pedology with crop sciences and food analysis. The *terroir* concept is introduced, giving a special emphasis to the research works that have investigated the role played by soil on *terroir* recognition. Water and oxygen availability are the main drivers of the soil effect on *terroir*, but other soil functional qualities for wine grape as well as other quality products (olive oil, apple, pomegranate, potato, carrot, truffle, beer, coffee, and tobacco), are reported.

Soils of the well-known *terroirs* are often characterized by moderate water, oxygen and nutrient supply, probably regulated by a specific biodiversity, able to assure the target qualitative result without massive integration of fertilizers. Thus, a challenge for soil scientists is to provide the evidences and the tools to farmers in order to let them select, maintain and carefully support the soil of *terroir*. Best *terroirs* are rooted in soils that in most years produce moderate yield but of good quality, without massive integration of fertilizers or unsustainable risks for soil quality conservation. Then farming systems were tailored to maintain and carefully support the agro-ecosystems that were created by this harmonic synergy between nature and man.

Nowadays, developing new premium *terroirs* without making many errors is only possible by means of a thoroughly and detailed knowledge of the different components of *terroir*, giving a pivotal emphasis to soil. Yet spatial variation of soils is often great, especially in Mediterranean countries, because of natural as well as anthropic causes. Setting up methodologies and technologies capable to obtain a detailed soil mapping of soil functional properties at reasonable cost and time is one of the main objective of the research in this field. Many efforts are currently spent to better integrate different kinds of proximal and remote soil sensors, either between them and with other state controlling factors (topography, climate, vegetation).

A special focus is then given to the new frontiers that soil sciences can offer to this research field, in particular, on the new materials and methods that can be used to understand and measure the soil influence on wine grape and other quality crops. Advances are shown on: i) the use of proximal and remote soil sensors, models, and statistical analysis, ii) the spatial and temporal assessment of nutrient availability and soil biology, iii) the adoption of the carbon isotope ratio to assess the stress suffered from the plant during the growing season, and iv) the new methodologies to trace the food origin.

Key words: precision agriculture, vis-NIR, NDVI, kriging, metagenomics, $\delta^{13}\text{C}$ isotopes.

Introduzione

Le colture di qualità producono alimenti che sono apprezzati per le loro caratteristiche salutistiche ed organolettiche, in particolare per il loro gusto. E' ben noto che il gusto del cibo può essere influenzato da una serie di cause, come il processo tecnologico, la cultivar e l'agrotecnica, ma vi è una crescente consapevolezza che l'ambiente fisico della produzione gioca un ruolo importante sul gusto del cibo. La valorizzazione della vocazione culturale di un territorio può essere uno degli strumenti più efficaci per la tutela della qualità e della "tipicità" degli alimenti, nonché della risorsa suolo dai rischi di degrado. La consapevolezza che la qualità di un prodotto alimentare è strettamente legata ad un particolare ambiente costituisce la base per una generale preoccupazione circa la conservazione delle caratteristiche e qualità di tale ambiente. Inoltre, il generale riconoscimento tributato ad agricoltori particolarmente attenti nella conservazione delle qualità di uno specifico territorio aggiunge un ulteriore valore all'immagine del prodotto venduto sul mercato.

Anche se già conosciuto e formalizzato in Egitto e in epoca romana, il moderno riconoscimento del lega-

* edoardo.costantini@entecra.it

me tra suolo, clima, uomo, cultivar e qualità di un alimento è nato in Francia ed è stato applicato al vino un paio di secoli fa (Vaudour, 2002). Ciò ha portato alla formulazione del concetto di "*terroir*", che è stato solo di recente formalizzato dall'Organizzazione Internazionale della Vigna e del Vino (OIV, 2010), ma che oggi vale anche per altre colture.

La parola chiave *terroir* nel database Scopus (www.scopus.com) porta ad identificare 386 articoli pubblicati dal 1980, in costante aumento dal 2005 al 2014 (fig. 1). Ciò rivela il crescente interesse della comunità scientifica per la tematica. E' inoltre interessante notare come il tema del *terroir* sia fortemente multidisciplinare e transdisciplinare, tanto da interessare più di venti diverse discipline (tab. 1). In effetti, la pubblicazione maggiormente citata nelle scienze agrarie e biologiche "*Influence of climate, soil, and cultivar on terroir*" (Van Leeuwen *et al.*, 2004), raccoglie 148 citazioni, ma è sorpassata da "*Translating terroir: The global challenge of French AOC labelling*" (Barham, 2003), che ha avuto ben 169 citazioni (database Scopus) ed appartiene invece alle scienze sociali. Gli studi sul *terroir* ormai riguardano non solo i principali paesi produttori di vino, ma una quarantina di Stati nei quattro continenti (fig. 2), anche se la Francia, da sola, ha prodotto quasi un terzo dei lavori.

Il suolo è unanimemente considerato una componente importante del *terroir* e questo articolo tratta in primo luogo delle esperienze che hanno indagato il ruolo svolto dalle caratteristiche del suolo sull'effetto *terroir*. Particolare attenzione viene poi data alle nuove frontiere della pedologia in questo campo di studio, in particolare, a nuovi materiali e metodi che possono essere utilizzati per capire e misurare l'influenza del suolo in viticoltura.

Tab. 1 - Area disciplinare delle pubblicazioni ISI sul *terroir* (fonte: Scopus database).

Tab. 1 - disciplinary area of the ISI papers on *terroir* (source: Scopus database).

Area disciplinare	n. pubblicazioni
Agricultural and Biological Sciences	197
Social Sciences	89
Earth and Planetary Sciences	60
Environmental Science	42
Arts and Humanities	31
Chemistry	27
Biochemistry, Genetics and Molecular Biology	23
Business, Management and Accounting	21
Economics, Econometrics and Finance	18
Medicine	13
Immunology and Microbiology	8
Computer Science	6
Chemical Engineering	5
Engineering	5
Materials Science	5
Energy	4
Nursing	4
Veterinary	4
Multidisciplinary	3
Neuroscience	2
Decision Sciences	1
Mathematics	1
Pharmacology, Toxicology and Pharmaceutics	1
Undefined	6

Il concetto di *terroir* in vitivinicoltura

La definizione ufficiale di "*terroir* vitivinicolo" stabilisce che esso è un concetto che si riferisce a uno

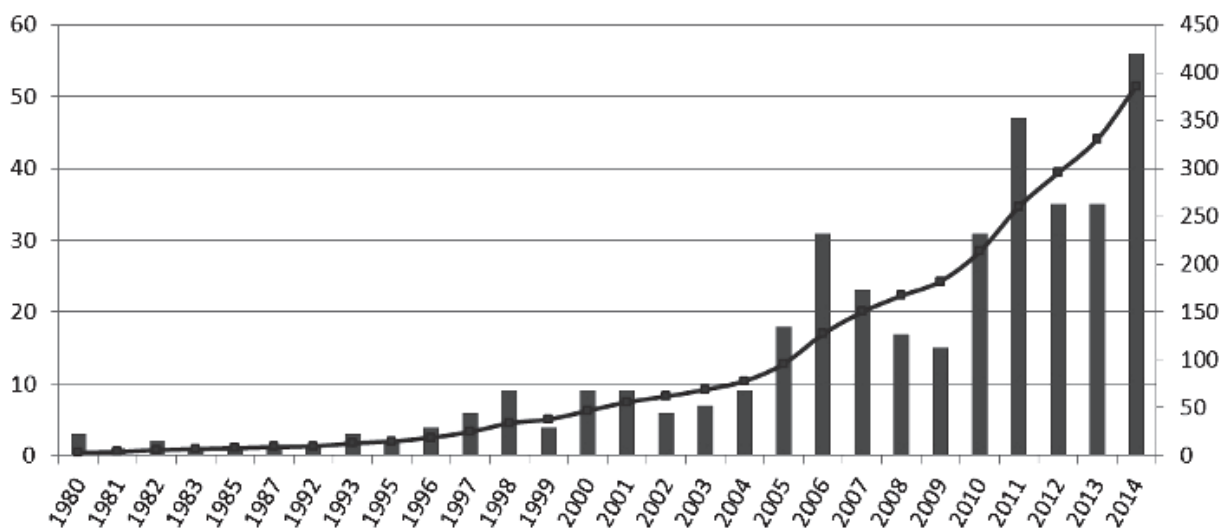


Fig. 1 - andamento delle pubblicazioni ISI sul *terroir* (fonte: Scopus database).

Fig. 1 - Trend of the ISI papers on *terroir* (source: Scopus database).

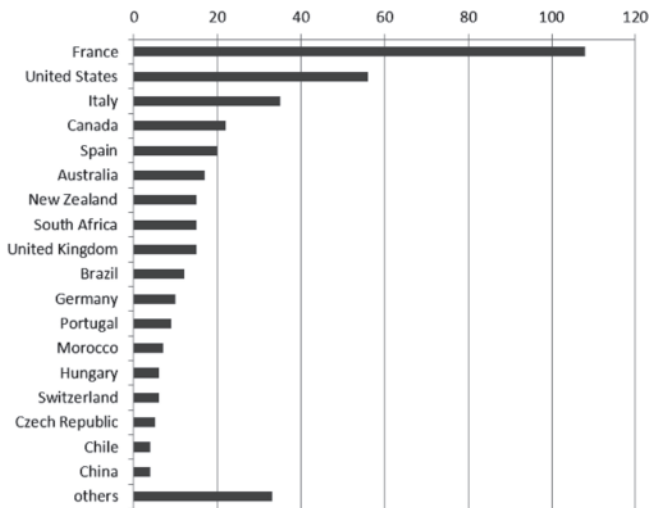


Fig. 2 - Numero di pubblicazioni ISI sul *terroir* in funzione del paese (fonte: Scopus database).

Fig. 2 - Country of the ISI papers on *terroir* (source: Scopus database).

spazio nel quale si sviluppa una cultura collettiva delle interazioni tra un ambiente fisico e biologico identificabile e le pratiche vitivinicole che vi sono applicate, che conferiscono caratteristiche distintive ai prodotti originari di questo spazio. Il “*terroir*” include pertanto caratteristiche specifiche del suolo, della topografia, del clima, del paesaggio e della biodiversità (OIV, 2010) (fig. 3).

Quando viene applicato a tutte le colture, un *terroir* può essere definito come un territorio le cui caratteristiche naturali, vale a dire suolo, sottosuolo, rilievo e clima, formano un assemblaggio unico di fattori che conferiscono al prodotto agricolo, attraverso le piante o gli animali, caratteristiche specifiche e di alta qualità organolettica. L'uomo ha orientato le tecnologie di allevamento e trasformazione dei prodotti agricoli alle particolari condizioni ambientali naturali, per esaltare la qualità del cibo e conferirgli particolarità ed esclusività (Costantini e Bucelli, 2008).

Un *terroir* è una zona delimitata, di dimensioni variabili secondo i suoi fattori naturali e culturali, che permette una dimensione economica della produzione (Vaudour, 2002; Van Leeuwen e Seguin, 2006). Anche se la superficie può variare notevolmente, molti *terroir* abbracciano alcune decine di ettari (Costantini *et al.*, 2006). I *terroir* possono essere mappati alle scale di dettaglio o semi-dettaglio (principalmente da 1: 5.000 a 1: 25.000), delineando le terre con caratteri simili per clima, topografia, geologia, pedologia e sistemi gestionali, con riconoscimento di origine e tipicità (Van Leeuwen *et al.*, 2010). Il concetto di *terroir* può essere utilizzato non solo in relazione ad una zona di produzione già consolidata, ma può anche essere applicato ad un territorio di recente sviluppo, come nel caso delle viticoltura americane e dell'Oceania. Storicamente, è attraverso la creazione di un primo *terroir* con riconoscimento di status di alta qualità, all'interno di un territorio potenzialmente vocato, che il concetto di *terroir* è stato introdotto e reso popolare. Questo ha sempre implicato la necessità di un alto investimento iniziale.

A scala più vasta, il rapporto tra territorio e vino è stato descritto nell'Atlante dei territori del vino italiano (Pollini *et al.*, 2013), nel quale sono stati raggruppati i territori vitivinicoli protetti dalle Denominazioni di Origine di dimensione sub-regionale, secondo un criterio di prossimità e affinità pedoclimatica. Questo approccio ha consentito di individuare delle “macroaree”, le quali rappresentano l'unità di lettura del territorio vitivinicolo italiano. Le macroaree presentano un certo livello di omogeneità rispetto agli elementi più significativi del *terroir*, primi fra tutti la geologia, la morfologia del rilievo e le caratteristiche bioclimatiche alla scala di riferimento 1:500.000. In particolare, riflettono la natura del materiale parentale da cui hanno preso origine i caratteri chimici e fisici del suolo. Nelle macroaree risulta-

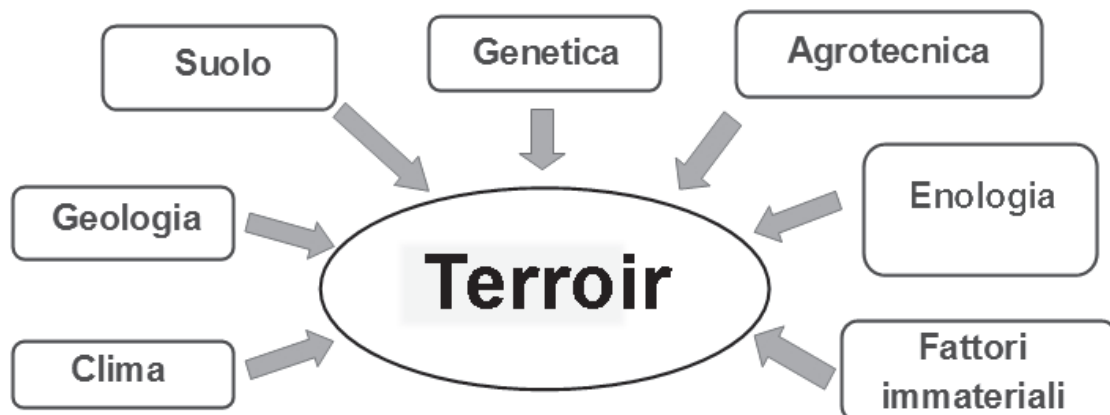


Fig. 3 - Fattori di stato del *terroir*.

Fig. 3 - State factors of *terroir*.

no riunite unità di territorio caratterizzate da un elevato numero di elementi comuni, in grado di caratterizzare la produzione vinicola.

Alcuni meccanismi che regolano l'effetto del suolo sui *terroir* vitivinicoli

In tutte le aree viticole, alcuni meccanismi regolano l'effetto del suolo sul funzionamento della vite, sulla composizione dell'uva e sulla tipicità del vino. Tuttavia, la maggior parte delle evidenze che mettono in relazione il vino con le caratteristiche pedologiche sono empiriche (Van Leeuwen *et al.*, 2004). Ad esempio, è stato ampiamente dimostrato che i migliori *terroir* per la produzione di vini rossi sono spesso collocati dove alcuni fattori del suolo riducono la vigoria della vite e la dimensione della bacca (Van Leeuwen e Seguin, 2006), in modo che le uve maturino lentamente. Questi fattori limitanti possono essere chimici (per esempio, salinità, antagonismi ionici, alimentazione azotata contenuta), o più spesso fisici (ridotto approvvigionamento idrico durante certe fasi del ciclo vegetativo).

Nel complesso, la nutrizione idrica ed azotata della vite sono considerate essenziali per la qualità del vino. Il loro ruolo nel determinare l'effetto *terroir* è stato osservato in molte zone vitivinicole e con diverse varietà, tra le altre, in Francia, con Cabernet Sauvignon, Merlot e Sauvignon Blanc, in Australia con Sauvignon Blanc, in Ungheria con Kékfrankos, in USA con Cabernet Sauvignon e Chardonnay.

Oltre alle evidenze empiriche, sono stati scoperti alcuni meccanismi biochimici. In particolare, è stato dimostrato che la disponibilità di acqua nel terreno altera l'equilibrio ormonale di ciascuna varietà di vite, che a sua volta regola l'espressione del genotipo. Durante la fase iniziale di crescita, il tasso di allungamento dei germogli segue la concentrazione di auxine, gibberelline e citochinine. Dopo la fioritura, invece, vi è una diminuzione della quantità di ormoni della crescita e del tasso di allungamento. L'inviatura è caratterizzata dall'incremento della sintesi di etilene e acido abscissico e da un rallentamento della crescita della bacca. La disponibilità di azoto e di acqua controlla la biosintesi dei flavonoli attraverso l'attivazione dell'enzima fenilalanina ammonio-liasi (PAL), che devia la fenilalanina dal percorso che associa i carboidrati con la sintesi delle proteine.

Azoto, potassio e fosforo sono i macronutrienti più studiati nella ricerca delle relazioni suolo-pianta, in particolare nella fisiologia della vite, perché giocano un ruolo importante in molte funzioni e processi biologici, sia della vite sia dei microrganismi nella fer-

mentazione (Van Leeuwen e Seguin, 2006). La nutrizione azotata, in particolare, influenza i componenti della qualità dell'uva e, in ultima analisi, del vino.

Anche la cinetica di fermentazione e la formazione dei metaboliti precursori degli aromi nel mosto sono influenzati dal contenuto in azoto. Infatti, l'assorbimento di azoto dal suolo aumenta la concentrazione nelle bacche dei principali composti azotati, quali azoto totale, aminoacidi totali, arginina, pralina e ammonio e, di conseguenza, dell'azoto prontamente assimilabile (APA). Valori intermedi di APA favoriscono il miglior equilibrio tra gli attributi chimici e sensoriali desiderabili e indesiderabili del vino.

Il ruolo del *terroir* nel determinare le fasi fenologiche della vite

Le caratteristiche del *terroir* determinano la fenologia della cultivar. Ogni varietà ha delle caratteristiche genetiche che influenzano il suo comportamento vegetativo, produttivo e qualitativo, in modo più o meno stabile nei vari ambienti. Molti parametri sono determinati dalla natura del genoma, in particolare la durata delle fasi fenologiche o le caratteristiche di base del grappolo e del mosto (composizione fenolica e ricchezza aromatica, rapporti zuccheri/acidi). Tuttavia, molte varietà hanno reattività e stabilità diversa in funzione del luogo di coltivazione. Infatti, ci sono varietà che si adattano bene anche in ambienti molto dissimili, garantendo sempre risultati soddisfacenti. Cabernet Sauvignon, Merlot e Chardonnay, ad esempio, sono varietà coltivate in tutto il mondo proprio per questo motivo, hanno un controllo genetico più forte sulla fenologia. Altri vitigni invece rispondono anche a piccole variazioni di ambiente pedoclimatico, come è il caso del Sangiovese. Il lavoro degli studiosi del suolo può essere determinante per quanto riguarda questo secondo modello fenologico, evitando il rischio di declassamento di varietà e/o ambienti pedoclimatici conseguenti a cattive valutazioni. Infatti, i vitigni possono realizzare il loro potenziale solo se collocati in zone adatte, o viceversa un ambiente può distinguersi e guadagnare fama solo attraverso un adeguato vitigno. Le stesse considerazioni possono essere fatte per i cloni e il loro comportamento.

Nei terreni più adatti ad un determinato vitigno, i vini di alta qualità si ottengono ogni anno, nonostante le variazioni climatiche. In realtà, è soprattutto negli anni difficili che la superiorità del "grand cru" diventa più evidente, poiché il suolo attenua gli effetti nocivi delle condizioni climatiche estreme, come i lunghi periodi di siccità o di precipitazioni prolungate.

Inoltre, tali suoli spesso consentono di limitare o escludere gli interventi di fertilizzazione chimica di sintesi, con il risultato di ottimizzare la sostenibilità ambientale della viticoltura.

I lavori di zonazione viticola hanno indicato che ogni singola situazione ambientale può essere valutata in termini di potenzialità per quanto riguarda il modello di riferimento agronomico e le caratteristiche ambientali che permettono la sua creazione (Costantini e Bucelli, 2008). In altre parole, il risultato enologico corrisponde ad un modello di crescita e maturazione della pianta determinato dalle pratiche agricole, dal clima e dalle condizioni pedologiche. La valutazione deve essere effettuata in funzione della distanza tra le condizioni specifiche e quelle di riferimento, in altre parole, in funzione degli ostacoli che le condizioni naturali oppongono al raggiungimento dell'obiettivo agronomico.

Nell'ambiente mediterraneo, la fenologia e la produzione potenziale delle colture sono determinati soprattutto dalla disponibilità idrica, sia in termini di acqua disponibile per le piante, così come di potenziale idrico, cioè la forza con cui il suolo trattiene l'acqua. Anche la vegetazione e la riproduzione della vite, che rinnova una buona parte delle sue radici di assorbimento ogni anno, sono profondamente influenzate dall'acqua disponibile nel corso della stagione vegetativa. Il modello fenologico di riferimento della vite è caratterizzato dalla fine della dormienza in primavera, con la crescita vegetativa che dura fino alla fioritura, dopo di che rallenta fino a fermarsi dopo l'invaiaitura. Questa cinetica della parte aerea della pianta corrisponde ad un approfondimento del sistema radicale, seguito da una progressiva diminuzione dell'attività delle radici fini superficiali, quelle maggiormente responsabili della nutrizione idrica e del vigore.

All'inizio dell'estate, dopo la fioritura, l'acqua diventa meno abbondante e viene trattenuta dal suolo più tenacemente, per cui la crescita delle piante è complessivamente ridotta e la maturazione può essere paragonata ad un processo di senescenza precoce. La mancanza di acqua induce anche l'accumulo di antociani, tannini e composti fenolici negli acini d'uva, mentre è favorita la degradazione dell'acido malico: processi che contribuiscono a determinare la qualità dei vini rossi, in particolare la loro finezza e tipicità (Lebon *et al.*, 2003). Tuttavia, se le condizioni di stress idrico si verificano troppo presto e in modo troppo accentuato, in particolare tra germogliamento e fioritura, ostacolano lo sviluppo della chioma e il completamento degli organi fiorali. La pianta non è in grado di adattarsi al cambiamento ormonale e l'accumulo di composti nei frutti avviene in modo acce-

lerato e sbilanciato. Così, prima dell'invaiaitura, il deficit idrico ha effetti diretti, immediati, talvolta irreversibili sulla quantità e la qualità complessiva della produzione, dal momento che l'uva durante questa fase è coinvolta in una intensa attività di moltiplicazione e distensione cellulare, fondamentale per le dimensioni finali. Dopo l'invaiaitura invece, quando avviene la maggiore espansione delle cellule, il subentrare di condizioni moderate di deficit idrico non solo non compromette la qualità e il peso delle uve, ma può anche portare ad una concentrazione di soluti e ad una maturazione rivolta più verso l'elaborazione e l'accumulo di composti preziosi per la qualità dell'uva, determinanti la finezza aromatica e fenolica.

Altre evidenze empiriche della dipendenza del *terroir* da particolari caratteristiche pedologiche

Oltre all'influenza della nutrizione idrica e azotata, vi è una serie di altre relazioni empiriche che dimostrano la dipendenza del *terroir* dai caratteri e qualità del suolo. Tra le più conosciute vi è l'effetto del colore del suolo. Il colore è una delle principali caratteristiche del suolo (fig. 4). Esso può differire ampiamente da bianco brillante, come in alcuni terreni calcarei, a rosso, come nelle famose "terre rosse", o nero, in terreni ricchi di ardesia. Il colore del suolo influisce sulla qualità e la quantità di luce riflessa nella zona dei grappoli e sulle parti vegetative della vite, influenzando così le prestazioni della pianta. Il colore della luce riflessa dalla superficie del suolo sembra essere utilizzato dal sistema di regolazione della crescita della vite per alterare lo sviluppo vegetativo. In Sud Africa, con il Cabernet Sauvignon, la superficie grigia del suolo ha provocato una maggiore colorazione dell'uva, mentre il contenuto di potassio della polpa è stato il più alto dove il suolo era rosso. I terreni sassosi riflettono maggiormente il calore se i clasti sono di color chiaro. Esempi ben noti sono quelli relativi ai ciottoli bianchi di Chateaufort-du-Pape e Sancerre (Francia) e Monsant (Spagna). Al contrario, le rocce metamorfiche e il calcare grigio della Franconia (Germania) producono terreni di colore scuro che riscaldano in tempi relativamente brevi e conservano il calore, promuovendo in tal modo la maturazione delle uve (Maltman, 2008). Importanti relazioni tra temperatura superficiale del suolo e temperatura dell'epidermide delle bacche sono stati trovati a Geisenheim (Germania) per il Riesling e Pinot nero. Nel nord Willamette Valley (Oregon, USA) i suoli derivati da basalto aumentano la sintesi delle citochinine nelle viti attraverso la dif-

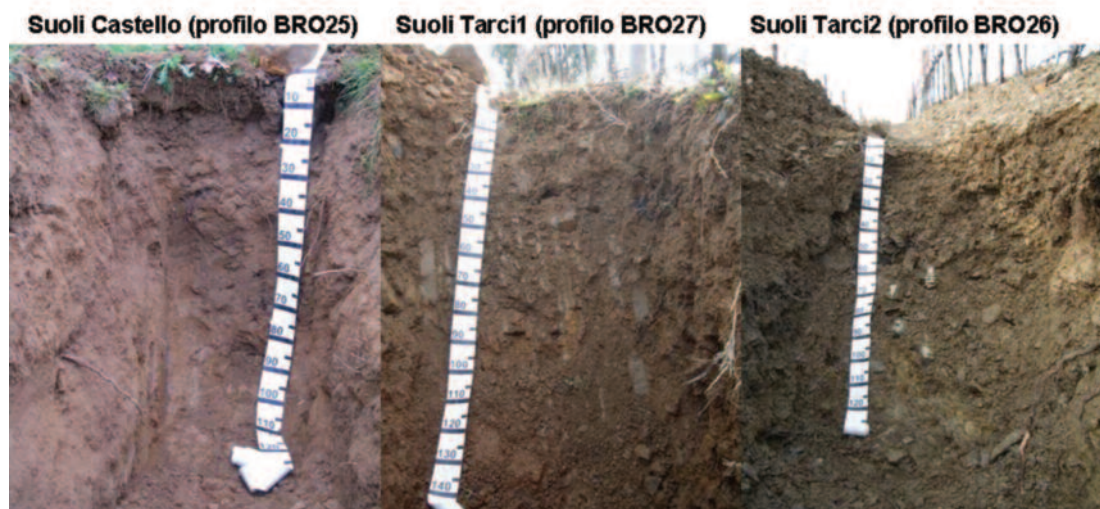


Fig. 4 - Suoli di diverso colore e proprietà fisiche e chimiche nei vigneti di una stessa azienda vitivinicola, posti a poche decine di metri uno dall'altro (foto S. Priori).

Fig. 4 - Soils of different colours and physical and chemical properties in the vineyards of the same winery, located a few dozen meters apart from each other (photo S. Priori).

fusione dell'irraggiamento termico diurno; effetti simili sono stati rilevati più a nord, in alcune parti del Walla Walla Valley, Washington, USA.

Un'altra caratteristica importante del terreno è il drenaggio dell'acqua, che è considerato una delle principali caratteristiche dei *terroir* (Costantini *et al.*, 2006). Nei vigneti posti sui depositi morenici di Fanciocorta (Lombardia), così come di molti altri terroir, è stato dimostrato che il drenaggio idrico regola la temperatura e la disponibilità di ossigeno per le radici della vite. In particolare, un drenaggio idrico del suolo rapido è risultato influenzare in modo significativo la precocità di germogliamento e l'intensità dello stress idrico estivo.

I risultati di una zonazione viticola in Emilia-Romagna hanno evidenziato il rapporto tra il contenuto di calcare nel suolo e il colore, la struttura e l'intensità del profumo del vino. In terreni con contenuto in calcare scarso o assente, l'uva aveva valori inferiori di grado zucchero, intensità del colore e struttura del vino prodotto. Al contrario, in terreni con elevato calcare attivo, l'uva mostrava un grande contenuto di zuccheri e polifenoli, i vini erano corposi e ad alta intensità di colore. Studi condotti in Alto-Adige con uva Schiava hanno anch'essi dimostrato che i polifenoli totali nell'uva aumentano con l'aumentare del calcare attivo nel suolo.

Il contenuto di potassio del suolo può avere un forte effetto sull'acidità del mosto. In particolare, la vite risponde a un eccesso di assorbimento di potassio sintetizzando acido malico, per neutralizzare l'eccesso di ioni K^+ . La reazione determina la diminuzione dell'acidità e l'aumento del pH. Il contenuto di potassio nelle bacche è stato anche messo in relazione con il

valore del pH del mosto e alcuni autori hanno suggerito che qualsiasi fattore che riduca l'attività fotosintetica delle foglie potrebbe aumentare l'accumulo di potassio nelle bacche. Tali fattori possono essere lo stress idrico, l'esposizione al vento, l'eccessivo ombreggiamento della chioma, come riscontrato con il Cabernet Sauvignon in Sud Africa (Carey *et al.*, 2008).

Le ricerche più recenti stanno evidenziando un ruolo sempre maggiore dei micronutrienti piuttosto che dei macronutrienti. Lo zolfo, componente essenziale degli aminoacidi cisteina e metionina, è coinvolto nella protezione dei tessuti nei confronti di stress ossidativi ed è implicato nella strategia di difesa della vite contro alcuni patogeni fungini e batterici. Il calcio è importante per mantenere l'integrità delle membrane cellulari. La sua carenza porta le pareti cellulari a disintegrarsi facilmente e le membrane a diventare permeabili, fino a causare la morte cellulare. Lo zinco ha un ruolo utile nel proteggere la pianta contro molti stress ambientali. Il manganese è stato trovato correlato con composti fenolici presenti negli acini d'uva (Bramley e Janik, 2005), gli autori hanno trovato che le cartografie aziendali della concentrazione dei composti fenolici nelle bacche alla vendemmia e di Mn nei piccioli alla fioritura erano molto simili.

La salinità del suolo può influire significativamente sulle prestazioni della vite. Il sale in eccesso ha sempre un effetto sulla pressione osmotica dell'acqua, ma può anche risultare tossico per la pianta, provocando la riduzione della resa, la crescita dei germogli e del peso della bacca. Tuttavia Costantini *et al.* (2009) hanno dimostrato una migliore performance del Sangiovese nel Chianti quando le viti erano colti-

vate su terreni molto fertili, ma moderatamente salini in profondità, grazie ad un limitato rigoglio vegetativo della vite. Analoghi risultati sono stati ottenuti per il Nero D'Avola (Scacco *et al.*, 2010).

La geologia di una regione è anch'essa considerata una componente importante del *terroir* (Maltman, 2008; Costantini *et al.*, 2012). La geologia influenza la forma del paesaggio, conferendo morfologia, spazi e articolazioni che caratterizzano un distretto di produzione. La geologia influenza anche il clima del vigneto, attraverso l'altitudine, l'esposizione del pendio, la vicinanza a corpi idrici, l'esposizione ai venti dominanti. A Stellenbosch (Sud Africa) è stato dimostrato che le differenze di esposizione al vento hanno un maggiore effetto sul Sauvignon blanc rispetto alle differenze climatiche stagionali (Carey *et al.*, 2008).

La natura della roccia e dei sedimenti determina la composizione fisica e chimica del suolo, governa il drenaggio profondo, quindi la qualità delle acque sotterranee e delle acque di irrigazione. Infine, una caratteristica rilevante della roccia è il suo grado di resistenza alla penetrazione radicale. Questa proprietà deriva dal tipo di roccia, in particolare, dalla presenza di piani di rottura, dalla loro distanza e orientamento. Chi scrive ha potuto verificare direttamente come alcune delle migliori uve a bacca rossa prodotte nella zona del Douro in Portogallo, così come nel Priorat in Catalogna (Spagna), Languedoc Roussillon (Sud della Francia) e in Chianti (Toscana) sono ottenute da suoli evoluti su scisti argillosi ("galestro"). La foliazione dello scisto infatti fornisce spazi per la penetrazione radicale profonda in un materiale altrimenti impenetrabile. In questo modo le piante trovano nel suolo un fattore limitante l'eccessiva crescita (la scarsa massa di suolo esplorabile dalle radici) ma al tempo stesso una possibilità di approvvigionamento idrico dagli strati profondi che riduce l'eccessivo stress idrico estivo. Il risultato è una maturazione dell'uva regolare ed equilibrata, non eccessivamente precoce né tardiva, condizione fondamentale per ottenere un'ottimale accumulo di elaborati nelle bacche.

***Terroir* di altre colture di qualità**

Il "concetto di *terroir*", originariamente sviluppato per il vino, è ora applicato in molte altre colture di qualità, come frutta, verdura, olio d'oliva, caffè, cacao e altri prodotti alimentari. In effetti, oltre che per l'uva da vino, c'è un certo numero di altre colture per le quali è stato dimostrato l'effetto *terroir*.

L'olio di oliva è sicuramente un alimento in cui la qualità gioca un ruolo importante. Alcuni studi hanno messo in relazione i parametri pedologici con il risul-

tato qualitativo della produzione olivicola. In Italia, l'effetto *terroir* è stato evidenziato in Calabria, Sardegna, e Toscana. I risultati sperimentali hanno mostrato che il sistema radicale dell'olivo ha bisogno di un buon equilibrio tra porosità di trattenuta idrica e porosità per la circolazione dell'aria tellurica, quindi i terreni con un buon drenaggio sono i più adatti. Suoli con scarso drenaggio sono pregiudizievoli, in particolare quando la difficoltà di drenaggio non è migliorata da un buon deflusso superficiale (*runoff*). L'idrologia del suolo è stata dimostrata funzionale per l'olivo anche da Franchini *et al.* (2009). La capacità di acqua disponibile (AWC), in particolare, è risultato il parametro che maggiormente regola la risposta agronomica dell'olivo, sia quantitativamente che qualitativamente.

In una ricerca condotta in Toscana per verificare l'influenza della disponibilità idrica del suolo sui componenti nutraceutici e il profilo sensoriale dell'olio di oliva vergine ottenuto da olivi non irrigati delle varietà 'Frantoio' e 'Moraiolo' (Bucelli *et al.*, 2011), l'umidità del terreno è stata monitorata in anni climaticamente contrastanti in due oliveti, entrambi con piante delle due cultivar, omogenei per età, densità, e forma di allevamento. I terreni avevano caratteristiche chimiche simili, ma contrastanti proprietà idrologiche. I risultati hanno sottolineato il ruolo svolto dal regime idrico del suolo sui composti minori polari e tocoferoli e sulle caratteristiche sensoriali dell'olio di oliva. Il terreno che aveva un deficit idrico relativamente più intenso e più lungo durante l'estate ha avuto una maturazione precoce e ha dato i migliori risultati in termini di MPC, in particolare aglicone oleuropeina, idrossitirosolo, tirosolo e luteolina e, di conseguenza, sulle proprietà anti-ossidanti dell'olio d'oliva. Le proprietà sensoriali dell'olio ottenuto da entrambe le cultivar su questo suolo erano superiori in entrambi gli anni di prova. Così il regime idrico del suolo, insieme con il clima dell'anno, sono risultati determinare i componenti nutraceutici e la qualità sensoriale dell'olio di oliva vergine in modo maggiore di quanto attribuibile all'effetto della varietà coltivata.

Terroir di caffè sono stati studiati in diversi paesi del centro America e del nord Africa. In Honduras è stata condotta un'indagine che ha permesso di definire la relazione tra l'ambiente e la qualità della bevanda attraverso un approccio olistico. I risultati, elaborati con analisi multivariata, hanno mostrato che la qualità della bevanda è particolarmente collegata all'altitudine dei terreni e alle precipitazioni, oltre che all'acidità del suolo, all'ombreggiamento, alla resa della pianta e alla dimensione dei frutti. Le bevande più apprezzate, aromatiche ed equilibrate, sono state ottenute nelle

piantagioni situate ad altitudini elevate (1.115 m di quota in media), con una pioggia media annua abbondante (1.726 mm), un terreno leggermente acido e ricco di elementi, una percentuale media di ombreggiamento (48%), un rendimento elevato (464 nodi da frutto per albero) e bacche di grande pezzatura. Questi risultati hanno permesso di mappare le zone di produzione di caffè di qualità in Honduras.

L'effetto di alcune proprietà del suolo sulla produttività e la qualità delle bacche di caffè in agricoltura biologica (*Coffea Arabica* var. *Typica* L.) è stato studiato in Messico (Comeau e Krasilnikov, 2006). Questo studio è stato effettuato nello stato di Oaxaca, ad un'altitudine di 800-1.300 m. Il clima della regione è caldo isotermico umido con precipitazioni annue di 1.800-2.000 mm e una temperatura annuale media di 21-21,9 °C. Il caffè è stato coltivato all'ombra della vegetazione naturale. Nei quindici siti selezionati per questo studio sono stati misurati produttività e sapore, aroma, corpo e acidità di 225 arbusti di caffè. I terreni migliori erano profondi, franco sabbiosi, a pH 5-6, con struttura granulare nell'orizzonte di superficie, tale da fornire buona aerazione e infiltrazione. Se le nutrizioni azotata, fosforica e potassica sono risultate importanti per la crescita della pianta, le condizioni fisiche sono stati i fattori che maggiormente influivano sulla qualità.

In Costa Rica sono stati esaminati due *terroir*: Orosi (tra il 1.020 e 1.250 m s.l.m.) e Santa Maria de Dota (tra 1.550 e 1.780 m) (Avelino *et al.*, 2005) per valutare gli effetti dell'esposizione, pendenza, altitudine e rendimento su diversi criteri di valutazione organolettica della tazza di caffè. Le esposizioni a levante hanno dato le bevande con attributi generalmente superiori, probabilmente a causa di una migliore esposizione al sole del mattino. Una relazione positiva è stata trovata tra l'altitudine e le preferenze del degustatore in entrambi i *terroir*. Una relazione negativa è stata invece trovata tra resa e acidità della bevanda a Santa Maria de Dota, dove alcune piante di caffè producevano fino a 13 kg di bacche. I caffè prodotti a Orosi sono stati caratterizzati da un sapore floreale, che dipendeva dall'esposizione dei versanti, mentre il caffè di Santa Maria de Dota mostrava un sapore di cioccolato, più marcato in quota. In entrambi i *terroir* il contenuto di caffeina, trigonellina, grassi, saccarosio e acido clorogenico non erano ben correlati con le caratteristiche sensoriali.

In Cina, Chai *et al.* (2009) hanno studiato la relazione tra il suolo e la qualità della mela Fuji. La concentrazione di elementi chimici nel suolo e nell'acqua di falda sono stati messi in relazione con i caratteri di qualità delle mele. I risultati hanno indicato che le

acque di falda e la composizione del terreno sono strettamente correlati con la qualità delle mele. Mg, Cu e pH delle acque sotterranee, K disponibile e pH del suolo, hanno mostrato una forte correlazione con l'acidità totale, lo zucchero e il rapporto tra acidità e zuccheri totali nelle mele. Una carta della attitudine alla coltivazione della mela Fuji nelle contee di Qian e Baishui è stata quindi prodotta in base alle caratteristiche del suolo e dell'acqua di falda.

Il rapporto tra qualità del melograno e nutrizione minerale è stato studiato nella provincia di Hebei (Cina) (Gao *et al.*, 2008). Il risultato mostra che la qualità del melograno dolce piantato su suoli derivanti da gneiss a biotite-plagioclasio è migliore di quello piantato in terreni formati su altre rocce e in terreni con crepe ben sviluppate (Vertisols). Alti valori di P, Mn, Zn e Sr, e bassi di Ni e Cr, sono stati correlati con la qualità del melograno piantato su gneiss. Anche se il contenuto in K nei suoli su gneiss era inferiore, è risultato più facilmente assorbito dal melograno. La carta della distribuzione di suoli adatti alla produzione di melagrano di alta qualità è stata ottenuta seguendo l'analisi degli elementi nel terreno, in particolare, la distribuzione di P, Mn, Zn e Sr.

La relazione tra qualità del suolo e patata (varietà Agria) è stata studiata in Calabria nel distretto della Sila Grande, nel corso di cinque anni di ricerche (Lulli *et al.*, 2009). Sono state confrontate tre serie di suolo:

- la serie di suolo Cecita sui depositi fluvio-lacustri, costituiti di ghiaia, limo e argilla;
- la serie Sila evoluta su granito, granito-diorite, micascisti e gneiss;
- la serie Croce della Palma su granito, granito-diorite, quarzo-diorite, micascisti e gneiss.

La patata ha mostrato diverse caratteristiche di qualità e quantità in funzione della serie di suolo. Infatti, i terreni della zona Cecita hanno prodotto tuberi di medio impasto e consistenza, con bassa umidità, gusto tipico e abbastanza forte, con un retrogusto di castagna, rispetto al suolo della serie Sila. La serie Croce della Palma ha mostrato una elevata variabilità delle caratteristiche organolettiche: la polpa variava da leggermente tenera a moderatamente dura, la granulosità tra leggermente fine e fine, il gusto tipico da lieve a forte. Un altro effetto del suolo era sulla tuberizzazione, avvenuta prima nella serie Sila, poi nel Cecita e da ultimo nella serie Croce della Palma. I suoli Sila esaltavano il gusto tipico e non hanno mostrato sensazioni di retrogusto così forte da compromettere la qualità del prodotto. D'altra parte, le patate provenienti dai terreni Cecita mostravano un gusto debole. In definitiva, i terreni ricchi di sostanza

organica e tessitura franca producevano patate con un profilo organolettico inferiore a quelle ottenute su terreni con tessitura franco sabbiosa, con contenuto di materia organica medio o basso.

I rapporti tra caratteri del *terroir* e qualità di alcune verdure sono stati indagati in Francia (Villeneuve, 1997), in particolare per le carote, in cui la dimensione della radice è stata messa in relazione con la consistenza e la struttura del terreno. Un grado 'Extra' è stato attribuito alle carote coltivate su sabbia. Il valore nutritivo invece, caratterizzato dai livelli di zucchero, vitamina A, acido ascorbico e fibra, è stato ricondotto a diversi livelli di minerali (N, P, K, Ca, B). Un panel di assaggiatori ha rivelato una chiara differenza nel gusto organolettico di carote coltivate a Mont-Saint-Michel rispetto a quelle coltivate in Val-de-Saire, Nantes e nella regione dei Landes della Francia.

Tra le colture “di nicchia”, Bragato *et al.* (2009) hanno riportato informazioni sull'habitat delle cinque principali specie di tartufo commestibile (*Tuber* spp.) Il tartufo richiede suolo soffice, ben areato e la presenza di calcare attivo. Queste condizioni possono essere trovate in una vasta gamma di suoli, ma è il modo in cui si combinano che gioca un ruolo decisivo per la produzione di tartufo. In particolare, il *Tuber magnatum*, chiamato anche tartufo bianco d'Alba, è presente ogni volta che una buona aerazione è originata nel suolo da apporti colluviali o da attività fluviale, o dall'azione di lombrichi, dalla mesofauna, o dall'attività umana. Questo tubero richiede anche una certa umidità del suolo, ma non tollera ristagni d'acqua, in modo che anche quando la distanza da corsi d'acqua è ridotta, i terreni adatti per il fungo sono sempre ben drenati. Il *Tuber melanosporum*, chiamato anche nero di Norcia o tartufo Perigord, ha bisogno di un terreno leggermente umido anche in estate, essendo la stagione critica per la crescita del tartufo. La perdita di acqua è spesso limitata dall'effetto pacciamatura di ghiaia biancastra sulla superficie del suolo. I siti adatti si trovano nelle morfologie abbastanza stabili, dove il suolo è sottoposto a parziale decarbonatazione, seguita da una carbonatazione secondaria. Ogni specie di tartufo ha una propria strategia di vita, ma tutti richiedono buona umidità e drenaggio, terreni sub-alcalini, caratterizzati da una buona aerazione, una saturazione in basi completa e presenza di carbonati, anche se alcuni di loro tollerano un pH neutro e suoli non carbonatici.

Una ricerca condotta da Castelli e Costantini (2009) per nove anni in 49 appezzamenti di tabacco *flue-cured* a sud di Verona ha evidenziato che l'elevata macroporosità del suolo è il fattore principale per il successo del raccolto: i migliori risultati di rendimen-

to sono stati raggiunti con una capacità d'aria nel suolo superiore al 30%. In termini di caratteristiche fisiche, il terreno ideale è in grado di assicurare una perfetta e pronta trafficabilità alle macchine agricole, una ossigenazione ottimale alle radici, un buon drenaggio e un profondo radicamento. Infatti, la crescita della radice viene favorita da una bassa quantità di acqua disponibile all'inizio della coltivazione in campo in primavera, in modo che le radici sono indotte ad esplorare un grande volume di terreno, al fine di garantire la fornitura di acqua necessaria per l'impianto durante il suo sviluppo successivo. Limitazioni di profondità del suolo, come la presenza di orizzonte petrocaltico o torba, sono risultate particolarmente negative.

Sfide future nello studio dell'influenza del suolo sul *terroir*

Spesso considerate immutabili alla scala temporale dell'uomo, le componenti naturali del *terroir* sono in realtà un insieme di processi che insieme creano un delicato equilibrio e regolano il suo effetto sulle colture sia nello spazio che nel tempo. Negli ultimi anni lo studio del *terroir* si è approfondito e dettagliato, a causa di una necessità sempre maggiore di comprendere le ragioni della variazione locale della produzione agricola e, allo stesso tempo, per l'accresciuta disponibilità di tecnologie analitiche spaziali avanzate.

E' ben noto infatti che le proprietà del suolo possano variare notevolmente anche all'interno di un singolo campo, in modo che un vigneto, per esempio, può produrre due o più tipi di vino (figg. 5 e 6). L'ottimizzazione dell'agrotecnica in funzione delle caratteristiche del terreno è l'obiettivo principale dell'agricoltura di precisione, certamente una delle nuove frontiere dell'agricoltura, in un'ottica di miglioramento qualitativo, oltre che produttivo, e della sostenibilità ambientale ed economica dell'attività agricola (Costantini e Barbetti, 2008).

L'adozione di metodologie che consentano una conoscenza dettagliata della variabilità spaziale e temporale delle proprietà funzionali del suolo è un fattore chiave per l'agricoltura di precisione. I progressi nell'adozione di questa agrotecnica sono essenzialmente basati su:

- l'uso di sensori prossimali e remoti, di modelli di simulazione colturale e di analisi statistica di grandi volumi di dati,
- la valutazione spaziale e temporale della disponibilità dei nutrienti e della biologia del suolo,
- l'adozione del rapporto isotopico del carbonio per



Fig. 5 - Carta dei terroir vitivinicoli aziendali, con indicazione dei siti sperimentali.

Fig. 5 - Map of farm viticultural terroir, with an indication of the experimental sites.

valutare lo stress subito dalla pianta durante la stagione vegetativa

- le nuove metodologie per tracciare l'origine degli alimenti.

L'uso di sensori prossimali e remoti, di modelli di simulazione culturale e di analisi statistica di grandi volumi di dati

L'aumentata disponibilità di dati e tecnologie geospaziali avvenuta negli ultimi 15 anni ha reso accessibile lo studio alla scala di campo della componente pedologica del *terroir* anche al singolo produttore, con conseguenti maggiori possibili applicazioni. Per gestire la produzione di vini di *terroir* è necessario comprendere al meglio la variabilità spaziale e temporale della composizione dell'uva, ma la conoscenza dettagliata delle proprietà funzionali dei suoli è difficile da raggiungere con i metodi tradizionali. In realtà, il monitoraggio tradizionale delle proprietà del suolo è limitato in termini di numero di siti da campionare, in ragione del tempo e del costo delle attività di campo e di laboratorio. Ad oggi, vi è la necessità di introdurre e mettere a punto nuove tecnologie per ridurre i costi di indagine. Una forte innovazione è costituita dall'utilizzo di sensori prossimali per il monitoraggio *on-the-fly* delle caratteristiche del terreno (Andrenelli *et al.*, 213). In questa prospettiva, le proprietà elettriche del suolo (resistività elettrica o conducibilità) possono essere considerate come uno strumento promettente, in grado di rappresentare la variabilità spaziale e temporale di molte proprietà fisiche e chimiche del suolo (ad esempio, struttura, contenuto di acqua e salinità). Nel complesso, le mappe fornite da questi sensori di campo sono la base per dimensionare le strategie di campionamento del suolo, in quanto riflettono con precisione la variazione spaziale delle caratteristiche del suolo sia in superficie sia in profondità (Priori *et al.*, 2013a).

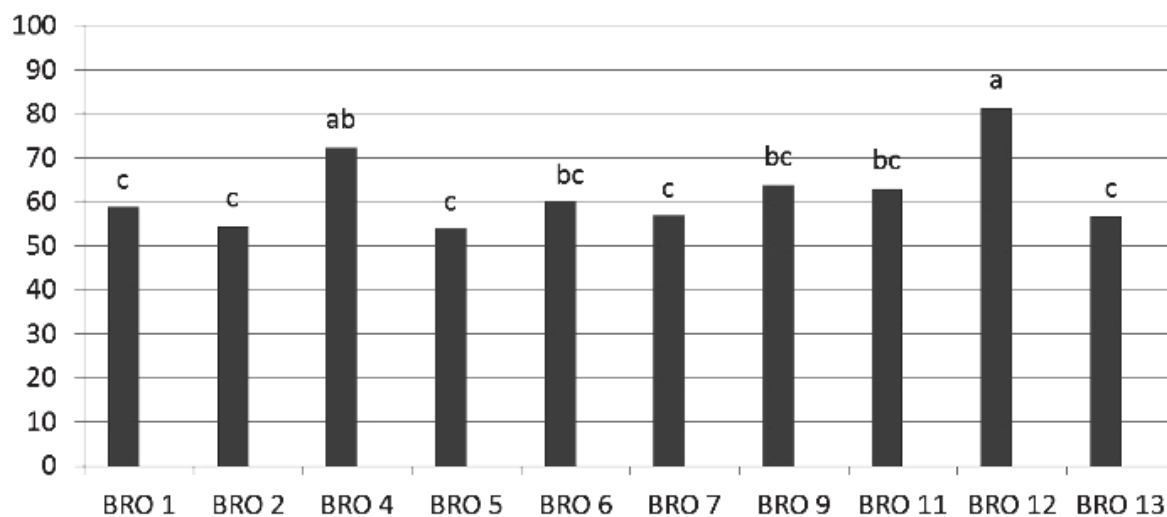


Fig. 6 - Performance media del Sangiovese (Bucelli *et al.*, 2010) in suoli e siti sperimentali per le annate 2008, 2009 e 2010. Le medie contrassegnate da lettere uguali non sono significativamente differenti per $p < 0,05$ (test di Tukey).

Fig. 6 - Average performance of Sangiovese (Bucelli *et al.*, 2010) in soils and experimental sites for the years 2008, 2009 and 2010. The means marked with the same letters are not significantly different for $p < 0.05$ (Tukey's test).

La misura della conducibilità elettrica apparente (ECA) è influenzata da diversi fattori, tra cui il contenuto di argilla, ghiaia, umidità del suolo, salinità, profondità di orizzonti di argilla compatta. Poiché i fattori che influenzano l'ECA sono complessi e interdipendenti, le mappe di ECA rappresentano una sintesi della variabilità spaziale in termini di fisica (tessitura, struttura, porosità), idrologia (umidità, drenaggio, profondità della falda idrica) e talvolta chimica del suolo (salinità).

Anche la misurazione dell'emissione naturale dal suolo di raggi gamma è uno strumento promettente che è stato recentemente aggiunto alla famiglia dei sensori prossimali del suolo. Essendo sensibile alle radiazioni di basso livello, emesse naturalmente da radioisotopi del potassio, torio e uranio, il radiometro gamma è in grado di fornire indicazioni circa l'acqua del suolo, la materia organica e sostanze nutritive entro 30-40 cm dalla superficie (Priori *et al.*, 2014b).

La spettroscopia nel visibile e vicino infrarosso (vis-NIR) sta diventando molto importante nel rilevamento prossimale del suolo, anche in virtù della commercializzazione di diversi modelli di spettroradiometro vis-NIR portatile. La spettroscopia vis-NIR può fornire molte informazioni sul suolo in termini di sostanza organica, tessitura, contenuto di umidità, capacità di scambio cationico e carbonato di calcio anche se richiede una corretta calibrazione. Biblioteche contenenti spettri rilevati in campo o in laboratorio possono essere utilizzate per sviluppare modelli utili a prevedere proprietà del suolo altrimenti analizzate con metodi di routine, in particolare, la materia organica del suolo (SOM), i minerali, la consistenza, alcuni nutrienti, l'acqua, il pH ed i metalli pesanti.

Le metodologie di rilevamento e di elaborazione delle immagini in remoto per monitorare la variabilità delle colture, e indirettamente le proprietà del suolo, fanno uso di immagini multispettrali di alto dettaglio per elaborare l'indice NDVI (*Normal Difference Vegetation Index*). I sensori possono essere montati su satellite, aereo, ma anche su micro-UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*).

Un approccio alternativo all'uso di sensori prossimali e remoti per il monitoraggio del bilancio idrico del suolo e la sua distribuzione spaziale è basato sui modelli di simulazione colturale. Ci sono molti esempi di modelli idrologici empirici o fisicamente basati specificamente sviluppati per la vite a scala di vigneto o di bacino (Lebon *et al.*, 2003). Alcune esperienze sono state condotte per l'applicazione di modelli idrologici su unità di mappa del suolo per la caratterizzazione del *terroir* (Bonfante *et al.*, 2011).

Per far fronte alla grande ricchezza di dati forniti dai diversi sensori prossimali e remoti, sono necessarie nuove metodologie statistiche. La massa di dati provenienti dai sensori consente di ottenere contemporaneamente molti descrittori in una stessa zona esaminata. Questi descrittori non sono misurazioni dirette delle proprietà del suolo, ma quando messi in relazione alle caratteristiche del suolo possono fornire informazioni importanti per discriminare i terreni, possono essere utilizzati per produrre mappe di prescrizione ai fini di una ottimale gestione del vigneto e/o per determinare differenti zone di vendemmia (Fleming *et al.*, 2000; Costantini *et al.*, 2009).

I dati provenienti da più fonti possono essere combinati al fine di ottenere maggiori inferenze sulle proprietà del suolo. Ci sono vari metodi per la fusione di informazioni primarie e secondarie, utilizzando tecniche statistiche e geostatistiche multivariate, nonché diverse estensioni multivariate di kriging, come kriging con deriva esterna (KED) kriging della regressione (RK), cokriging, (CK), kriging dell'analisi fattoriale (FKA) e l'analisi fattoriale discriminante. Un esempio di zone di vendemmia per le uve da vino, ottenuto da descrittori di clustering derivati da diverse fonti, è riportato da Priori *et al.* (2013b). I vini sono stati prodotti con gli stessi processi ordinari della cantina e hanno espresso alcune differenze significative tra zone di vendemmia, soprattutto in termini di intensità di colore, polifenoli e contenuto di antociani, che sono stati utilizzati dall'azienda per differenziare il marketing del vino.

La valutazione spaziale e temporale della disponibilità dei nutrienti e della biologia del suolo

La valutazione spaziale e temporale di disponibilità di nutrienti è una nuova frontiera di studi per determinare l'influenza del suolo sulle colture di qualità. Secondo la filosofia dell'agricoltura di precisione, ogni aggiunta di fertilizzante deve essere progettata in modo preciso e misurato in ogni parte del campo, anziché spandere una copertura uniforme. In particolare, riducendo la fornitura di fertilizzanti a seconda della variabilità spaziale e temporale delle esigenze della pianta, si ottiene un ulteriore fattore di ottimizzazione della sostenibilità delle colture.

Idealmente, i suoli dei migliori *terroir* devono essere caratterizzati da un apporto nutritivo stabile e ben bilanciato, in grado di assicurare il risultato qualitativo desiderato senza una massiccia integrazione di fertilizzanti. Inoltre, questi suoli sono spesso caratterizzati da una fertilità chimica moderata. In questo modo i sistemi di allevamento e di gestione del vigneto

to possono essere orientati al mantenimento e attento sostentamento di un agro-ecosistema, piuttosto che all'alimentazione di una coltura.

In questo contesto, l'attività biologica del suolo è ritenuta svolgere un ruolo importante. E' ben noto che la composizione minerale della soluzione trasportata dalla radice alle foglie tramite i vasi xilematici incide in modo significativo sullo sviluppo delle piante e dipende principalmente dall'interazione tra la composizione fisico-chimica del suolo e la natura biochimica-biofisica dei sistemi radicali. Inoltre, le comunità microbiche del suolo circostante le radici delle piante conferiscono effetti benefici alla pianta, come ad esempio una maggiore crescita e una ridotta suscettibilità alle malattie causate da patogeni.

L'analisi della fertilità biologica del suolo del vigneto può assumere forme diverse. I parametri più utilizzati sono carbonio organico del suolo, il rapporto carbonio/azoto, il tasso di mineralizzazione del carbonio organico, la biomassa microbica e la respirazione. Anche se un collegamento tra biologia del suolo e espressione *terroir* è difficile da valutare, alcuni risultati indicano che nei vigneti mediterranei i suoli conservati sono meno influenzati da variazioni ambientali e mostrano una ridotta attività biologica, ma più stabile, probabilmente correlata ad una maggiore biodiversità (Costantini *et al.*, 1996).

Oltre alle analisi biochimiche, l'indagine della struttura della comunità microbica può essere realizzata mediante sequenziamento e analisi del DNA direttamente estratto e purificato dal terreno, il cosiddetto "metagenoma" (Mocali e Benedetti, 2010). Lo studio delle comunità microbiche del suolo è importante per individuare i cicli biogeochimici di macro e micronutrienti, ma la determinazione della diversità funzionale delle comunità microbiche è anche fondamentale per valutare il miglior apporto nutritivo e l'equilibrio del *terroir*. Pertanto l'approccio metagenomico, che ci permette di conoscere la composizione filogenetica di tutta la comunità microbica, dovrebbe essere supportato da metodi volti a valutare il metabolismo microbico e la diversità funzionale. Una prima analisi potrebbe essere effettuata attraverso l'applicazione del profilo fisiologico della comunità, comunemente chiamato "BIOLOG". Tuttavia il recente sviluppo di una nuova tecnologia di microarray, il Geochip, offre uno strumento completo per lo studio dei processi biogeochimici, ecologici e ambientali. Questa generazione di array di geni funzionali contiene sonde che coprono circa 57.000 varianti del gene da 292 famiglie di geni funzionali coinvolti nei cicli del carbonio, azoto, fosforo e zolfo, nel metabolismo energetico, nella resistenza agli antibiotici e ai metalli

e nella degradazione dei contaminanti organici. E' particolarmente utile per fornire collegamenti diretti tra geni microbici, processi del suolo e funzioni relative alla mineralizzazione di materie organiche.

Se la rilevanza della biodiversità del suolo è ampiamente accettata in termini ecologici, le interazioni con i fattori del suolo che regolano la qualità dei prodotti agricoli è ancora ignota. A tal fine, lo studio dell'ecologia del suolo dovrebbe anche tener conto della mesofauna. Valutare la comunità della fauna di microartropodi del suolo, in particolare, potrebbe contribuire alla conoscenza di importanti funzioni degli agro-ecosistemi quali decomposizione, riciclo dei nutrienti e mantenimento delle proprietà fisico-chimiche, come la struttura del suolo. In generale, gli indici biologici a base di invertebrati del suolo considerano la consistenza e la ricchezza delle popolazioni. Ad esempio, la presenza di alcuni gruppi di acari del suolo può fornire informazioni utili per valutare la qualità ecologica dei sistemi agricoli (Simoni *et al.*, 2013).

Anche i lombrichi sono una componente importante della mesofauna del suolo, che potrebbe contribuire a caratterizzare i diversi sistemi di gestione agronomica, ad esempio l'agricoltura biologica. I lumbricidi e gli enchytreidi, in particolare, influenzano la dinamica della struttura del suolo, del carbonio e dei nutrienti, sia direttamente che indirettamente attraverso i loro effetti sui microrganismi del suolo (Vavoulidou *et al.*, 2006).

Infine vale la pena ricordare l'importanza dello studio degli enzimi idrolitici, in particolare cellulasi e fosfatasi, prodotti dai microorganismi del suolo per catalizzare la decomposizione di grandi molecole organiche, come la cellulosa e l'inositolo fosfato, in monomeri più piccoli, come il glucosio e il fosfato. Questi enzimi sono suscettibili di controllare i cicli biogeochimici degli elementi come il carbonio, l'azoto, il fosforo e lo zolfo, quindi sono buoni indicatori della qualità biologica di uno specifico suolo e quindi candidati per caratterizzare i *terroir*.

L'adozione del rapporto isotopico del carbonio per valutare lo stress idrico

Recentemente, in aggiunta agli indicatori colturali più comunemente usati, un nuovo marcatore fisiologico è stato introdotto per descrivere il regime idrico della vigna durante il periodo di maturazione, cioè il rapporto tra i due isotopi stabili del carbonio $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, chiamato $\delta^{13}\text{C}$, misurato negli zuccheri del mosto alla raccolta, o nell'alcool del vino prodotto (Van Leeuwen *et al.*, 2003; Costantini *et al.*, 2010; Costantini *et al.*, 2013). Il test si basa sulla discrimi-

nazione isotopica del carbonio che si verifica durante il corso della fotosintesi clorofilliana. La vite preferisce l'assorbimento dell'isotopo ^{12}C , perché oltre ad essere molto più abbondante nella CO_2 atmosferica (circa il 99%), è anche più leggero. Pertanto, gli zuccheri formati nell'uva hanno atomi di carbonio con una percentuale di isotopi ^{12}C maggiore rispetto alla CO_2 atmosferica, di conseguenza le uve mostrano un rapporto $\delta^{13}\text{C}$ inferiore. Nel caso di stress da deficit idrico, la discriminazione isotopica diminuisce di intensità. Infatti, gli stomi della foglia nelle ore più calde della giornata si chiudono, rallentando l'attività fotosintetica; gli scambi gassosi tra foglia e l'atmosfera sono ridotti e quindi anche la possibilità di discriminare l'assorbimento degli isotopi di carbonio. In queste condizioni il $\delta^{13}\text{C}$ tende a crescere e avvicinarsi al valore di quello della CO_2 atmosferica (-8 ‰).

L'interesse per questo indice è anche attribuibile alla semplicità di campionamento, in definitiva è sufficiente raccogliere un campione rappresentativo delle uve delle piante in esame, alla raccolta o durante il corso della maturazione. Per la vite la gamma dei valori varia tra -21,0 e -28,0‰ o più e il valore soglia di circa -26,0‰ distingue condizioni di presenza o assenza di stress da deficit idrico durante la maturazione (Van Leeuwen *et al.*, 2003). Nella zona del Chianti, è stato riscontrato per il vitigno Sangiovese che la soglia tra una valutazione organolettica del vino ottimale o ridotta corrisponde ad un valore $\delta^{13}\text{C}$ di $-26,7 \pm 1,2$ ‰ (Costantini *et al.* 2010). Questo valore può essere scelto come primo riferimento per la delimitazione dei *terroir* del Sangiovese.

Nuove metodologie per tracciare l'origine degli alimenti

L'analisi del DNA, utilizzando la metodologia del DNA-Barcoding, permette di fornire un'impronta digitale per ogni prodotto, garantendone la provenienza e la qualità. Infatti le sequenze di DNA, uniche per ogni specie o sottospecie, possono essere utilizzate come un "codice a barre" per identificare un prodotto in confronto con i dati del database specifico contenente le sequenze di tutte le specie conosciute. Pertanto l'identificazione dei cosiddetti marcatori molecolari per la tracciabilità della filiera agricola può diventare una nuova sfida per la protezione dei prodotti di alta qualità.

Tra le tecniche spettroscopiche, la Risonanza Magnetica Nucleare (NMR), fenomeno fisico in cui nuclei in un campo magnetico assorbono e riemettono radiazioni elettromagnetiche, fornisce informazioni sulla natura molecolare del prodotto e presenta nume-

rosi vantaggi rispetto alle classiche tecniche analitiche. In realtà si tratta di una tecnica non distruttiva ed è applicabile sia ai liquidi (latte, vino, olio, bevande, ecc.) e ai solidi (carne, pane, formaggio, ecc.). Così questa tecnica consente di ottenere rapidamente molte informazioni strutturali e quantitative del campione analizzato. In abbinamento con tecniche di spettrometria di massa, è possibile ottenere la tracciabilità di molti prodotti tipici.

Nel campo della spettrometria di massa, oltre all'IRMS, la spettrometria di massa ad alta risoluzione (HRMS), la spettrometria di massa a ionizzazione termica (TIMS) e la spettrometria di massa al plasma ad accoppiamento induttivo (ICP-MS) sono le tecniche più utilizzate.

Lo studio delle caratteristiche isotopiche dello stronzio può essere un metodo efficace per la tracciabilità geografica dei vini di qualità (Almeida e Vasconcelos, 2001). La certificazione di autenticità può riguardare la zona di produzione e avere scopo legale, ma può essere anche di interessante per la azienda vitivinicola per certificare la provenienza dell'uva da una zona specifica. Infatti, il terreno dove cresce la vite eredita le proprie caratteristiche dalla litologia del substrato. La sostanza minerale è sciolta nella matrice acquosa del vino, i cationi e gli anioni di origine geologica, assorbiti dalle radici delle piante con le sostanze nutritive, sono fissati all'interno delle bacche. La concentrazione di tali sostanze, soprattutto la frazione cationica, è di qualche parte per miliardo (ng/g). La distribuzione relativa di alcuni elementi alcalino-terrosi come lo stronzio (Sr) e il rubidio (Rb), anche se in concentrazioni molto basse, è fortemente legata alla composizione mineralogica del suolo e del substrato roccioso. Quindi la composizione isotopica di alcuni di questi elementi pesanti (ad es. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) deriva certamente dalla natura ed età delle rocce che costituiscono il substrato geologico della vigna. Queste caratteristiche permettono l'uso isotopico di Rb-Sr come marcatore litologico, dal momento che ogni roccia presente sul nostro pianeta ha un caratteristico rapporto isotopico $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (Fortunato, 2004; Kelly, 2005). Perciò ogni sistema suolo/roccia dove un vigneto è piantato ha il proprio rapporto isotopico. Per esempio, un terreno su un substrato di granito ha un rapporto isotopico $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} > 0,710$, a causa della rapporto Rb/Sr elevato della roccia madre, che ha determinato un'elevata produzione di radiogeno ^{87}Sr . Al contrario, i terreni su basalti e carbonati di roccia sedimentaria - con basso rapporto Rb/Sr - hanno rapporto isotopico $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} < 0.710$. Se il rapporto isotopico $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ è estremamente variabile da roccia a roccia, è però costante per ogni

roccia, per cui il rapporto isotopico potrebbe essere una vera e propria impronta digitale per tracciare l'origine del vino.

I lantanidi o terre rare (Rare Earth Elements, REE) sono stati studiati con particolare attenzione alla tracciabilità alimentare (Bertoldi *et al.*, 2009). I lantanidi sono molto interessanti per la loro somiglianza chimica; non sono soggetti alla scissione selettiva di concentrazione dal suolo al cibo. Quindi questi elementi, anche se presenti in piccole concentrazioni (ppb o ppt), possono essere significativamente rintracciabili negli alimenti secondo una distribuzione che segue quella del terreno. Questo potrebbe essere particolarmente vero per quei cibi che non subiscono trasformazione prima della commercializzazione, come ad esempio i prodotti ortofrutticoli, ma è interessante verificare questa ipotesi anche per i prodotti derivati da catene più elaborate, come il vino (Augagneur *et al.*, 1996).

Conclusioni

I migliori *terroir* sono radicati in suoli dove per la maggior parte degli anni le colture producono con rese moderate ma di buona qualità, senza una massiccia integrazione di fertilizzanti chimici e rischi insostenibili per la conservazione della qualità del suolo. Nei territori con un'antica tradizione agricola, come nei paesi mediterranei, secoli di tentativi ed errori hanno portato gli agricoltori a selezionare come *terroir* i terreni più vocati e ad adattare l'agrotecnica verso il risultato quanti-qualitativo di riferimento. In questo modo i sistemi agricoli tradizionali si sono orientati a mantenere e sostenere attentamente gli agro-ecosistemi che sono stati creati da questa armonica sinergia tra natura e uomo.

A questa realtà agronomica conservativa si stanno sempre più affiancando nuove realtà interessate ad arrivare in tempi brevi alla selezione delle aree e agrotecniche più idonee a sviluppare nuovi *terroir* d'eccellenza, senza fare molti errori. Questo sia nelle nazioni dove la coltura di riferimento, come la vite, è tradizionale, sia nei paesi di più recente diffusione. Questo è possibile solo per mezzo di una conoscenza di fondo e dettagliata delle diverse componenti del *terroir*, in particolare del suolo.

La variazione spaziale dei suoli è spesso molto elevata, specialmente nei paesi del Mediterraneo, per cause naturali e antropiche. Produrre metodologie e tecnologie in grado di ottenere una mappatura dettagliata delle proprietà funzionali del suolo a costi e tempi ragionevoli è sicuramente uno dei principali obiettivi della ricerca in questo campo. Molti sforzi

sono attualmente spesi per integrare meglio i diversi tipi di sensori prossimali e remoti, sia tra di loro sia con altri fattori (topografia, clima, vegetazione).

Analogamente alle variazioni nello spazio, la conoscenza delle trasformazioni delle caratteristiche e qualità del suolo nel tempo è una frontiera tutt'ora aperta. La stagionalità naturale del clima, anche in questo caso particolarmente pronunciata nei paesi mediterranei, interagisce con la coltivazione, la concimazione, il passaggio delle macchine agricole e l'irrigazione nel cambiare le caratteristiche del suolo e lo stato dei nutrienti durante la stagione di crescita della pianta. Per questo motivo, nei programmi di monitoraggio del suolo l'attività deve prevedere il controllo delle variazioni spaziali delle caratteristiche funzionali con una certa frequenza, almeno corrispondente alle più importanti fasi fenologiche della coltura.

Il monitoraggio spazio-temporale dello stato idrico del suolo e della disponibilità di ossigeno ad una scala molto dettagliata è ancora un problema irrisolto, soprattutto in condizioni di tensione idrica elevata e in terreni sassosi e coltivati di frequente. Allo stesso modo, un monitoraggio dettagliato dei nutrienti nel suolo è forse ancora più difficile da raggiungere. In questo senso, l'esigenza di una informazione più densa di quella ottenuta con il laboratorio di analisi tradizionale potrebbe essere soddisfatta mediante l'uso di nuove tecnologie speditive, quali la spettroscopia infrarossa.

Infine, le recenti scoperte acquisite nello studio della biologia del suolo aprono nuove frontiere nella comprensione dei meccanismi che regolano l'effetto suolo sul *terroir*. L'approccio metagenomico, in particolare, è candidato a svelare i cicli biogeochimici dei macro e micronutrienti, e a far luce sulla diversità funzionale del *terroir*.

Riassunto

In questa review vengono disegnati i tratti principali di un campo di ricerca interdisciplinare, lo studio del *terroir*, che connette diverse branche della pedologia con le scienze agronomiche, biologiche e degli alimenti. E' introdotto il concetto di *terroir*, ponendo particolare attenzione alle ricerche che hanno indagato il ruolo svolto dal suolo sul riconoscimento del *terroir*. La disponibilità idrica ed azotata è il principale fattore dell'effetto suolo sul *terroir*, ma vi è una lunga serie di altre qualità funzionali del suolo, variabili secondo la coltura di riferimento. Nella review si riportano i risultati di studi sui rapporti tra qualità del suolo e uva da vino, olio d'oliva, mela, melograno, patate, carote, tartufo, caffè e tabacco.

I migliori *terroir* sono radicati in suoli dove per la maggior parte degli anni le colture producono con rese moderate ma di buona qualità, senza una massiccia integrazione di fertilizzanti chimici e rischi insostenibili per la conservazione della qualità del suolo. Una sfida per gli studiosi del suolo è quella di fornire le prove e gli strumenti agli agricoltori al fine di far loro scegliere, mantenere e sostenere con cura i suoli dei loro *terroir*.

Tra i nuovi materiali e metodi che possono essere utilizzati per capire e misurare l'influenza del suolo sull'uva da vino e le altre colture di qualità vengono segnalati: i) l'uso di sensori prossimali e remoti, di modelli di simulazione colturale e di analisi statistica di grandi volumi di dati; ii) la valutazione spaziale e temporale della disponibilità dei nutrienti e della biologia del suolo; iii) l'adozione del rapporto isotopico del carbonio per valutare lo stress idrico subito dalla pianta durante la stagione vegetativa; iv) le nuove metodologie per tracciare l'origine degli alimenti.

Parole chiave: agricoltura di precisione, vis-NIR, NDVI, kriging, metagenomica, $\delta^{13}\text{C}$, isotopi.

Bibliografia

- ALMEIDA C.M.R., VASCONCELOS S.D., 2001. *ICP-MS determination of strontium isotope ratio in wine in order to be used as fingerprint of its regional origin*. J. Anal. Atom. Spectrom., 16:607-611.
- 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: 24-34. DOI: 10.1016/j.jappgeo.2013.09.012
- AUGAGNEUR S., MÉDINA B., SZPUNAR J., LOBINSKI R., 1996. *Determination of rare earth elements in wine by inductively coupled plasma mass spectrometry using a microconcentric nebulizer*. J. Anal. Atom. Spectrom., 11(9): 713-721.
- AVELINO J., BARBOZA B., ARAYA J. C., FONSECA C., DAVRIEUX F., GUYOT B., CILAS C., 2005. *Effects of slope exposure, altitude and yield on coffee quality in two altitude terroirs of Costa Rica, Orosi and Santa Maria de Dota*. J. Sci. Food Agric. 85: 1869-1876.
- BARHAM E., 2003. *Translating terroir: The global challenge of French AOC labelling*. Journal of Rural Studies, 19 (1): 127-138.
- BERTOLDI D., LARCHER R., NICOLINI G., BERTAMINI M., CONCHERI G., 2009. *Distribution of rare earth elements in Vitis vinifera L. 'Chardonnay' berries*. Vitis, 48(1): 49-51.
- BONFANTE A., BASILE A., LANGELLA G., MANNA P., TERRIBILE F., 2011. *A physically oriented approach to analysis and mapping of terroirs*. Geoderma 167-168: 103-117.
- BRAGATO G., GARDIN L., LULLI L., RAGLIONE M., 2009. *Edible Truffles (Tuber spp.)*. In: Manual of Methods for Soil and Land Evaluation. Costantini E.A.C. Ed., Science Publishers, Enfield, NH, USA:254-266.
- BUCELLI P., COSTANTINI E.A.C., BARBETTI R., FRANCHINI E., 2011. *Soil water availability in rainfed cultivation affects more than cultivar some nutraceutical components and the sensory profile of virgin olive oil*. J. Agric. Food Chem., 59(15): 8304-8313.
- Bucelli P., Costantini E.A.C., Storchi P., 2010. *It is possible to predict Sangiovese wine quality through a limited number of variables measured on the vines*. J. Int. Sci. Vigne Vin, 44, 4, 207-218.
- CAREY V.A., ARCHER E., BARBEAU G., SAAHYMAN D., 2008. *Viticultural terroirs in Stellenbosch, South Africa. II. The interaction of Cabernet-Sauvignon and Sauvignon blanc with environment*. J. Int. Sci. Vigne Vin, 42, 4:185-201.
- CASTELLI F., COSTANTINI E.A.C., 2009. *Tobacco (Nicotiana tabacum)*. In: Manual of Methods for Soil and Land Evaluation. Costantini E.A.C. Ed., Science Publishers, Enfield, NH, USA: 211-221.
- CHAI Y., YAN B., SHI X., 2009. *Effects of Water and Soil Environment Situation for Apple Quality in Weibei Plateau*. Journal of Irrigation and Drainage, 28, 1.
- COMEAU L.P., KRASILNIKOV P., 2006. *Effect of Soil Properties on the Quality and Productivity of Coffee in Mountainous Regions of Sierra Madre del Sur (Southern México)*. 18th World Congress of Soil Science. July 9-15, 2006. Philadelphia, Pennsylvania, USA.
- COSTANTINI E.A.C., AGNELLI A., BUCELLI P., CIAMBOTTI A., DELL'ORO V., NATARELLI L., PELLEGRINI S., PERRIA R., PRIORI S., STORCHI P., TSOLAKIS C., VIGNOZZI N., 2013. *Unexpected relationships between $\delta^{13}\text{C}$ and wine grape performance in organic farming*. J. Int. Sci. Vigne Vin, 47(4): 269-285.
- COSTANTINI E.A.C., BARBETTI R., 2008. *Environmental and Visual Impact Analysis of Viticulture and Olive Tree Cultivation in the Province of Siena (Italy)*. Europ. J. Agronomy, 28: 412-426.
- COSTANTINI E.A.C., BARBETTI R., BUCELLI P., L'ABATE G., LELLI L., PELLEGRINI S., STORCHI P., 2006. *Land peculiarities of the vine cultivation areas in the province of Siena (Italy) with indications concerning the viticultural and oenological results of Sangiovese vine*. Ital. J. Geosci. (Boll. Soc. Geo. It.) 6: 147-159.
- COSTANTINI E. A.C., BUCELLI P., 2008. *Suolo, vite ed altre colture di qualità: l'introduzione e la pratica dei concetti "terroir" e "zonazione"*. Italian Journal of Agronomy, 1 Suppl.: 23-33.
- COSTANTINI, E.A.C., BUCELLI P., PRIORI S., 2012. *Quaternary landscape history determines the soil functional characters of terroir*. Quaternary International, 265: 63-73.
- COSTANTINI E.A.C., CAMPOSTRINI F., ARCARA P.G., CHERUBINI P., STORCHI P., PIERUCCI M., 1996. *Soil and climate functional characters for grape ripening and wine quality of "Vino Nobile di Montepulciano"*. Acta Hort. 427: 45-55.
- COSTANTINI E.A.C., PELLEGRINI S., BUCELLI P., BARBETTI R., CAMPAGNOLO S., STORCHI P., MAGINI S., PERRIA R., 2010. *Mapping suitability for Sangiovese wine by means of $\delta^{13}\text{C}$ and geophysical sensors in soils with moderate salinity*. Europ. J. Agronomy, 33: 208-217.
- COSTANTINI E. A.C., PELLEGRINI S., VIGNOZZI N., BARBETTI R., 2006. *Micromorphological Characterization and Monitoring of Internal Drainage in Soils of Vineyards and Olive Groves in Central Italy*. Geoderma, 131, 3-4: 388-403.
- COSTANTINI E. A. C., PELLEGRINI S., BUCELLI P., STORCHI P., VIGNOZZI N., BARBETTI R., CAMPAGNOLO S., 2009. *Relevance of the Lin's and Host hydropedological models to predict grape yield and wine quality*. Hydrology and Earth System Sciences, 13: 1635-1648.
- FLEMING K.L., WESTFALL D.G., WIENS D.W., BRODAHL M.C., 2000. *Evaluating farmer defined management zone maps for variable rate fertilizer application*. Precision Agriculture, 2 (2): 201-215.
- FORTUNATO G., MUMIC K., WUNDERLY S., PILLONELL L., BOSSETT J.O., GREMAUD G., 2004. *Application of strontium isotope abundance ratios measured by MC-ICP-MS for food authentication*. J. Anal. At. Spectrom., 19:227-234.

- FRANCHINI E., CIMATO A., COSTANTINI E.A.C., 2009. *Olive Tree* (*Olea europaea* L.). In: Manual of Methods for Soil and Land Evaluation. Costantini E.A.C. Ed., Science Publishers, Enfield, NH, USA: 402-449.
- GAO Y., SHEN J., LIU W., SHI Y. 2008. *Relationship between pomegranate quality and geochemical element characteristics in rock and soil in mountain area of Yuanshi County*. Chinese Journal of Eco-Agriculture.
- GAUDILLERE J.P., TREGOAT O., 2001. *Evaluation du régime hydrique de la vigne à partir du rapport isotopique $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$* . J. Int. Sci. Vigne Vin, 4, 195-205.
- JOHNSON L.F., ROCZEN D.E., YOUKHANA S.K., NEMANI R.R., BOSCH D.F., 2003. *Mapping vineyard leaf area with multi-spectral satellite imagery*. Computers and Electronics in Agriculture, 38(1): 33-44.
- KELLY S., HEATON K. HOOGERWERFF J., 2005. *Tracing the geographical origin of food: the application of multi-element and multi-isotope analyses*. Trends in Science and Technology, 16: 555-567.
- LEBON E., DUMAS V., PIERI P., SCHULTZ H.R. 2003. *Modelling the seasonal dynamics of the soil water balance of vineyards*. Functional Plant Biology, 30(6): 699-710.
- LULLI L., PALCHETTI E., VECCHIO G., CARUSO A.D., 2009. *Potato* (*Solanum tuberosum* L.). In: Manual of Methods for Soil and Land Evaluation. Costantini E.A.C. Ed., Science Publishers, Enfield, NH, USA: 197-210.
- MALTMAN A., 2008. *The Role of Vineyard Geology in Wine Typicity*. J. Wine Research., 19,1:1- 17.
- MOCALI S., BENEDETTI A., 2010. *Exploring research frontiers in microbiology: the challenge of metagenomics in soil microbiology*. Res. Microbiol. 161(6): 497-505.
- OIV (INTERNATIONAL ORGANISATION OF VINE AND WINE) 2010. *Resolution OIV/Viti 333/2010 Definition of vitivinicultural "Terroir"*. The General Director of the OIV, General assembly Tbilisi (Georgia) 25th June 2010: 1
- POLLINI L., BUCCELLI P., CALÒ A., COSTANTINI E.A.C., L'ABATE G., LORENZETTI R., LISANTI M.T., MALORGIO G., MOIO L., POMARICI E., STORCHI P., TOMASI D., 2013. *Atlante dei territori del vino italiano*. Enoteca Italiana, Pacini Ed. Siena, pp 864.
- PRIORI S., BIANCONI N., COSTANTINI E.A.C., 2014. *Can γ -radiometrics predict soil textural data and stoniness in different parent materials? A comparison of two machine-learning methods*. Geoderma, 226-227: 354-364.
- PRIORI S., FANTAPPIÈ M., MAGINI S., COSTANTINI E.A.C., 2013A. *Using the ARP-03 for high-resolution mapping of calcic horizons*. International Agrophysics, 27(3), 313-321.
- PRIORI S., MARTINI E., ANDRENELLI M.C., MAGINI S., AGNELLI A.E., BUCCELLI P., BIAGI M., PELLEGRINI S., COSTANTINI E.A.C., 2013B. *Improving wine quality through harvest zoning and combined use of remote and soil proximal sensing*. Soil Science Society of American Journal, 77(4), 1338-1348.
- SCACCO A., VERZERA A., LANZA C.M., SPARACIO A., GENNA G., RAIMONDI S., TRIPODI G., DIMA G., 2010. *Influence of soil salinity on sensory characteristics and volatile aroma compounds of Nero d'Avola wine*. Am. J. Enol. Vitic., 61: 498-505.
- SIMONI S., NANNELLI R., CASTAGNOLI M., GOGGIOLI D., MOSCHINI V., VAZZANA C., BENEDETTI S., MIGLIORINI P., 2013. *Abundance and biodiversity of soil arthropods in one conventional and two organic fields of maize in stockless arable systems*. Redia, 96: 37-44.
- VAN LEEUWEN C., FRIANT P., CHONÉ X., TREGOAT O., KOUNDOURAS S., DUBOURDIEU D., 2004. *Influence of Climate, Soil, and Cultivar on terroir*. Am. J. Enol. Vitic. 55(3): 207-217.
- VAN LEEUWEN C., ROBY J.-P., PERNET D., BOIS B., 2010. *Methodology of soil-based zoning for viticultural terroirs*. Bulletin de l'O.I.V., 83: 13-29
- VAN LEEUWEN C., SEGUIN G., 2006. *The concept of terroir in viticulture*. J. Wine Research, 17(1): 1- 10
- VAN LEEUWEN C., TREGOAT O., CHONÉ X., JAECK M.E., RABUSSEAU S., GAUDILLERE J.P., 2003. *Le suivi du régime hydrique de la vigne et son incidence sur la maturation du raisin*. Bull. O.I.V. 867-868: 367-379.
- VAUDOUR E. 2002. *The quality of grapes in relation to geography: notions of terroir at various scales*. J. Wine Res., 13, 2:117-141.
- VAVOULIDOU E., AVRAMIDES E.J., DIMIRKOU A., PAPADOPOULOS P. 2006. *Influence of different cultivation practices on the properties of volcanic soils on Santorini Island, Greece*. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 37 (15-20): 2857-2866.
- VILLENEUVE F., 1997 *Growing soil and vegetable quality. Example: the carrot. / terroir et qualité des légumes. Exemple: la carotte*. Infos (Paris) 136: 41-44
- ZHANG J. 1966 *Relation between orange quality and geochemical background of Soil*. Hunan Geology.