



Il Suolo, la Pianta, l'Ambiente
III Convegno Congiunto
SICA – SISS – SIPE
Palermo, 12-15 settembre 2023

*Sinergie nel sistema suolo-pianta per la tutela dell'ambiente e
la sicurezza alimentare*

GUIDA ALL'ESCURSIONE

A cura di

**Lo Papa G., Crescimanno M., Galati A., Pillitteri V., Pisciotta A.,
Settanni L., Dazzi C., Barbaccia P.**



**Università
degli Studi
di Palermo**

SAAF
DIPARTIMENTO
SCIENZE
AGRICOLE,
ALIMENTARI,
FORESTALI



**Comune di Palma di
Montechiaro**

Guida all'escursione

A cura di

**Lo Papa G., Crescimanno M., Galati A., Pillitteri V., Pisciotta A., Settanni L.,
Dazzi C., Barbaccia P.**

Lo scopo principale di questa escursione scientifica e culturale è quello di offrire ai partecipanti al 3° convegno congiunto SICA SISS SIPE approfondimenti su suoli, ambiente, e usi, di un territorio rappresentativo della Sicilia meridionale, interessato nel tempo da incisivi cambiamenti del paesaggio agricolo.

Il comitato organizzatore del terzo convegno congiunto della Società Italiana di Chimica Agraria (SICA), della Società Italiana di Scienza del Suolo (SISS) e Società Italiana di Pedologia (SIPE), è lieto di offrire ai partecipanti del congresso l'opportunità di partecipare all'escursione scientifico-culturale nell'ambito del nostro programma.

L'escursione intende offrire ai partecipanti una panoramica di alcuni paesaggi culturali nella Sicilia meridionale.

La prima parte della guida contiene approfondimenti sui suoli antropogenici, originati dall'applicazione di pedotecniche per la viticoltura ad alto reddito. Le informazioni sono state estratte da numerosi lavori pubblicati e disponibili sui principali database bibliografici. Questa parte della guida raccoglie pertanto i frutti dello studio sui suoli antropogenici portato avanti dal gruppo di Pedologia, a partire da più 10 anni addietro, con la collaborazione dei colleghi dei settori di Microbiologia agraria, di Coltivazioni arboree e di Economia ed estimo rurale.

La seconda parte fornisce una panoramica sul Parco Archeologico della Valle dei Templi.

Un sincero ringraziamento a tutti i Colleghi che hanno contribuito alla realizzazione della guida dell'escursione.

Palermo, 15 settembre 2023

Escursione 15 settembre 2023

La nostra escursione scientifico-culturale comprende la visita di

- i) **Azienda Agricola F.lli Di Salvo in agro di Palma di Montechiaro (AG).** Un'azienda agricola leader nella viticoltura intensiva e ad alto reddito per la produzione di uva da tavola, fondata dal Dott. Agr. Luigi Di Salvo. **(Stop 1)**
- ii) **Parco Archeologico della Valle dei Templi** Il parco, ampio circa 1.300 ettari, è il custode di uno straordinario patrimonio monumentale e paesaggistico, a cui appartengono i resti dell'antica città di Akragas e il territorio circostante sino al mare. **(Stop 2)**

L'escursione inizia con la partenza dalla sede congressuale alle 8:30 e si conclude nel tardo pomeriggio. Il pranzo sarà offerto ai convegnisti alla fine della visita dopo il primo stop.

Itinerario

Partenza dei partecipanti da Palermo alle 8:30, presso il Viale delle Scienze, nelle vicinanze della sede congressuale.

Si viaggia verso sud-est lungo la strada statale SS121 per poi proseguire lungo la costa meridionale della Sicilia sulla SS189.

Il tragitto, lasciate alle spalle la Conca d'Oro e attraversati i Monti di Palermo, percorre la valle dello Iato e a seguire parte della Valle del Belice. I paesaggi agricoli e i pedopaesaggi che si incontreranno sono caratterizzati da una notevole variabilità e sono rappresentativi del sistema paesaggio occidentale della Sicilia. Raggiunta la costa del Mare Mediterraneo si procederà in direzione est attraversando i paesaggi tipici della Serie Gessoso-Solfifera, caratterizzati colline dove le garighe si alternano a vigneti e mandorleti. Sulla via attraverseremo anche la valle del Fiume Verdura, lussureggiante per gli agrumeti, dove si produce una nota varietà di arance famosa in tutto il mondo denominata Arancia di Ribera, che gode della Denominazione di origine protetta (D.O.P.).

Prima visita a Palma di Montechiaro, provincia di Agrigento, presso l'Azienda Viticola dei F.lli Di Salvo. Pranzo presso il ristorante "VIII Arco" a Marina di Palma, una frazione sulla costa di Palma di Montechiaro, dove si potranno degustare piatti tipici della tradizione siciliana. Da lì l'escursione continua verso la nostra seconda tappa, il Parco Archeologico della Valle dei Templi.

Suoli antropogenici nella viticoltura ad alto reddito: caratteristiche fisiche, microbiologiche, tassonomiche, economiche ed ecosistemiche.

ELENCO DEI CONTRIBUTI

La viticoltura ad alto reddito

I suoli antropogenici e tecnogenici

La tassonomia dei suoli antropogenici

Le pedotecniche

Le caratteristiche microbiologiche

Gli Aspetti economici

Gli aspetti ecosistemici

La viticoltura ad alto reddito

Introduzione

La viticoltura da tavola è un comparto produttivo molto importante per vaste aree della Sicilia che negli ultimi decenni hanno visto progredire il reddito agricolo in funzione dell'espandersi di questa coltura

La Sicilia rappresenta la seconda regione italiana, dopo la Puglia, per importanza nel comparto dell'uva da tavola, in termini di superficie investita e di produzione realizzata; questo comparto acquisisce in questa regione un valore maggiore per i riflessi sociali che determina, come l'impiego di manodopera che risulta essere molto elevata, vista la specializzazione della coltura e per l'interesse che deriva dai capitali circolanti nell'indotto nelle aree di maggiore produzione. Nel corso dei decenni la superficie regionale investita ad uva da tavola ha avuto un trend altalenante, anche in relazione alla politica comunitaria. Durante l'ultimo ventennio si è avuta una riduzione delle aree meno vocate alla viticoltura da tavola, uno svecchiamento degli impianti e la realizzazione di nuovi impianti in zone in cui la potenzialità pedo-climatiche, insieme all'adozione di tecniche agronomiche adeguate, potessero estrinsecare al meglio la coltura. In Sicilia negli ultimi decenni si è deciso sia di puntare all'impiego di nuove tipologie produttive, sia all'utilizzo di nuove cultivar che potessero rappresentare delle ottime alternative alla varietà "Italia". Di recente si è evidenziata una certa dinamica a indicare la sostituzione dei vecchi impianti di varietà tradizionali con i nuovi vigneti di varietà apirene; questi cambiamenti hanno anche leggermente modificato la ripartizione provinciale della produzione con una lieve flessione degli investimenti in Sicilia e in particolare nella provincia di Agrigento ove si sono verificati piccoli incrementi. Il comparto italiano e soprattutto siciliano, ha perso quote di mercato dovuto ad una scarsa competitività, onde per cui è auspicabile un ricorso a un'innovazione non solo di processo, ma anche di prodotto. Oggi si è evidenziato che i punti deboli della viticoltura siciliana sono rappresentati dagli elevati costi di gestione, da un'inerzia varietale e da una frammentazione dell'offerta, nonché da una strategia di marketing non sempre orientata al cliente. Parallelamente i punti di forza consistono in uno standard "siciliano" di ottima qualità legato alla posizione geografica e ad un ampio calendario di offerta, dovuto alla favorevole situazione climatica e allo sviluppo di differenti tipologie produttive. La Sicilia inoltre rappresenta una realtà di particolare interesse produttivo sia per la sua posizione geografica occupata nel mediterraneo, sia alle condizioni climatiche favorevoli, come già detto precedentemente, che consentono le produzioni extra-stagionali. Sforzi sono stati compiuti anche per migliorare le pratiche agronomiche, mirate soprattutto a valorizzare le caratteristiche qualitative del prodotto finale. Oggi sono entrati nella pratica comune interventi in verde quali il diradamento dei grappoli e degli acini, la potatura dei grappoli, nonché l'incisione anulare, pratiche quasi sconosciute se non addirittura avversate negli anni precedenti. Nonostante l'ampio calendario produttivo, il commercio e la produzione dell'uva da tavola siciliana soffrono per i ristretti margini di profitto. In particolare l'elevato costo del lavoro e la competizione con Paesi in cui la produzione è meno costosa, rendono il mercato siciliano stagnante. Inoltre, la scarsa presenza di varietà *seedless* non permette di aumentare i margini di profitto dei coltivatori. La maggiore criticità che si riscontra nella produzione e nel commercio di uva da tavola è quindi l'alto costo di produzione. Questo è dovuto principalmente al fatto che l'uva è una specie arborea che necessita di numerosi input, pur con una buona resa ad ettaro. In particolare, i recenti sviluppi globali hanno causato un aumento del costo dell'energia, della manodopera e dei fertilizzanti chimici. Tutti fattori importanti nella produzione, così come le

criticità dovute all'approvvigionamento idrico ridotto. La vite per la produzione di uva da tavola è una coltivazione esigente dal punto di vista nutritivo, in alcuni casi anche più esigente dell'uva da vinificazione. I disciplinari consigliano un apporto di 65-75 kg/ha di azoto per una produzione di 20-30 tonnellate ettaro e due o tre apporti per stagione vegetativa. Un apporto di 25-30 kg/ha di fosforo, 95-110 kg/ha di potassio e 55-65 kg/ha di calcio (**LINEE GUIDA NAZIONALI DI PRODUZIONE INTEGRATA, 2022**). Inoltre, la vite è soggetta a numerosi attacchi patogeni che rendono necessari più interventi annuali di protezione. Il fattore che maggiormente incide nei costi di produzione è la manodopera, che rappresenta in alcuni casi anche il 36% dei costi di produzione totali.

Le aree di produzione

Se diamo uno sguardo, alla localizzazione delle aree produttive in Sicilia, per l'uva da tavola, notiamo che esse sono dislocate in due aree ben definite; una collocata nella zona sud-orientale con polo produttivo a Mazzarrone e che abbraccia i comuni di Caltagirone, Licodia Eubea e Mazzarrone nella provincia di Catania ed Acate, Vittoria, Chiaramonte Gulfi e Comiso per la provincia di Ragusa.

L'altra è situata nella Sicilia centro-occidentale e ha come epicentro Canicattì ed abbraccia ventiquattro comuni appartenenti alle provincie di Agrigento (Naro, Favara, Castrolibero, Campobello di Licata, Palma di Montechiaro) e Caltanissetta.

In Sicilia operano due Consorzi di Tutela dell'uva da tavola IGP, quello di Canicattì (AG) e quello di Mazzarrone (CT),

IGP Mazzarrone

Il Consorzio di Tutela dell'Uva da Tavola di Mazzarrone IGP è stato costituito nel Marzo 2001 e riunisce i produttori di uva dei comuni di Mazzarrone, Licodia Eubea, Caltagirone (Provincia di Catania), così come Acate, Comiso e Chiaramonte Gulfi (Provincia di Ragusa). Il territorio coperto dall' IGP di Mazzarrone comprende all' incirca 12.000 ettari coltivati a vigneti, per una produzione che raggiunge fino a 240.000 tonnellate. L'Uva da Tavola di Mazzarrone IGP si riferisce al frutto allo stato fresco della specie *Vitis vinifera* L., appartenente principalmente alle varietà Italia b. e Victoria b., Red Globe rs., Black Magic n., Black Pearl n. e Palieri n.



Fig. 1 – Areale dell'IGP Mazzarrone.

IGP Canicatti

Nel 1997 è stato riconosciuto dall'Unione Europea il marchio IGP "Uva da Tavola di Canicatti". Il Consorzio per la Tutela e la Promozione del prodotto in questione comprende 25 comuni del territorio di Agrigento e Caltanissetta. L'Uva da Tavola di Canicatti IGP è un'uva da mensa allo stato fresco della specie *Vitis vinifera* L., varietà Italia, nota come Pirovano "65", ottenuta dall'incrocio di Bicane con Moscato d'Amburgo. Il territorio si estende per circa 12.000 ettari e aderiscono circa 150 produttori. L'obiettivo del Consorzio è quello di valorizzare e promuovere questa pregiatissima varietà.



Fig. 2 – Areale dell'IGP Canicatti.

Materiale vivaistico e impianto

Come materiali vivaistici si adoperano la barbatella innestata o la barbatella franca, quest'ultima da innestare in campo a fine estate (a gemma dormiente, come si preferisce in Sicilia) o fine inverno (a spacco o a gemma vegetante, come si preferisce in Puglia). La barbatella franca è tutt'ora utilizzata in base al convincimento, peraltro non confermato dai risultati di ricerca, che sia in grado di dar luogo a viti più vigorose, ma anche perché consente di ritardare di almeno 12 mesi la scelta della varietà; quest'ultimo aspetto ha assunto rilievo in ragione del dinamismo varietale recentemente acquisito dal comparto. L'uso della barbatella innestata è comunque sempre crescente, sia perché preferito dalla "filiera delle varietà brevettate", sia perché dà luogo a maggiore uniformità di accrescimento, consente una rapida costituzione dello scheletro (Fig. 3) e abbrevia l'entrata in produzione del vigneto a 15-18 mesi dall'impianto, contro i 30 mesi circa della barbatella franca. Suscita interesse anche l'impianto con "barbatellone" (Fig.4), barbatella innestata che ha formato in vivaio un fusto alto 170-180 cm con diametro di circa 15 mm: questo materiale consente di ridurre tempi e operazioni d'allevamento e produce grappoli già nell'anno d'impianto (circa 30% della piena produzione). È inoltre utile per rimpiazzare fallanze.



Fig. 3 - Viti a 8 mesi dall'impianto

Fig. 4 - Barbatellone

Le barbatelle si mettono a dimora manualmente, usando specifici attrezzi come pali o forchetta, o utilizzando trivelle meccaniche o un piccolo escavatore che offre vari vantaggi: apre una buca più ampia che non richiede drastica potatura radicale, riduce la resistenza meccanica del suolo allo sviluppo delle radici, favorisce l'aderenza di queste ultime alle particelle terrose. Oggi si adottano profondità d'impianto non eccessive (30-35 cm) per migliorare l'efficienza della nutrizione idrica e minerale.

L'impianto si effettua su terreni adeguatamente preparati mediante sistemazioni idraulico-agrarie e operazioni pre-impianto che tengano conto del tipo di suolo e, soprattutto, del suo profilo. In assenza di roccia superficiale, che necessita di escavazione e frammentazione, si effettuano lavori pre-impianto limitati a 40-70 cm di profondità, che sono meno costosi dei tradizionali lavori di scasso (80-100 cm e oltre) e inducono lo sviluppo radicale in strati di terreno non troppo profondi e quindi più areati e più facili da raggiungere dagli apporti di nutrienti. Sempre meno attuata è la "costruzione dei suoli" mediante sbancamenti, trasporto di terreno, frantumazione di rocce, pratica che risulta costosa e spesso non soddisfacente a causa della scarsa uniformità del suolo ottenuto. Sempre più spesso si reimpianta sullo stesso terreno senza assicurare a quest'ultimo un periodo di riposo; l'obiettivo è ridurre le operazioni pre-impianto e riutilizzare la struttura portante del vigneto. In questo caso è fondamentale eliminare con cura le vecchie radici, valutare la carica nematologica del suolo, ripristinare la fertilità agronomica con abbondante concimazione organica, adottare portinnesti vigorosi e poco sensibili alla sindrome da reimpianto come 1103 P e 140 Ru.

Sesti, distanze d'impianto, forme di allevamento, indirizzi di potatura

La viticoltura da tavola negli scorsi decenni ha adottato generalmente sesti in quadro e densità di piantagione di 1.111, 1.600 o 2.066 ceppi/ettaro, realizzate con distanze d'impianto di 3x3,

2,5x2,5 o 2,2x2,2 metri. Oggi le distanze sono flessibili in funzione degli obiettivi produttivi (produzioni precoci o tardive) e delle caratteristiche biologiche delle cultivar (fertilità gemmaria, vigore, esigenze di luce, ecc.). Le “tradizionali” varietà apirene come ‘Crimson Seedless’, ‘Superior Seedless’ e ‘Thompson Seedless’, caratterizzate da alto vigore e bassa fertilità delle gemme basali del tralcio, richiedono potature ricche e lunghe e, se allevate ad alta densità, richiedono molti interventi di diradamento dei germogli. L’adozione di sestri rettangolari (es. 2,20x2,80m, 2,20 x3,30m, 2,40x3,50m) ha permesso di migliorare l’intercettazione luminosa da parte della chioma, di ottenere un’adeguata densità di piantagione (da 1.190 a 1.623 piante/ha) e quindi anche una buona produttività (da 25 a 35 t/ha). Si utilizzano forme di allevamento espanse e a tetto, poiché atte a contenere la gran quantità di gemme e di superficie fogliare per pianta necessaria a supportare l’alta produttività richiesta alla coltura nonché a proteggere i grappoli dall’irraggiamento diretto. La forma più adottata è il tendone a doppio impalco “tipo Puglia” (Fig. 5), ma si diffonde anche l’allevamento a Y. A differenza della tradizionale Y o Gable a filari indipendenti utilizzata in California, Sud-Africa e Australia, la versione italiana mantiene la struttura unica del tendone e realizza la Y posizionando i capi a frutto, per ciascun lato del filare, su un filo non troppo distante dal suolo (circa 1,40 cm) e i germogli su un’ala di fili aperta a 45°-60° (Fig. 6), incrementando così la penetrazione e l’intercettazione della luce, la distanza della chioma dalle coperture plastiche e la ventilazione, scongiurando le ustioni fogliari. I costi d’impianto possono superare quelli del tendone, ma sono compensati dalla facilitazione della potatura invernale e di quella estiva, compresi gli interventi diretti ai grappoli, con conseguente contrazione dei tempi e dei costi d’esecuzione.



Fig. 5- Vigneto allevato a tendone “tipo Puglia”, in fase di crescita dei germogli.



Fig. 6 - Vigneto allevato ad Y, in fase d'invasatura.

Occorre scegliere accuratamente l'altezza d'impalcatura della pianta e il posizionamento dei capi a frutto e realizzare correttamente la struttura scheletrica delle viti. Le branche vanno costituite in un solo anno, possibilmente il primo, utilizzando le femminelle. Così facendo si migliora il sistema vascolare e l'efficienza idraulica della pianta, si riduce l'incidenza delle malattie del legno, si migliora l'efficienza fisiologica della pianta e si rallenta la sua senescenza. Si trae notevole vantaggio nell'impalcare la pianta ad altezza prossima a quella dei fili portanti i capi a frutto per poter posizionare questi ultimi in modo quasi orizzontale, con significativi vantaggi di ordine fisiologico e produttivo. Legare i capi a frutto in posizione orizzontale consente, infatti, di contenere l'acrotonia della vite e, quindi, ottenere un germogliamento più uniforme e meno gemme cieche.

La viticoltura italiana ha acquisito una posizione leader nella coltivazione del vigneto ad uva da tavola in coltura protetta. Inoltre, si sperimentano nuove tipologie d'impianto come quella fuori suolo, questa tipologia produttiva consente di evitare problemi edafici e di reimpianto, destagionalizzare il periodo di raccolta, ampliare il calendario di offerta e velocizzare il rinnovo varietale, nonché di aumentare il livello di innovazione, dinamicità e competitività della viticoltura da tavola. La coltivazione avviene in contenitori (vasi di plastica, sacchi, fitocelle da 9 a 25 litri), all'interno di serre o tendoni coperti dotati d'impianto di fertirrigazione, utilizzando substrati (fibra di cocco, perlite, pomice, ecc..) scelti soprattutto in funzione della qualità dell'acqua irrigua.

Portinnesti disponibili

La maggior parte dei portinnesti adoperati in viticoltura sono ibridi interspecifici di viti americane con apparato radicale resistente agli attacchi di fillossera.

Nella viticoltura da tavola vengono comunemente adoperati i portinnesti sotto elencati (Tab. 1), ottenuti per lo più a fine '800:

- 140 Ruggeri, 1103 Paulsen, i più usati in Italia, e 110 Richter (*V. berlandieri* x *V. rupestris*);

- 101-14 (*V. rupestris* x *V. riparia*);
- Ramsey (*V. champinii*) ottenuto nel 1900;
- Harmony, Freedom [(*V. riparia* x *V. rupestris* x *V. candicans* x *V. vinifera* x *V. labrusca*) x *V. champinii*] ottenuti negli anni 1966-1967.

Gli ultimi tre portinnesti sono resistenti ai nematodi e alla salinità, sebbene, su quest'ultimo aspetto vi siano valutazioni contrastanti. Harmony, Freedom, avendo "sangue" di *V. vinifera*, sono meno resistenti alla fillossera.

Tab. 1 Principali caratteristiche dei portinnesti più adoperati nella viticoltura da tavola.

Sigla/Nome portinnesto	Breeder e luogo di ottenimento	Vigore	Resistenza siccità	Resistenza calcare
140 Ru	Ruggeri, Sicilia	*****	*****	*****
1103 P	Paulsen, Sicilia	****	*** / ****	****
110 R	Richter, Francia	*** / *****	*****	*****
101-14	Millardet-de Grasset, Francia	** / ***	**	**
Ramsey	Munson, Texas	*****	*** / ****	****
Freedom	Weinberger-Harmon, California	****	** / ***	***
Harmony	Weinberger-Harmon, California	***	** / ***	**
Legenda * molto basso ** basso *** medio **** alto ***** molto alto				

Protezione del vigneto con coperture plastiche

La protezione del vigneto ad uva da tavola si avvale in primo luogo di reti antigrandine (a base di polietilene ad alta densità) che difendono anche dal vento e, se apposte lungo il perimetro dell'impianto, da attacchi di uccelli. Agendo come schermi porosi, generalmente bianchi, esse inducono, inoltre, un limitato effetto ombreggiante, variabile dal 10% al 25% a seconda della densità e del tipo di tessitura del manufatto. La presenza della rete può dar luogo ad aumento o riduzione della temperatura dell'aria, a seconda che le condizioni esterne facciano prevalere l'effetto di schermo alla luce o l'effetto di filtro del flusso di aria. Sempre in relazione alle condizioni ambientali, si può avere riduzione, aumento o anche nessuna modifica dell'umidità relativa del vigneto. La copertura con larghe strisce di materiale plastico (a base di polietilene a bassa densità) si attua per anticipare o ritardare la raccolta (Fig. 7), o per proteggere comunque il vigneto dagli agenti esterni. Per anticipare la raccolta si realizza una "semiforzatura precoce", coprendo interamente il vigneto in dicembre-gennaio. Si ottiene così un effetto serra che riscalda l'aria interna e anticipa il germogliamento; di conseguenza, si ha precoce maturazione dell'uva. Durante la fioritura, nell'apprestamento protettivo si hanno eccessi termici, con valori anche molto superiori a 30-35 °C che, oltre a ridurre l'allegagione e l'accrescimento della bacca; inoltre rallenta il processo di maturazione con perdita di parte della precocità acquisita al germogliamento. Per evitare il surriscaldamento dell'aria interna è necessario gestire opportunamente l'apertura dell'apprestamento e la rimozione della sua fascia perimetrale, ottenendo una sufficiente ventilazione. Per ritardare la raccolta si attua una "semiforzatura tardiva", coprendo solo il tetto del vigneto a partire dall'invaiaatura, al fine di proteggere i grappoli dal contatto con le piogge di tarda estate e contrastare così lo sviluppo di marciumi. Il mantenimento di una buona sanità dei grappoli consente di sfruttare la loro naturale

conservabilità in pianta e, quindi, di raccogliere uva “fresca” fuori stagione. Si è constatato, inoltre, che la copertura plastica, riducendo l’ingresso di energia solare, rallenta la maturazione dell’uva contribuendo all’obiettivo finale. La semiforzatura precoce e quella tardiva consentono di ampliare notevolmente i calendari di raccolta (Tab.2). Per proteggere il vigneto dagli agenti esterni, senza l’intento di variare l’epoca di raccolta, si attua una “copertura post-germogliamento”, proteggendo il “tetto” del vigneto a partire da quando i germogli hanno circa 5 cm di lunghezza. Foglie e grappoli sono così difesi da danni da vento e grandine leggera, nonché dalla bagnatura, primo fattore che stimola gli attacchi crittogamici sin dalla primavera e la spaccatura degli acini in maturazione. La copertura plastica protegge anche dall’eccessivo irraggiamento solare e genera più luce diffusa, a beneficio dell’illuminazione delle foglie e dei grappoli; l’aspetto dell’acino migliora e l’epicarpo risulta più liscio, sottile, uniformemente pigmentato e privo di scottature.

Come tutte le tecniche colturali che modificano il microclima del vigneto, la protezione del vigneto con coperture plastiche interagisce con numerosi aspetti dell’attività vegeto-produttiva. I risultati finali in termini di accrescimento vegetativo, fertilità gemmaria, maturazione dell’uva, produttività e qualità del prodotto sono pertanto modulati da molti fattori, tra cui principalmente la cultivar e l’ambiente colturale oltre che, naturalmente, le altre pratiche colturali e, non ultime, le caratteristiche chimiche e fisiche del manufatto plastico adoperato.



Fig. 7 – Vigneti ad uva da tavola in coltura protetta.

Calendario di produzione uva da tavola in Sicilia

Un punto di forza della produzione dell’uva da tavola in Sicilia è la lunghezza del suo calendario di produzione, questo infatti copre un periodo di più di sette mesi che è compreso tra la seconda decade di maggio ed il mese di dicembre. Tuttavia, la produzione si restringe solo a un limitato numero di varietà tradizionali. Tra queste la varietà *Italia* rappresenta il 40% della produzione. La seconda varietà più coltivata è la varietà *Vittoria* (15% della produzione totale), seguita dalle varietà *Red Globe* e *Black Magic*. Il numero di varietà senza semi (seedless) è in crescita come nel resto del mondo, dato l’aumento della domanda da parte dei consumatori. Nonostante le

rese più basse queste varietà possono essere vendute a prezzi di mercato più alti e permettono di diversificare la produzione, così che la loro coltivazione risulta un vantaggio per i produttori. Tuttavia, la produzione di uve *seedless* italiane non soddisfa ancora le quantità richieste del mercato. Le principali varietà senza semi coltivate sono: *Sugraone*, *Crimson Seedless* e *Regal Seedless*. L'epoca di raccolta delle varie cultivar presenti in Sicilia cambia ovviamente in funzione della tipologia produttiva applicata ed in funzione del comprensorio viticolo considerato. Il calendario di offerta dell'uva da tavola siciliano è così articolato: lungo le zone costiere della Sicilia centro-orientale, a partire dalla prima decade di maggio viene raccolta la Black Magic e dopo una

Cultivar	Maggio		Giugno			Luglio			Agosto			Settembre			Ottobre			Novembre			Dicembre		
	20	31	10	20	30	10	20	31	10	20	31	10	20	30	10	20	31	10	20	30	10	20	31
Black M.	■		■																				
Victoria	■		■			■																	
Sublima S.						■	■	■	■														
Superior S.				■	■	■	■	■	■	■													
Italia						■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Red Globe						■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Crimson S.						■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
						Semiforzatura precoce						Pieno campo			Semiforzatura tardiva								

Tab. 2-Estensione media del calendario di raccolta di alcune cultivar in semiforzatura in Sicilia.

settimana la Vittoria, allevate in “fuori suolo”. Le stesse cv sotto serra coltivate per l’anticipo, e nelle stesse zone sono pronte per la raccolta tra la seconda decade di maggio, prima decade di giugno, ma se ci spostiamo nella zona di Mazzarrone si potrà raccogliere soltanto a partire dal 15 di giugno. La cv Italia coltivata in pieno campo nel comprensorio di Canicattì, indicativamente è pronta per la commercializzazione intorno al 15-20 di agosto, con circa una settimana di ritardo rispetto a quello di Mazzarrone. Infine per le cv Italia, Red Globe e la Crimson seedless, allevate sotto copertura dei tendoni per il ritardo, si potrà posticipare la raccolta fino alla fine di dicembre, sia a Canicattì sia a Mazzarrone.

Suoli antropogenici e tecnogenici

Tratto da: Dazzi C. (2021) - Fondamenti di Pedologia. 3a ed. - Le Penseur. ISBN : 978-88-95315-75-1, 408 pp

Introduzione

Negli anni futuri, lo sviluppo socio-economico e il mantenimento del benessere dell'uomo, dipenderanno largamente dalla sua capacità di assicurare l'uso sostenibile delle risorse, un compito reso molto complesso dai cambiamenti delle attività umane che hanno un forte impatto sull'ambiente e in particolare sul suolo.

L'attuale sfida della comunità scientifica è di organizzare la ricerca per trovare soluzioni ai problemi ambientali e sociali del nostro tempo, stimolando la collaborazione interdisciplinare e facilitando il dialogo tra ricercatori che hanno un diverso substrato culturale ma che condividono medesimi obiettivi e prospettive analoghe.

La Scienza del Suolo ha, pertanto, un ruolo cruciale da svolgere per realizzare sistemi sostenibili di uso e gestione del territorio che soddisfino le necessità di una società sempre più globale e tecnologica. Le attività della ricerca dovranno abbracciare settori notevolmente più ampi di quelli tradizionali e includere accanto agli studi fondamentali sui pedosistemi, sempre più caratterizzati da suoli antropogenici e tecnogenici, anche e soprattutto le ricerche finalizzate al raggiungimento degli obiettivi dello sviluppo sostenibile, alla salvaguardia e mantenimento dei servizi ecosistemici forniti dal suolo e al raggiungimento della sicurezza alimentare. La Scienza del Suolo deve avere nuove visioni, non più limitate al campo agronomico e/o selvicolturale ma, ampliate al territorio ed ai sistemi sociali e culturali. Gli argomenti emergenti che possono essere considerati come aree di sviluppo per la scienza del suolo sono molteplici e la loro indicazione dipende fortemente dagli interessi di ricerca e dal substrato culturale di chi è chiamato a dare un'indicazione sul tema. Si ritiene comunque che, nell'immediato futuro, la scienza del suolo debba avere nuove "visioni" e che fra queste, acquistino un ruolo preminente gli aspetti concernenti:

1. Il ruolo della pedologia per gli obiettivi dello sviluppo sostenibile;
2. La valorizzazione economica dei servizi ecosistemici forniti dal suolo;
3. Lo studio delle relazioni fra la qualità del suolo e la salute dell'uomo;
4. Lo studio e la caratterizzazione dei suoli antropogenici e tecnogenici;
5. Lo studio e la caratterizzazione dei suoli subacquei.

Suoli antropogenici e tecnogenici

Il riconoscimento del ruolo dell'uomo come sesto fattore della pedogenesi ha indotto a spostare l'attenzione sulla caratterizzazione e classificazione dei suoli fortemente "modificati" o anche "costruiti" dall'uomo (definiti genericamente "suoli antropogenici") e consente di rilevare le azioni di disturbo sul suolo che, sovente ne inficiano le funzioni di produttore di beni e di servizi. Appare quindi oltremodo giustificata la proposta di passaggio ad una nuova epoca chiamata Antropocene, ove l'Uomo svolge un ruolo di assoluto protagonista, contribuendo al cambiamento globale dei suoli, considerando che la metapedogenesi, definita come "l'azione dell'uomo sul suolo", negli ultimi 3-4 decenni si è viepiù intensificata, coinvolgendo ambienti che anno dopo anno divengono sempre più vasti. A causa della diffusione ed importanza che i

suoli antropogenici stanno assumendo, è imperativo che essi siano accuratamente definiti nello spazio e caratterizzati nelle loro proprietà, sia per scopi di valutazione e di pianificazione del territorio che per la protezione dell'ambiente.

Molti Paesi, hanno già adeguato i loro sistemi di classificazione conciliando le visioni prettamente genetico-evolutive o prevalentemente morfologico-quantitative con esigenze tecnico-pratiche, così da rendere tali sistemi realmente impiegabili sia negli studi scientifici e cartografici strettamente pedologici, sia nelle procedure di valutazione per scopi pianificatori e gestionali dei suoli e del territorio.

Per ciò che concerne la Soil Taxonomy, è stato svolto un ampio lavoro di studio e raccolta di dati sui suoli antropogenici, ma non è stato ancora proposto un nuovo ordine di suoli che li consideri univocamente (ad es. Anthrosols). Per tenere conto della sempre più evidente ed intensa azione antropica sul suolo e per definire i suoli fortemente alterati o costruiti dell'uomo, sono stati inseriti nella ST alcuni particolari caratteri diagnostici. Questi sono:

Paesaggi antropogenici (*anthropogenic landforms*): indicano caratteristici paesaggi di origine antropica presenti nel territorio e cartografabili con le più utilizzate scale (es: 1:10.000 o 1:25.000). Esempi di paesaggi antropogenici sono le discariche, i canali di drenaggio, le cave.

Microcaratteri antropogenici (*anthropogenic microfeatures*): come i precedenti ma poco estesi per essere cartografabili anche a scala maggiore di 1:10.000.

Artefatti (*artifacts*): materiali creati o anche modificati dall'uomo derivanti da attività manifatturiere di vario tipo. Asfalto, fibre e stoffe, mattoni, blocchi di scorie, calcestruzzo, plastica, vetro, gomma, sono alcuni esempi di artefatti.

Materiali alterati dall'uomo (*human altered material*): materiali del suolo, sia minerali che organici, che sono stati profondamente disturbati in posto dall'uomo prevalentemente per scopi agricoli come avviene durante gli scassi o le scarificature profonde. Possono contenere artefatti.

Materiali trasportati dall'uomo (*human transported material*): materiali del suolo sia minerali che organici, che sono stati intenzionalmente trasportati dall'uomo con l'ausilio di mezzi meccanici pesanti e per scopi specifici (Figura 8). Determinano discontinuità litologica e si indicano con il simbolo (^). Ad esempio: ^Ap. Materiali terrosi presenti su di un orizzonte indicato come M, rappresentano ovviamente un materiale trasportato.



Fig. 8 – Esempio di HTM (human transported material) trasportato su di un Vertisuolo (Foto: Dazzi).

Strati manufatti (manufactured layer): strati orizzontali costruiti dall'uomo, posti entro o sul suolo e che possono essere costituiti da asfalto, cementi, plastiche, geotessili, gomme, artefatti vari.

Contatto su strati manufatti (manufactured layer contact): contatto abrupto fra uno strato manufatto e il suolo.

Rispetto alla Soil Taxonomy, il WRB è stato sicuramente più incisivo nella considerazione e classificazione dei suoli fortemente condizionati, trasformati o costruiti dall'uomo. Da qui la presenza, nell'ambito del sistema WRB, di due gruppi di riferimento di suoli antropogenici: gli *Anthrosols* e i *Technosols*. Entrambi formano nel WRB il gruppo concettuale dei “suoli con forte influenza antropica”. I primi sono suoli privi o quasi di artefatti e, quasi sempre derivanti da un lungo e intenso uso agricolo; i secondi sono suoli contenenti molti artefatti e, con una evidentissima influenza antropica (Figura 9).



Fig. 9 – a) Anthrosols costituito da diversi strati terrosi nella zona mineraria di Most (Repubblica Ceca); b) Technosols costituito da artefatti nell'area industriale di Buonfornello (Palermo) (Foto: Dazzi)

Nel WRB è sembrato logico porre i Technosols all'inizio delle chiavi di interpretazione per:

- dare immediata percezione di un suolo che dovrebbe essere trattato con cautela (ad esempio i *toxic soil*, che dovrebbero essere gestiti da esperti);
- rappresentare un gruppo omogeneo di suoli costituiti da materiali particolari;
- far sì che politici e decisori che consultano il WRB possano avere contezza immediata di questi suoli che rivestono una notevole diffusione e rilevanza a livello ambientale.

I Technosols (dal greco “*technikos*”, abilmente costruiti) sono suoli dominati o fortemente influenzati da materiali di origine antropica e comprendono suoli le cui proprietà e pedogenesi sono dominate dalla loro origine “*technica*”. Contengono una rilevante quantità di artefatti e si possono trovare in tutti gli ambienti urbani, nelle aree minerarie e di discarica, nelle aree di sversamento di petrolio, nei depositi di cenere volatile di carbone e in tutti gli ambiti che possano essere assimilati a tali attività. Molti devono essere gestiti con cautela poiché possono contenere sostanze tossiche derivanti dai processi industriali. Alcuni, in particolare quelli originatisi in discariche, sono generalmente coperti da uno strato di suolo naturale per consentirne la rivegetazione. Generalmente non si riscontra alcun profilo evoluto, sebbene nelle vecchie discariche si possa mettere in evidenza una pedogenesi naturale, come ad esempio la traslocazione di argilla.

Gli Anthrosols (dal greco “*anthropos*”, uomo) sono suoli profondamente modificati dall'attività dell'uomo-agricoltore. Si rinvencono prevalentemente in aree di antica tradizione agricola e, più recentemente come prodotto dell'agricoltura super-intensiva e/o su vasta scala. Sono proprio i suoli antropogenici derivanti da queste attività agricole (rese possibili dall'uso di macchine sempre più potenti), che pongono problemi, non solo dal punto di vista delle pedotecniche utilizzate per la loro “creazione”, ma soprattutto in relazione alla loro gestione che, se non oculata, genera diversi problemi ambientali.

La tassonomia dei suoli antropogenici

Negli ultimi decenni, le pedotecniche utilizzate per adattare i suoli alla coltivazione della vite da tavola non solo hanno portato a difficoltà oggettive nella classificazione di questi suoli profondamente trasformati, ma anche a diversi rischi ambientali.

Dopo aver considerato le tecniche pedologiche utilizzate per l'adattamento dei suoli alla coltivazione della vite da tavola, si sottolinea che una corretta classificazione consente una corretta comprensione delle loro caratteristiche e dei rischi ambientali che la loro gestione potrebbe originare.

L'uomo ha acquisito una crescente importanza come fattore pedogenetico. La sua influenza sui suoli è diventata così efficace e intensa che in molti sistemi di classificazione dei suoli si è sentita la necessità di introdurre un nuovo gruppo di suoli. Si tratta degli Antrosuoli o Anthrosols, o Antropozem o suoli antropici.

Le attività umane che comportano una modificazione profonda dei suoli e un sostanziale deterioramento delle loro caratteristiche sono numerose e molto diverse. Alcune di queste sono molto appariscenti e si verificano, ad esempio, durante la costruzione di strutture e infrastrutture. Altre, meno appariscenti ma altrettanto pericolose per la conservazione della pedodiversità e per la salvaguardia delle risorse ambientali, riguardano la creazione di suolo nell'interramento di rifiuti di varia origine e natura.

In poche parole, i metodi della pedotecnica sono stati estesi alla maggior parte delle attività umane svolte con il suolo o sul suolo che, purtroppo, continua a essere considerato una risorsa misteriosa.

Nella gestione dell'agricoltura, la pedotecnica viene utilizzata solo in seguito alla spinta di significativi ritorni economici, ma così facendo gli agricoltori spesso non tengono conto di un obiettivo molto importante: soddisfare le esigenze dei consumatori. esigenze umane, evitando qualsiasi minaccia ambientale indesiderata che potrebbe verificarsi durante la manipolazione di materiali terrosi.

Seguendo le regole della 13^a edizione della Soil Taxonomy, i suoli profondamente trasformati da interventi pedotecnici sarebbero classificati come **Anthraltic Xerorthents**, cioè "altri Xerorthents che hanno 50 cm o più di materiale alterato dall'uomo".

Il sesto attributo della Soil Taxonomy sottolinea che "non si possono ignorare i cambiamenti significativi apportati alla natura del suolo dall'uomo".

gli agricoltori spinti dalla spinta economica non considerano che la massiccia pressione sul paesaggio del suolo porta ad altre gravi preoccupazioni.

Il riconoscimento del ruolo dell'uomo come sesto fattore della pedo-genesi ci permette di:

- i) spostare l'attenzione sulla classificazione dei suoli fortemente "modificati" o "costruiti" dall'uomo (genericamente noti come "suoli antropogenici"); e
- ii) rilevare le azioni di disturbo dell'uomo sui suoli che spesso influiscono sulla loro capacità di produrre beni e servizi.

A causa della crescente diffusione e importanza che i suoli antropogenici stanno assumendo, è imperativo che le loro proprietà siano rilevate accuratamente, non solo per scopi di valutazione, ma anche per la pianificazione del paesaggio e la protezione dell'ambiente. Riteniamo che l'introduzione degli Antrosuoli come nuovo Ordine per quei suoli le cui caratteristiche sono

dovute a una forte influenza dell'uomo sul suolo, e la possibilità di classificare questi Antrosuoli secondo le regole della Soil Taxonomy fino al livello di sottogruppo, fornirebbe una formazione sufficiente sulle proprietà intrinseche di tali suoli e sulla loro futura evoluzione.

Le pedotecniche

Introduzione

Fin dall'antichità l'uomo e il suolo hanno vissuto legami intrecciati. Oggi gli scienziati del suolo continuano a sottolineare questi legami, evidenziando l'importanza del suolo per: i) soddisfare la crescente domanda umana di cibo, acqua ed energia e ii) fornire servizi ecosistemici che mitigano i cambiamenti climatici, influenzano la salute umana e migliorano la biodiversità.

La pressione antropica sui suoli è stata così forte da portare a un evidente diminuzione della diversità del suolo. Il concetto di diversità è stato affiancato a quello di sicurezza del suolo. Quest'ultimo considera il mantenimento della capacità del suolo di produrre cibo, fibre e acqua dolce, di contribuire alla sostenibilità energetica e climatica e di mantenere la biodiversità e la protezione complessiva dell'ecosistema. La sicurezza del suolo dipende dai servizi ecosistemici (ES) del suolo, cioè dai benefici che le persone traggono dal suolo.

Pedotecnica, è un termine introdotto nella scienza del suolo negli anni '80, per indicare le attività umane che influenzano la formazione del suolo e la morfologia del paesaggio. La pedotecnica può essere considerata come una branca interdisciplinare della scienza del suolo, che cerca di comprendere e integrare l'effetto della manipolazione del suolo sulle sue qualità e sulla sua classificazione.

Le attività dell'uomo nella tecnica pedagogica possono variare notevolmente. Ad esempio, nella selezione e nella valutazione dei materiali idonei per "costruire suoli" adatti a scopi specifici, come nel campo dell'agronomia o per lo smaltimento dei rifiuti, o nelle operazioni minerarie, nella produzione di manufatti, ecc.

Nel tempo, il concetto di pedotecnica è stato esteso a tutte quelle azioni umane che collegano il suolo alle attività sociali, industriali ed economiche. Negli anni '90, i concetti e i metodi della pedotecnica sono stati ampliati per:

- sistemi ambientali (desertificazione, qualità del suolo e dell'acqua, salute animale e umana);
- sistemi industriali (miniere, cave, nuovi insediamenti);
- sistema forense (lotta al crimine e al terrorismo);
- sistemi conflittuali (operazioni militari, bonifica delle miniere); e campi minati); e
- sistemi sociali (telecomunicazioni, impianti sportivi, aree ricreative).

Tuttavia, nell'applicare la pedotecnica, gli agricoltori tendono sempre ad incrementare il proprio reddito e non ad evitare le minacce al suolo che potrebbero verificarsi durante la manipolazione dei materiali terrosi.

Uno dei problemi più recenti della scienza del suolo riguarda appunto le conseguenze delle azioni antropiche e il loro impatto negativo sui servizi ecosistemici e sulla sicurezza del suolo, in particolare quando gli agricoltori applicano tecniche pedologiche per aumentare la produzione agricola in un breve periodo di tempo. Da questa considerazione si genera un dubbio: come garantire la sicurezza del suolo e assicurarne i servizi ecosistemici in aree fortemente influenzate dall'uomo che genera suoli antropizzati a causa dell'applicazione di tecniche pedologiche? Per cercare di dare una soluzione a questo dilemma, è stato preso in considerazione un caso studio particolarmente significativo nella parte centro meridionale della Sicilia. L'analisi del caso studio ha portato a i) verificare la fattibilità e la redditività di un investimento per l'applicazione di una pedotecnica in un'azienda che produce uva da tavola

come alternativa alle colture cerealicole tradizionalmente diffuse sui Vertisuoli; ii) evidenziare l'influenza della sicurezza del suolo dell'applicazione della pedotecnica.

L'area di studio

L'indagine è stata condotta in Sicilia (Figura 10), in un ambiente semiarido che presenta caratteristiche tipiche della regione biogeografia mediterranea meridionale. Consiste in un'area di 3 ettari caratterizzata da Vertisuoli che si è evoluta su una pianura alluvionale modellata da un vicino torrente. Fino al 2010 i proprietari dell'azienda hanno utilizzato i vertisuoli per la coltivazione di cereali (principalmente frumento duro) e ortaggi (melanzane, pomodori, peperoni e meloni). Considerando l'elevato reddito della coltivazione di uva da tavola su suoli pedotecnici costruiti in altre aree dell'Italia meridionale, nel 2012 gli agricoltori hanno deciso di cambiare l'uso del suolo "tradizionale" e di personalizzare i suoli pedogeneticamente adatti all'uva da tavola.



Fig. 10 – Localizzazione geografica dell'area di studio.

Le pedotecniche vengono recentemente utilizzare per generare suoli adatti alla coltivazione dell'uva da tavola, al fine di aumentare la produttività e la qualità, ottenendo così notevoli ritorni economici.

Gli obiettivi dell'indagine sono stati: i) sottolineare le minacce alla sicurezza del suolo derivanti della generazione di suoli antropogenici; ii) valutare la sostenibilità economica delle pedotecniche e della produzione di uva da tavola, prendendo in considerazione solo i fattori interni ed escludendo i contributi economici esterni che sono destinati alla sostenibilità sociale; iii) il ruolo della scienza del suolo per concentrarsi su "valore economico" dei servizi eco sistemici del suolo e dei processi di degradazione.

I risultati evidenziano che le trasformazioni del suolo consentono di sostenere notevoli costi di investimento. La maggiore produttività e la conseguente maggiore redditività della coltivazione ammortizzano i costi di avvio. D'altra parte, le trasformazioni possono innescare un notevole deterioramento dei servizi eco sistemici del suolo e della qualità ambientale. Per sottolineare quest'ultimo aspetto e definire le relazioni tra l'applicazione delle tecniche pedologiche e la sicurezza del suolo, abbiamo considerato le cinque dimensioni della sicurezza del suolo (capacità, condizione, capitale, connettività e codifica).

Considerando i buoni risultati produttivi ed economici ottenuti dall'uva da tavola su Antrosuoli Pantoterrici grazie all'influenza positiva del carbonato di calcio sulle prestazioni dell'uva da tavola, nel 2012 l'agricoltore ha iniziato a personalizzare i suoli adatti all'uva da tavola. Utilizzando dei camion, l'agricoltore ha ricoperto i Vertisuoli con cumuli di materiali trasportati dall'uomo (HTM) costituiti da calcare marnoso. Il calcare marnoso è stato prelevato da una collina vicina (appartenente allo stesso agricoltore) la cui sommità è stata quasi completamente rimossa utilizzando un caterpillar che ha lavorato per diversi giorni. Successivamente i cumuli di calcare marnoso sono stati livellati. Nell'ottobre del 2012, l'area a vertisuolo appariva completamente sepolta da uno strato di 80-90 cm di calcare marnoso. Nell'estate del 2013 quest'area è stata arata profondamente a circa 90-100 cm di profondità, con un aratro a un solco a versoio, che ha permesso di rovesciare completamente l'HTM e di mescolare relativamente i topsoil dei vertisuoli sottostanti. In seguito, l'agricoltore ha costruito una serra di 3 ettari, completamente attrezzata con un sistema di produzione di nebbia e un sistema di irrigazione. All'interno della serra gli agricoltori hanno piantumato 14.700 piante di uva da tavola (cultivar Italia). Nel primo anno (2014), l'uva si è sviluppata rapidamente e ha iniziato a produrre nel 2015. Nel 2016 la serra era in piena produzione.

Indagini sul suolo

Nell'area di prova, il Vertisuolo e il suolo "generato" dall'agricoltore sono stati descritti e campionati utilizzando le metodologie standard di rilevamento del suolo. Il vertisuolo è stato rilevato e campionato nell'estate 2012; il suolo antropico è stato campionato nell'estate 2013. Tutti i campioni di suolo raccolti sono stati essiccati all'aria e setacciati a 2 mm per le analisi di laboratorio. La distribuzione granulometrica è stata determinata con il metodo della pipetta. Il pH è stato misurato in una sospensione 1:2,5 (w:v) di suolo e acqua. I carbonati totali (CaCO_3) sono stati quantificati con metodo volumetrico nel calcimetro Dietrich-Fruehing. Il carbonato attivo (CaCO_3att) è stato quantificato secondo Drouineau (1942); il carbonio organico (Corg) è stato misurato secondo Walkley e Black (1947). La capacità di scambio cationico (CEC) è stata determinata mediante saturazione con BaCl_2 a pH 8,2. L'azoto totale (N) è stato determinato con il metodo Kjeldahl; il fosforo disponibile (espresso in P_2O_5) con il metodo Olsen.

Nella tabella 3 sono riportate le principali informazioni descrittive e analitiche del vertisuolo e del suolo antropico. Il vertisuolo ha mostrato le caratteristiche tipiche di un suolo fessurato: orizzonti A-Bss-C nel profilo, tessitura argillosa, struttura angolare e a blocchi, reazione alcalina. E alcuni carbonati. Secondo il WRB, si tratta di un Vertisuolo Cromico (Figura 11). Il suolo antropico generato dall'applicazione di pedotecnica e classificato come Antrosuolo Pantoterrico (Figura 12) secondo il WRB è caratterizzato da orizzonti A-A-C nel profilo, una tessitura argillosa e argilloso-limosa, struttura angolare e a blocchi, reazione alcalina e molti carbonati.

Tabella 3 – Principali caratteristiche morfologiche, fisiche e chimiche dei suoli studiati.

Pedon	Orizzonte	Profondità (cm)	^a Colore	^b Tessitura	^c Struttura	pH (H ₂ O)	Clay	Corg	CaCO ₃	
									tot	att
							g kg ⁻¹			
Chromic Vertisol	Ap1	0-20	5y 4/2	C	sbk,f&m,1	8,1	490	12	231	122
	Ap2	20-40	5y 4/2	C	bk&abk,f&m,1	8,1	481	5	220	112
	BA	40-70	5y 4/2	C	abk,f&m,3	8,1	471	7	230	127
	Bss	70-140	5y 4/2	C	abk&pr,m,3	8,1	467	7	230	118
	BC	>140	10YR3/2	C	abk&pr,m,2	8,1	520	5	195	116
Pantoterric Anthrosol	^Ap	0-20	2.5y 5/2	CL	sbk,f&m,1	8,1	309	8	565	225
	^A1	20-35	2.5y 7/2	L	sbk,f&m,1	8,1	237	3	731	193
	A2	35-48	2.5y 6/2	CL	sbk,f&m,3	8,1	353	9	519	186
	^A3	48-65	2.5y 7/2	L	sbk,f&m,1	8,1	255	2	689	259
	A4	65-88	2.5y 5/2	CL	sbk&abk,m,2	8,1	329	8	517	187
	^A5	88-115	2.5y 8/2	SCL	sbk,m,2	8,1	237	2	745	270
	A6	>115	2.5y 5/2	CL	sbk&abk,m,2	8,1	355	9	492	232

^aColore Munsell secco.

^bTessitura: L=loam; CL Clay-loam; SL= silt-loam; SCL= sandy-clay-loam

^cStruttura. Tipo: sbk=subangular blocky; abk=angular blocky; pr=prismatic

Classe: f=fine; m=medium;

Grado: 1=weak; 2=moderate; 3=strong;



Fig. 11 - Vertisuolo originario



Fig. 12 – Antrosuolo originato per applicazione della pedotecnica

Le caratteristiche microbiologiche

Introduzione

La diversità microbica del suolo è estremamente complessa; centinaia di migliaia di taxa microbici vivono insieme in un grammo di suolo, con un numero totale di microrganismi che supera il miliardo. Il microbiota del suolo gioca un ruolo chiave in diversi processi funzionali; tra i più importanti si annoverano la produzione di sostanze minerali necessarie alla pianta, la degradazione delle sostanze inquinanti e il controllo dei parassiti. In relazione alla struttura del suolo, i microrganismi svolgono un ruolo importante nella formazione degli aggregati. Gli organismi procarioti, sia batteri che archaea, possono vivere e svilupparsi all'interno dei biofilm costituiti da sostanze polimeriche extracellulari (EPS). Queste sostanze sono principalmente formate da esopolisaccaridi, proteine strutturali, enzimi, sostanze lipidiche e altri costituenti. Questa organizzazione consente ai microrganismi di aderire tra loro e/o ad una superficie; grazie ai biofilm, diversi batteri aderiscono e comunicano con altri microrganismi e piante. I biofilm costituiscono delle vere e proprie barriere che proteggono i microrganismi dalla predazione, dalle sostanze antimicrobiche, dalle alte concentrazioni di metalli pesanti e dagli stress ambientali avversi. Gli EPS batterici, grazie alla loro consistenza viscosa e alle cariche ioniche, fungono da collante per l'ancoraggio alle argille del suolo, migliorando così l'aggregazione delle particelle. Pertanto, essi forniscono un notevole contributo alla produttività dei sistemi suolo.

A differenza dei suoli creati da processi naturali, i suoli antropogenici (Anthrosols) sono stati influenzati, alterati o creati dall'attività umana. Considerando che i cambiamenti nella composizione chimica dei suoli influenzano le attività biologiche, la formazione di suoli antropogenici sottopone le comunità batteriche a nuovi equilibri che possono influenzare la crescita delle piante. La comunità microbica di un suolo comprende un gruppo specifico di batteri, noti come batteri promotori della crescita delle piante (PGPB) che costituiscono un gruppo enorme ed eterogeneo di batteri che possono svolgere una vita libera nel suolo o essere associati alla rizosfera, interagendo in un rapporto mutualistico con una grande varietà di specie vegetali. I PGPB sono coinvolti, in varia misura, nella stimolazione della crescita delle piante, attraverso meccanismi che direttamente e/o indirettamente migliorano la fisiologia e i sistemi di difesa della pianta. I PGPB sono in grado di colonizzare tutti i tipi di ambienti naturali; si stima che circa il 5% del microbiota radicale sia composto da PGPB.

Il presente studio è stato intrapreso per: valutare la diversità della comunità microbica del suolo antropogenico sito nel distretto Giordano a Palma di Montechiaro (AG); selezionare le popolazioni batteriche in grado di produrre EPS; valutare le attitudini PGP di tali batteri.

Metodologia applicata

L'area di studio (Fig. 13) è stata suddivisa in 4 siti di campionamento: suolo indisturbato (Mant 0) e suolo antropizzato (Mant 1, Mant 2, Mant 3). Ciascun pedon Ogni pedon è stato campionato a tre profondità: 0-10 cm; 10-30 cm; 30-50 cm.

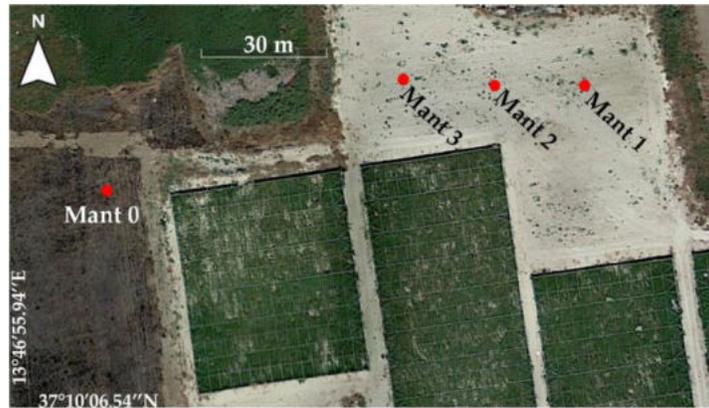


Fig. 13. Localizzazione dei siti di campionamento.

Le conte microbiologiche hanno incluso il rilevamento della conta mesofila totale su terreno sintetico Bacteria Medium (BM), conta mesofila totale aerobia e anaerobia su *Soil Extract Medium* (SEM), presunti *Caulobacter* e *Sphingomonas*, generi produttori di EPS, rispettivamente su *Caulobacter Medium* (CM) e NK medium, batteri azoto-fissatori su *Blue Green Medium* (BG-11), funghi filamentosi su funghi medium (FM) e, infine, attinomiceti su *Actinomycetes Isolation Agar* (AIA). Le sospensioni cellulari sono state ottenute dopo diluizioni seriali decimali dei campioni di suolo prelevati.

Le colonie bianco/giallastre con aspetto mucoso, tipico dei generi *Caulobacter* e *Sphingomonas*, sono state prelevate dai terreni colturali CM e NK, inoculate e sviluppate in *Nutrient Broth* (NB) e purificate mediante strisci consecutivi o su *Nutrient Agar* (NA). Gli isolati sono stati dapprima sottoposti ad indagine fenotipica mediante microscopio ottico per determinare la morfologia cellulare. Solo i batteri di forma bastoncellare sono stati ulteriormente sottoposti alle analisi genetiche. Tutti gli isolati sono stati differenziati a livello di ceppo mediante procedura di tipizzazione con il metodo dell'amplificazione casuale del DNA polimorfico (RAPD)-PCR. Gli isolati che mostravano profili RAPD diversi rappresentavano ceppi diversi e sono stati sottoposti al sequenziamento del gene 16S rRNA ribosomiale per l'identificazione a livello di specie.

L'indagine microbiologica è stata anche condotta mediante metodo coltura-indipendente applicando la tecnologia Illumina al fine di avere una fotografia completa della composizione batterica di ciascun pedon oggetto d'indagine.

L'attitudine dei batteri produttori di EPS a promuovere la crescita delle piante è stata valutata mediante produzione di acido indolacetico (IAA), NH_3 e HCN, attività 1-amminociclopropano-1-carbossilato deaminasica (ACC), produzione di siderofori e solubilizzazione del fosfato.

Risultati

I risultati delle analisi microbiologiche mediante conta su piastra sono riportati graficamente in Tabella 4. Valori nel range $10^6 - 10^7$ CFU/g p.s. sono stati stimati per la conta mesofila totale aerobia e anaerobia, batteri azoto-fissatori e presunti *Caulobacter* e *Sphingomonas*. Tali valori sono tipici dei suoli agricoli non rizosferici. Il valore è diminuito significativamente passando dai campioni superficiali a quelli interni. Questo è un fenomeno comune ed è associato ad una quantità di sostanza organica più elevata nelle parti più superficiali del suolo. I livelli dei funghi e degli attinomiceti sono risultati più bassi rispetto a quelli dei batteri. È ben noto che il rapporto tra funghi e batteri è a vantaggio di questi ultimi per le loro ridotte dimensioni. Anche per i funghi è stata osservata una diminuzione delle densità cellulari all'aumentare della profondità,

ma questo fenomeno è direttamente correlato alla scarsità di O₂ nelle parti più interne dei siti di campionamento. Non sono state rilevate differenze statisticamente significative nei valori di conta per nessuno dei gruppi microbici oggetto d'indagine nel suolo indisturbato e nei siti antropogenici.

Tabella 4. Livelli (Log CFU/g) dei gruppi microbici dei siti di campionamento.

Soil	TMA	FF	AB	TMA _n	NF	<i>Sphingomonas</i>	<i>Caulobacter</i>
Control soil							
Mant 0-I	6.78 ± 0.10 ^b	5.74 ± 0.04 ^a	4.65 ± 0.05 ^a	6.61 ± 0.11 ^a	6.90 ± 0.18 ^{ab}	6.42 ± 0.06 ^c	6.87 ± 0.07 ^{ab}
Mant 0-II	6.34 ± 0.08 ^b	5.30 ± 0.00 ^a	4.39 ± 0.09 ^a	6.19 ± 0.05 ^a	6.30 ± 0.08 ^a	6.20 ± 0.10 ^a	6.52 ± 0.20 ^{ab}
Mant 0-III	6.14 ± 0.02 ^c	<2 ^b	4.00 ± 0.00 ^b	6.12 ± 0.03 ^a	5.78 ± 0.17 ^b	6.00 ± 0.08 ^b	6.31 ± 0.01 ^b
Statistical significance	***	***	***	***	***	**	**
Anthropogenic soil							
Mant 1-I	7.00 ± 0.07 ^b	4.74 ± 0.04 ^b	4.60 ± 0.20 ^a	6.45 ± 0.09 ^a	6.59 ± 0.30 ^b	6.23 ± 0.03 ^d	6.64 ± 0.28 ^b
Mant 1-II	6.22 ± 0.01 ^{bc}	4.30 ± 0.30 ^b	4.30 ± 0.20 ^a	5.71 ± 0.13 ^b	6.03 ± 0.30 ^a	5.97 ± 0.15 ^b	6.20 ± 0.09 ^{ab}
Mant 1-III	6.15 ± 0.05 ^c	<2 ^b	4.45 ± 0.15 ^a	5.75 ± 0.04 ^b	5.97 ± 0.11 ^b	5.76 ± 0.14 ^c	6.29 ± 0.05 ^b
Statistical significance	***	***		***	*	**	*
Anthropogenic soil							
Mant 2-I	7.09 ± 0.09 ^{ab}	4.69 ± 0.09 ^b	5.00 ± 0.25 ^a	6.52 ± 0.06 ^a	7.08 ± 0.04 ^a	6.63 ± 0.1 ^b	6.78 ± 0.00 ^{ab}
Mant 2-II	6.06 ± 0.01 ^c	4.24 ± 0.24 ^b	<2 ^b	5.43 ± 0.05 ^c	5.44 ± 0.05 ^b	5.64 ± 0.00 ^c	6.5 ± 0.30 ^b
Mant 2-III	6.37 ± 0.06 ^b	2.00 ± 0.30 ^a	<2 ^c	5.77 ± 0.01 ^b	6.00 ± 0.02 ^b	6.10 ± 0.01 ^b	6.31 ± 0.08 ^b
Statistical significance	***	***	***	***	***	***	*
Anthropogenic soil							
Mant 3-I	7.56 ± 0.35 ^a	5.70 ± 0.00 ^a	4.59 ± 0.11 ^a	6.66 ± 0.03 ^a	7.29 ± 0.04 ^a	6.81 ± 0.07 ^a	7.06 ± 0.01 ^a
Mant 3-II	6.77 ± 0.17 ^a	5.39 ± 0.09 ^a	4.30 ± 0.25 ^a	6.06 ± 0.09 ^a	6.39 ± 0.16 ^a	6.33 ± 0.03 ^a	6.59 ± 0.07 ^a
Mant 3-III	6.74 ± 0.00 ^a	<2 ^b	4.00 ± 0.00 ^b	6.14 ± 0.02 ^a	6.43 ± 0.17 ^a	6.52 ± 0.01 ^a	6.82 ± 0.13 ^a
Statistical significance	**	***	*	***	***	***	**
Statistical significance I	**	***			**	***	*
Statistical significance II	***	***	***	***	***	***	*
Statistical significance III	***	***	***	***	**	***	***

L'isolamento è risultato nella purificazione di 423 batteri, di cui solo il 40% è stato sottoposto ad analisi RAPD per il riconoscimento dei ceppi. Tale analisi ha permesso di individuare 63 ceppi (Fig. 13) di batteri presunti produttori di EPS. Tutti i diversi ceppi sono stati identificati a livello di specie. Il dendrogramma mostra chiaramente che la maggior parte dei ceppi batterici sono stati raggruppati per genere e specie, anche se le uniche due specie di *Stenotrophomonas*, ovvero *St. indicatrix* e *St. rhizophila*, sono risultate distanti, in particolare i ceppi appartenenti alla prima specie hanno raggruppato all'interno del gruppo *Variovorax*, mentre i ceppi appartenenti alla specie *St. rhizophila* all'interno del gruppo *Pseudomonas-Lysobacter*. Gli isolati hanno rappresentato 19 generi batterici diversi e sono stati suddivisi in tre phyla (Firmicutes, Actinobacteria e Protobacteria). I gruppi batterici più numerosi identificati in entrambi i suoli erano *Bacillus* e *Pseudomonas*. Sorprendentemente, nessuno dei 63 ceppi apparteneva a *Sphingomonas* o *Caulobacter*.

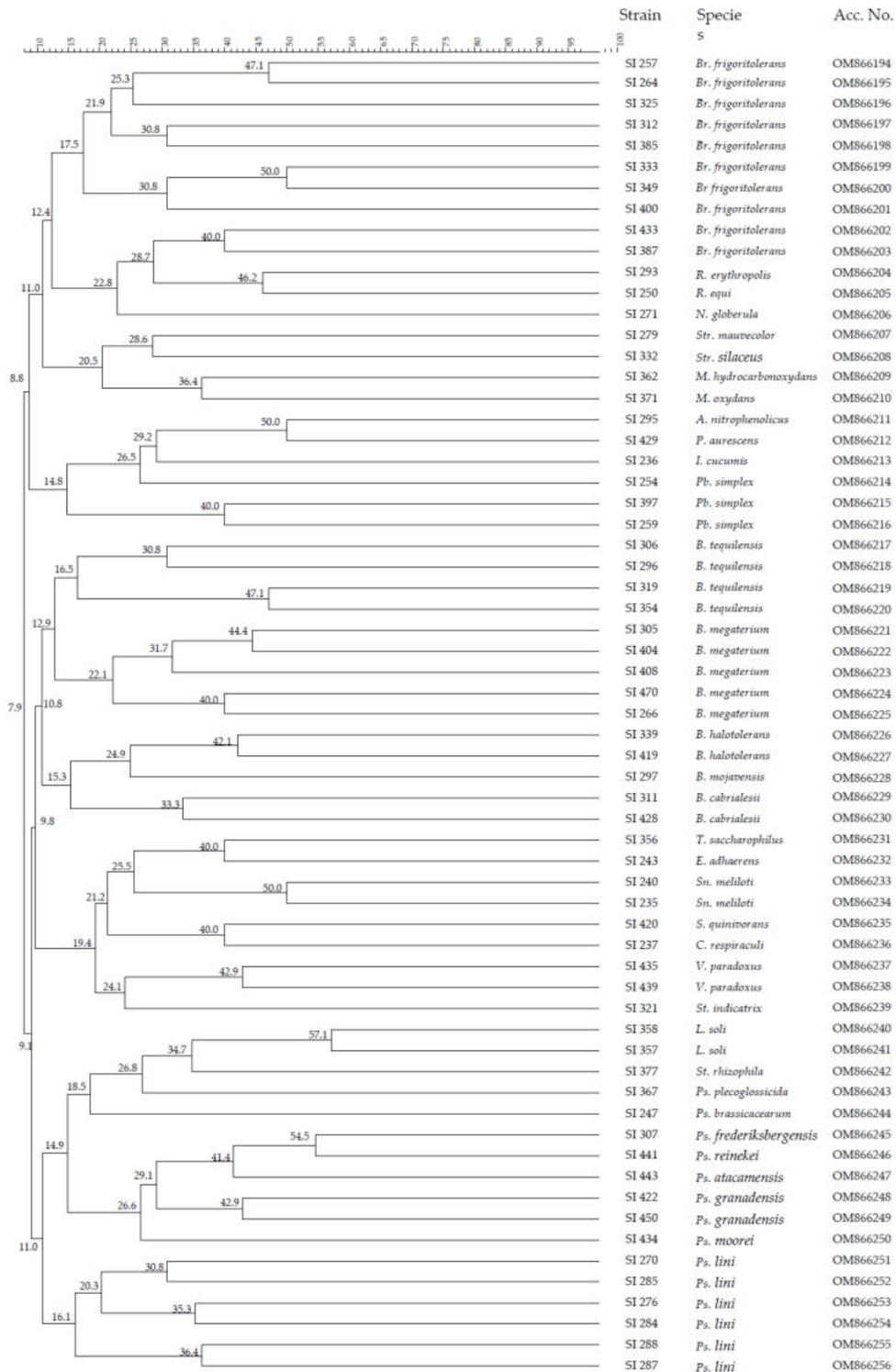


Fig. 13. Dendrogramma ottenuto dall'analisi RAPD-PCR dei batteri isolati a livelli dominanti nei suoli antropogenici. Abbreviazioni: *A.*, *Arthrobacter*; *B.*, *Bacillus*; *Br.*, *Brevibacterium*; *C.*, *Cupriavidus*; *E.*, *Ensifer*; *I.*, *Isoptericola*; *L.*, *Lysobacter*; *M.*, *Microbacterium*; *N.*, *Nocardia*; *P.*,

Paenarthrobacter; *Pb.*, *Peribacillus*; *Ps.*, *Pseudomonas*; *R.*, *Rhodococcus*; *S.*, *Serratia*; *Sn.*, *Sinorhizobium*; *St.*, *Stenotrophomonas*; *Str.*, *Streptomyces*; *T.*, *Terribacillus*; *V.*, *Variovorax*.

La distribuzione speciografica (Fig. 14) mostra una certa biodiversità nei siti analizzati. I *Pseudomonas* e *Bacillus* sono risultati ubiquitari nei diversi terreni e la maggiore diversità batterica è stata evidenziata negli strati più superficiali.

Species	Mant 0			Mant 1			Mant 2			Mant 3		
	0-10	10-30	30-50	0-10	10-30	30-50	0-10	10-30	30-50	0-10	10-30	30-50
<i>Arthrobacter nitrophenolicus</i>	*			*								
<i>Bacillus subtilis</i>				*							*	
<i>Bacillus halotolerans</i>						*						
<i>Bacillus megaterium</i>		*		*						*	*	
<i>Bacillus mojavensis</i>				*								*
<i>Bacillus tequilensis</i>				*	*							
<i>Brevibacterium frigoritolerans</i>		*		*	*	*		*	*		*	
<i>Cupriavidus respiraculi</i>	*											
<i>Erigeron adhaerens</i>	*											
<i>Hooperella cucumis</i>	*											
<i>Lyobacter soli</i>							*	*				
<i>Microbacterium hydrocarbonoxydans</i>							*	*				
<i>Microbacterium oxydans</i>							*	*				
<i>Nocardia globifera</i>		*										
<i>Paenarthrobacter aureus</i>										*	*	
<i>Peribacillus simplex</i>		*								*		
<i>Pseudomonas atacamensis</i>											*	
<i>Pseudomonas brassicaearum</i>	*											
<i>Pseudomonas frederiksbergensis</i>				*								
<i>Pseudomonas granadensis</i>										*	*	
<i>Pseudomonas lini</i>		*	*								*	
<i>Pseudomonas moorei</i>											*	
<i>Pseudomonas plecoglossicida</i>							*	*			*	
<i>Pseudomonas reinkei</i>											*	
<i>Rhodococcus equi</i>	*											
<i>Rhodococcus erythropolis</i>				*								
<i>Serratia quinivorans</i>	*									*	*	
<i>Sinorhizobium meliloti</i>												
<i>Staphylococcus epidermidis</i>												*
<i>Stenotrophomonas indologaster</i>					*							
<i>Stenotrophomonas rhizophila</i>								*	*			
<i>Streptomyces mauveolens</i>			*									
<i>Streptomyces silaceus</i>				*								
<i>Terribacillus saccharophilus</i>							*	*				
<i>Variovorax paradoxus</i>											*	

Fig. 14. Distribuzione speciografica tra i campioni di suolo analizzati.

L'analisi non colturale (Fig. 15) ha permesso di individuare tutti i taxa presenti nei suoli oggetto dello studio, soprattutto quelli non ricercati mediante conta in piastra. Tale analisi conferma che gli strati superficiali siano batteriologicamente più biodiversi dei pedoni interni. Inoltre, l'approccio mediante tecnologia Illumina, ancor più di quello colturale, dimostra la presenza di numerosi gruppi appartenenti alle classi α -, β -, e γ -Proteobacteria, Firmicutes e Chloroflexi. Il

gruppo più presente è senza dubbio quello della famiglia Gaiellaceae un phylum di batteri alotolleranti e radiotolleranti e Nocardiacee, entrambe famiglie di batteri azoto-fissatori.

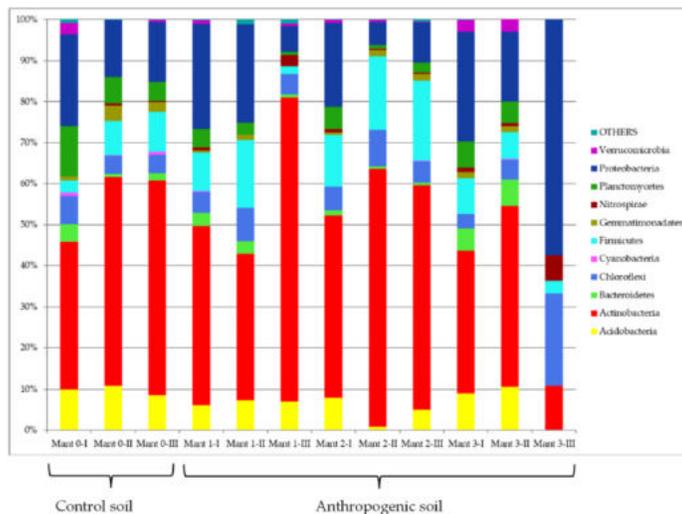


Fig. 16. Abbondanza relativa % dei phyla dei suoli analizzati mediante tecnologia Illumina.

I risultati dei test PGP sono riportati in Fig. 16 e Tabella 5. Tutti i batteri hanno mostrato almeno uno dei caratteri testati. In particolare, la produzione di IAA è stata rilevata per ceppi di *Brevibacterium*, *Bacillus*, *Streptomyces* e *Pseudomonas*, mentre la liberazione di NH_3 è stata riscontrata solo in *Bacillus* e *Pseudomonas*. L'HCN è stato prodotto da 8 ceppi di *Pseudomonas*. La produzione di siderofori è stata registrata per i generi *Bacillus*, *Serratia* e *Pseudomonas*. La

presenza dell'enzima ACC deaminasi è risultata positiva in *Brevibacterium*, *Pseudomonas* e *Bacillus*. Soltanto *Pseudomonas* hanno manifestato la capacità di solubilizzare il fosfato.

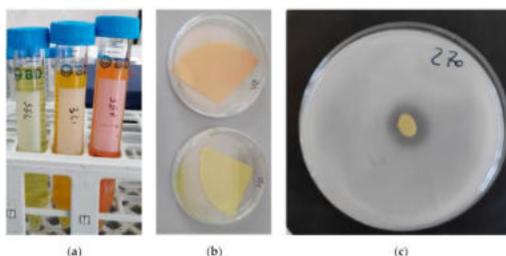


Fig. 16 - Risultati dei test: (a) produzione di NH₃; (b) produzione di HCN; (c) solubilizzazione del fosfato.

Tabella 5. Tratti PGP dei batteri isolati dai suoli antropogenici.

Strains	Species	IAA Production (mg/L)	NH ₃ Production	HCN Production	ACC Deaminase Activity (nmol α-Ketobutyrate/g h)	Siderophore Production	Phosphate Solubilization
SI 257	<i>Br. frigoritolerans</i>	2.50 ± 0.3 st hik	-	-	0 ^w	-	-
SI 264	<i>Br. frigoritolerans</i>	2.50 ± 0.4 st hik	+	-	0 ^w	-	-
SI 325	<i>Br. frigoritolerans</i>	0 ^k	-	-	37.17 ± 2 ^{hik}	+	-
SI 312	<i>Br. frigoritolerans</i>	1.76 ± 0.2 ^{ik}	+	-	22.72 ± 5 ^{mnospq}	+	-
SI 385	<i>Br. frigoritolerans</i>	3.46 ± 0.2 ^{defghij}	-	-	9.05 ± 3 ^{stuvw}	-	-
SI 333	<i>Br. frigoritolerans</i>	3.75 ± 0.61 ^{efghij}	-	-	40.60 ± 6 ^{ghij}	-	-
SI 349	<i>Br. frigoritolerans</i>	6.72 ± 0.65 ^{ab}	-	-	28.91 ± 6 ^{klmn}	-	-
SI 400	<i>Br. frigoritolerans</i>	1.76 ± 0.1 ^{ik}	+	-	0 ^w	+	-
SI 433	<i>Br. frigoritolerans</i>	7.37 ± 0.5 ^a	-	-	80.58 ± 4 ^a	-	-
SI 387	<i>Br. frigoritolerans</i>	6.72 ± 0.6 ^{ab}	-	-	16.18 ± 2 ^{opqst}	+	-
SI 293	<i>R. erythropolis</i>	2.14 ± 0.2 ^{hik}	-	-	72.56 ± 4 ^{ab}	-	-
SI 250	<i>R. equi</i>	3.15 ± 0.15 ^{efghij}	-	-	17.52 ± 7 ^{noqpsr}	+	-
SI 271	<i>N. globerula</i>	4.81 ± 0.2 ^{abcdetgh}	-	-	0 ^w	-	-
SI 279	<i>Str. mauvecolor</i>	3.15 ± 0.32 ^{efghij}	-	-	4.20 ± 1 ^{uvw}	-	-
SI 332	<i>Str. Silaceus</i>	5.33 ± 0.34 ^{abcdetgh}	-	-	0 ^w	+	3.01
SI 362	<i>M. hydrocarboxydans</i>	5.57 ± 0.52 ^{abcdet}	-	-	34.85 ± 5 ^{ikl}	-	-
SI 371	<i>M. oxydans</i>	4.83 ± 0.38 ^{abcdetgh}	-	-	23.98 ± 5 ^{lmnopq}	-	-
SI 295	<i>A. nitrophenolicus</i>	5.08 ± 0 ^{abcdetgh}	-	-	55.96 ± 6 ^{cde}	-	-
SI 429	<i>P. aureescens</i>	3.46 ± 0.14 ^{defghij}	+	-	0 ^w	-	-
SI 236	<i>L. cucumis</i>	5.81 ± 0.31 ^{abcde}	-	-	9.05 ± 3 ^{stuvw}	-	-
SI 254	<i>Pb. simplex</i>	6.50 ± 0.37 ^{abc}	-	-	20.15 ± 3 ^{mnospqs}	-	-
SI 397	<i>Pb. simplex</i>	4.03 ± 0.07 ^{bcdetghij}	-	-	7.51 ± 2 ^{tuvw}	+	-
SI 259	<i>Pb. simplex</i>	1.33 ± 0.3 ^{ik}	-	-	49.49 ± 5 ^{efg}	-	-
SI 306	<i>B. tequilensis</i>	3.15 ± 0.22 ^{efghij}	-	-	0 ^w	-	-
SI 296	<i>B. tequilensis</i>	3.46 ± 0.35 ^{defghij}	-	-	25.23 ± 4 ^{lmnop}	+	-
SI 319	<i>B. tequilensis</i>	6.27 ± 0.3 ^{abcd}	-	-	51.66 ± 5 ^{def}	+	-
SI 354	<i>B. tequilensis</i>	6.72 ± 0.1 ^{ab}	-	-	0 ^w	-	-
SI 305	<i>B. megaterium</i>	5.57 ± 0.3 ^{abcdet}	-	-	27.69 ± 4 ^{klmno}	+	-
SI 404	<i>B. megaterium</i>	6.94 ± 0.88 ^{ab}	-	-	7.51 ± 0.7 ^{tuvw}	+	-
SI 408	<i>B. megaterium</i>	5.08 ± 0.11 ^{abcdetgh}	+	-	38.32 ± 6 ^{ghij}	+	-
SI 470	<i>B. megaterium</i>	4.83 ± 0.04 ^{abcdetgh}	-	-	14.81 ± 2 ^{pqrstu}	-	-
SI 266	<i>B. megaterium</i>	6.04 ± 0.1 ^{abcde}	-	-	0 ^w	-	-
SI 339	<i>B. halotolerans</i>	0 ^k	+	-	34.85 ± 3 ^{ikl}	-	-
SI 419	<i>B. halotolerans</i>	4.83 ± 0 ^{abcdetgh}	-	-	27.69 ± 4 ^{klmno}	+	-
SI 297	<i>B. molnarensis</i>	1.33 ± 0.13 ^{jk}	-	-	7.51 ± 2 ^{tuvw}	-	-
SI 311	<i>B. cabrialesis</i>	4.83 ± 0.4 ^{abcdetgh}	-	-	0 ^w	-	-
SI 428	<i>B. cabrialesis</i>	6.94 ± 0.04 ^{ab}	+	-	0 ^w	-	-
SI 356	<i>T. saccharophilus</i>	6.27 ± 0.21 ^{abcd}	-	-	64.36 ± 6 ^{bc}	-	-
SI 243	<i>E. adherens</i>	2.50 ± 0.3 st hik	+	-	0 ^w	-	-
SI 240	<i>Sn. meliloti</i>	5.57 ± 0.3 ^{abcdet}	-	-	0 ^w	+	2.96
SI 235	<i>Sn. meliloti</i>	6.50 ± 0.3 ^{abc}	-	-	9.05 ± 1 ^{stuvw}	-	-
SI 420	<i>S. quinivorans</i>	0 ^k	+	-	17.52 ± 3 ^{noqpsr}	+	-
SI 237	<i>C. respiraculi</i>	0 ^k	-	-	18.85 ± 3 ^{mnospqs}	-	-
SI 435	<i>V. paradoxus</i>	5.33 ± 0.4 ^{abcdetgh}	-	-	0 ^w	-	3.1
SI 439	<i>V. paradoxus</i>	5.33 ± 0.42 ^{abcdetgh}	-	-	0 ^w	-	-
SI 321	<i>St. indicatrix</i>	6.50 ± 0.3 ^{abc}	+	-	26.47 ± 4 ^{klmno}	+	-
SI 358	<i>L. soli</i>	4.57 ± 0.37 ^{abcdetghij}	+	-	37.17 ± 3 ^{hik}	-	-
SI 357	<i>L. soli</i>	2.14 ± 0.02 ^{hik}	+	-	0 ^w	-	-
SI 377	<i>St. rhizophila</i>	4.57 ± 0.23 ^{abcdetghij}	-	-	18.85 ± 2 ^{mnospqs}	+	-
SI 367	<i>Ps. Plectoglossicida</i>	6.50 ± 0.28 ^{abc}	-	-	20.15 ± 3 ^{mnospqs}	+	-
SI 247	<i>Ps. brassicaecorum</i>	3.75 ± 0.6 ^{cdefghij}	-	+	16.18 ± 2 ^{opqst}	+	-
SI 307	<i>Ps. frederiksbergensis</i>	3.15 ± 0.2 ^{efghij}	+	+	48.40 ± 5 ^{efgh}	+	3.80
SI 441	<i>Ps. reinkei</i>	6.50 ± 1 ^{abc}	+	+	45.09 ± 6.4 ^{efgh}	+	-
SI 443	<i>Ps. atacemensis</i>	2.14 ± 0.2 ^{ghijk}	+	+	10.54 ± 1 ^{stuvw}	+	3.85
SI 422	<i>Ps. gramdelensis</i>	5.08 ± 1 ^{abcdetgh}	+	+	16.18 ± 3 ^{opqst}	+	3.2
SI 450	<i>Ps. gramdelensis</i>	0 ^k	+	+	12.00 ± 1 ^{rstuv}	+	-
SI 434	<i>Ps. moorei</i>	4.83 ± 0.65 ^{abcdetgh}	-	-	14.81 ± 3 ^{pqrstu}	+	-
SI 270	<i>Ps. lini</i>	2.83 ± 0.1 ^{ghijk}	+	-	0 ^w	+	4.99
SI 285	<i>Ps. lini</i>	2.83 ± 0.22 ^{ghijk}	+	+	0 ^w	+	-
SI 276	<i>Ps. lini</i>	2.14 ± 0.12 ^{hijk}	-	-	13.42 ± 2.4 ^{qrstu}	+	-
SI 284	<i>Ps. lini</i>	3.46 ± 0.2 ^{defghij}	+	+	0 ^w	+	-
SI 288	<i>Ps. lini</i>	6.27 ± 0.34 ^{abcd}	-	-	16.2 ± 3 ^{opqst}	+	4
SI 287	<i>Ps. lini</i>	3.15 ± 0.1 ^{efghij}	-	-	62.28 ± 4.8 ^{bcd}	+	-

Conclusioni

I risultati della conta su piastra hanno mostrato una diminuzione significativa di quasi tutti i microbi gruppi all'aumentare della profondità del campionamento. L'analisi genetica dei ceppi

ha evidenziato la presenza di 19 generi diversi, denotando una notevole biodiversità all'interno del suolo antropogenico oggetto di studio. Tutti i pedon analizzati hanno mostrato la prevalenza di *Bacillus* e *Pseudomonas*. I batteri produttori di EPS appartenevano alle specie *Bacillus*, *Pseudomonas* e *Stenotrophomonas*. Il sequenziamento mediante tecnologia Illumina ha indicato che i phyla più rappresentati nei suoli antropogenici analizzati sono Actinobacteria e Proteobacteria. L'analisi microbiologica dei suoli antropogenici ha chiaramente indicato che tali terreni ospitano una comunità microbica matura per la successiva coltivazione. Inoltre, lo screening PGP ha mostrato che tutti i batteri analizzati mostravano positività ad almeno uno dei test applicati; questi risultati evidenziano che la biodiversità microbica presente nel suolo antropogenico ha raggiunto una certa capacità di fornire supporto per le funzioni di crescita delle piante. Inoltre, otto ceppi batterici distribuiti tra i generi *Pseudomonas*, *Bacillus* e *Brevibacteria* sono stati risultati ottimi produttori di sostanze PGP.

Gli aspetti economici

Introduzione

L'applicazione di pedotecniche si sta recentemente diffondendo nei sistemi produttivi agricoli con l'obiettivo di aumentare la produttività e la qualità delle colture. Tuttavia, ad oggi sono poche le analisi economiche di fattibilità di tali investimenti che potrebbero significativamente giustificare e supportare le scelte imprenditoriali. Per colmare questo gap è stato condotto un caso studio aziendale nella parte centro-meridionale della Sicilia (Italia) con lo scopo di valutare la fattibilità e la redditività di un investimento di un'applicazione pedotecnica in un'azienda produttrice di uva da tavola in alternativa alle colture cerealicole tradizionalmente diffuse sui Vertisuoli.

I risultati dell'indagine empirica

Al fine di valutare la convenienza economica dell'investimento realizzato è stata condotta un'analisi costi-benefici (CBA) sulla base dei dati raccolti avvalendoci di un questionario appositamente predisposto e somministrato all'imprenditore e proprietario dell'azienda. A tale intervista sono seguiti altri incontri per verificare con precisione le informazioni raccolte. Per l'analisi costi-benefici si sono considerati i costi di investimento relativi all'applicazione della pedotecnica (numero di movimenti di camion per il trasporto del calcare marnoso utilizzato per coprire l'area dei Vertisuoli, il numero di ore di utilizzo di macchine per prelevare il calcare marnoso e successivamente livellare i cumuli, numero di ore di utilizzo di un aratro monovomere, costo per la realizzazione di una serra di 3ha, costo di realizzazione dell'impianto, costo delle barbatelle di uva da tavola) ed i costi operativi. Sulla base dei dati raccolti sono stati utilizzati gli indici *Net Present Value* (NPV), *Internal Rate of Return* (IRR) e *Payback Period* (PP) per valutare la fattibilità economica degli investimenti realizzati.

La tabella 6 riporta i costi di investimento per l'applicazione della pedotecnica e per la costruzione della serra che ammontano a € 363.618. Del costo totale, il 73,4% è ascrivibile alla realizzazione della serra e dei relativi impianti, mentre il 25,5% all'applicazione della pedotecnica.

Tabella 6 – Valutazione del costo di investimento

Investimento	u.m.	Dato	Prezzo (€)	Costo totale (€)
Camion e caterpillar per movimentazione calcare marnoso	N° viaggi	2.500	35,00	87.500
Livellamento calcare marnoso	Hrs	40	60,00	2.400
Aratura profonda	Hrs	30	90,00	2.700
Costruzione della serra	Sq. m.	30.000	7,70	231.000
Pali, fili di ferro, ecc.	Ha	3	12.000	36.000
Barbatelle uva da tavola	N° of cuttings	4.900	0,82	4.018
			Totale	363.618

Per valutare la fattibilità dell'investimento è stata effettuata un'analisi di redditività dell'uva da tavola in serra su suoli antropogenici. I risultati mostrano già dal secondo anno di produzione un reddito lordo elevato che ammonta a 34.561 € per ettaro (Tabella 7). Tale valore è da attribuire alla maggiore resa media di uva per pianta (circa 20kg/pianta), e ad un prezzo di mercato dell'uva da tavola, venduta direttamente sulla pianta a € 1,50/kg, superiore al prezzo medio italiano nei diversi mercati come conseguenza della possibilità offerta dalle coltivazioni in serra di anticipare o posticipare la raccolta.

	UM	
Produzione	Tons	32,7
Produzione lorda vendibile	€	49.000,00
Costi	€	14.438,84
Indicatori economici		
Reddito lordo	€	34.561,16
Costo totale dell'investimento	€	167.577,43
Net Present Value (NPV)	€	283.207,97
Internal Rate of Return (IRR)	%	18,3
Discounted pay-back	Anni	6

I dati della Tabella 7 sottolineano la convenienza dell'applicazione della pedotecnica considerando che tutti gli indicatori di performance economica sono molto positivi. Nel dettaglio, il VAN, ottenuto dalla differenza tra benefici economici e costi, è pari a 283,2 mila euro. Ancora più interessante è il valore dell'IRR che si attesta al 18,3%, significativamente superiore al tasso di interesse ipotizzato (3%), mentre il DPP scontato è di 6 anni.

Alcune considerazioni conclusive

L'analisi dei costi di investimento e dei flussi di cassa con riferimento allo specifico caso di studio evidenzia la fattibilità dell'investimento dell'applicazione della pedotecnica per coltivare una coltura ad alto reddito quale l'uva da tavola. In particolare, l'adozione di questa tecnica offre all'imprenditore l'opportunità di modificare l'uso del suolo traendo un significativo beneficio economico. Infatti, come emerge dalla valutazione economica, il reddito dell'azienda studiata si discosta significativamente dalla redditività di altre colture tradizionalmente coltivate sui Vertisuoli nell'area oggetto di studio, e in particolare del grano duro. A questo vantaggio, si aggiunge la possibilità di ottenere rese più elevate e avvalersi di prezzi di mercato maggiori grazie alla possibilità di anticipare o posticipare l'epoca di raccolta. Questa indagine ha dimostrato che, dal punto di vista economico, l'applicazione della pedotecnica è vantaggiosa per l'azienda indagata e sarebbe vantaggiosa anche per altre aziende operanti sia nella stessa area di studio che in contesti agricoli con caratteristiche pedoclimatiche ed economiche uguali o simili.

Gli aspetti ecosistemici

Il concetto di sicurezza del suolo è definito come il mantenimento e il miglioramento della capacità delle risorse del suolo mondiale di produrre cibo, fibre e acqua dolce, di contribuire alla sostenibilità energetica e climatica, mantenere la biodiversità e la protezione complessiva dell'ecosistema, si basa sulla capacità del suolo di fornire servizi ecosistemici. In accordo a quanto detto da Lal, possiamo affermare che quando si verifica un declino della qualità del suolo, si verifica un concomitante declino della qualità del suolo di fornire servizi e beni ecosistemici. Pertanto, un suolo sicuro, cioè un suolo "buono", è necessario per un approvvigionamento sicuro di cibo e fibre, di acqua dolce pulita e per contribuire alla protezione generale dell'ecosistema.

La sicurezza del suolo dipende dai servizi ecosistemici (ES) del suolo, cioè dai benefici che le persone traggono dal suolo.

La sicurezza del suolo dovrebbe comportare una valutazione economica con l'obiettivo finale di incoraggiare una sana gestione del suolo che, costituendo uno dei principali obiettivi della pedotecnica, influenza fortemente i servizi ecosistemici del suolo.

Nel nostro caso studio possiamo affermare che un suolo "buono/sicuro" è stato sepolto sotto un suolo "cattivo/insicuro" con l'obiettivo di massimizzare il reddito? Per poter dare una risposta si può fare riferimento a quelle che definiamo le 5 C, ovvero alla dimensione della capacità, alla condizione al capitale, alla connettività e alla codificazione per valutare se un suolo è sicuro o meno.

Capacità (Capability)

È un termine che si riferisce alla capacità di un suolo di produrre colture comuni e piante da pascolo senza deteriorare per un lungo periodo di tempo. Recentemente, il termine è stato utilizzato per definire la capacità intrinseca di un suolo di contribuire ai servizi ecosistemici.

Nel nostro caso non abbiamo avuto un cambiamento nella gestione ma una creazione di un suolo antropogenico e collocato per l'interramento di un suolo naturale. Per definire la capacità di questi due suoli abbiamo applicato il *Soil Potential Index* (SPI- sistema parametrico basato sull'indice Storie modificato da Mancini e Ronchetti (1968) per il paesaggio pedologico italiano) e il *Land Capability Classification System* (LCC), un sistema di valutazione delle terre di tipo categorico.

L'applicazione di questi due sistemi di valutazione del territorio evidenzia che il Vertisuolo può essere considerato un suolo "buono/sicuro" rispetto all'Antrosuolo.

Condizione

Secondo Doran e Ziess (2000), la condizione del suolo può essere definita come "la capacità di un suolo di funzionare, entro i confini dell'uso del suolo e dell'ecosistema, per sostenere la produttività biologica, mantenere la salute dell'ambiente e promuovere la salute delle piante, degli animali e dell'uomo". La condizione del suolo può essere dedotta considerando le principali proprietà qualitative del suolo, ovvero un insieme di indicatori (generalmente un gruppo di parametri fisici e chimici del suolo) che sono collegati a una funzione del suolo e che, nel complesso, consentono di definire un suolo come "buono/sicuro" o "cattivo/insicuro". La Tabella 3, che riporta le principali caratteristiche morfo-descrittive e fisico-chimiche dei suoli indagati, permettono di evidenziare che i parametri di qualità del suolo che determinano lo

stato/condizione (cioè la fertilità) dei suoli studiati sono gli stessi che influenzano la capacità del suolo. Ancora una volta, il Vertisuolo risulta essere il suolo "buono/sicuro" mentre l'Antrosuolo è il "suolo cattivo/insicuro". Desideriamo sottolineare che nel nostro caso di studio non possiamo considerare la performance dei suoli come la somma di capacità + condizione perché non consideriamo le differenze nella gestione dello stesso suolo, ma i parametri di qualità e la performance di due suoli molto diversi.

Capitale

Una nuova strada da percorrere nel campo della scienza del suolo potrebbe essere quella di assegnare un "valore economico" ai servizi offerti dai suoli. Il valore economico del suolo potrebbe essere un aspetto che attira veramente l'attenzione di politici e amministratori. Negli ultimi anni sono stati fatti molti tentativi per attribuire un valore economico ai servizi ecosistemici. Tuttavia, fino ad oggi questo obiettivo rimane difficile da raggiungere, perché la maggior parte dei servizi ecosistemici non sono riconosciuti dai mercati, o sfuggono a qualsiasi valutazione economica a causa di un'intrinseca difficoltà di misurazione. Nel considerare il capitale naturale del suolo, dovremmo anche considerare la distinzione tra quest'ultimo e il capitale aggiunto del suolo, cioè le tecnologie utilizzate per aumentare la capacità produttiva del suolo. Nel nostro caso di studio, utilizzando un'adeguata tecnica pedologica, è stato costruito e attrezzato un suolo antropico, con l'obiettivo di aumentare il reddito dell'agricoltore da 480 euro (dal Vertisol) a 34.500 euro (dall'Anthrosol). Partendo da queste performance, dovremmo concludere che l'Anthrosol Pantoterrico è il suolo "buono/sicuro", mentre il Vertisol cromatico è il suolo "cattivo/insicuro". Ragionevolmente, comunque, e da un punto di vista pedo-logico (cioè applicando un pensiero razionale e logico ai due pedotipi che abbiamo analizzato), le cose dovrebbero essere viceversa.

Connettività

La connettività del suolo è forse l'aspetto più problematico/stimolante del nostro caso di studio. L'agricoltore che ha investito una grossa somma di denaro per costruire una serra di tre ettari su un terreno antropico adattato alla coltivazione dell'uva da tavola e utilizzato per coprire un Vertisol preesistente, è anche il proprietario della nostra area di studio ed è un agronomo. Quindi, essendo una persona istruita e anche "la persona responsabile del suolo in quel pezzo di terra, ha le conoscenze e le risorse giuste per gestire il suolo secondo le sue capacità". Considerando il suo livello di istruzione, dovremmo aspettarci da lui l'adozione di misure volte a preservare il Vertisol e il suo ruolo negli equilibri ambientali. Nella gestione della sua azienda agricola, non è stato spinto da un punto di vista "pedo-etico", ma dalla necessità di aumentare il proprio reddito e migliorare la propria condizione economica. Lo stesso accade in molte altre aree della Sicilia sud-orientale e centrale, dove migliaia e migliaia di ettari con buoni terreni naturali sono stati ricoperti da un profondo strato di calcare marnoso per coltivare uva da tavola in serre a tunnel. Di fronte a questa enorme trasformazione del paesaggio pedologico, le persone con conoscenze di scienza del suolo, nel tentativo di comunicare la necessità di preservare i suoli naturali, soffrono di una sindrome di Cassandra perché la percezione della connettività del suolo da parte dell'agricoltore/proprietario/agronomo è guidata solo da considerazioni economiche. Dal punto di vista dell'agricoltore, l'Antrosuolo Pantoterrico è il suolo "buono/sicuro", mentre il Vertisuolo cromatico è il suolo "cattivo/insicuro". Sempre da un punto di vista pedologico (cioè applicando una conoscenza razionale e scientifica unita a una logica pedo-pensiero), le cose dovrebbero essere invertite.

Codificazione

Le iniziative e le politiche per una gestione accurata del territorio e una corretta conservazione del suolo sono iniziate negli ultimi decenni del secolo scorso e si sono concentrate principalmente sull'erosione del suolo. Dopo quegli anni, sono state riconosciute diverse minacce e problemi per i suoli e i dibattiti sulla qualità del suolo, sulla salute del suolo, sulla sostenibilità del suolo e, recentemente, sulla sicurezza del suolo, hanno coinvolto sempre di più la comunità della scienza del suolo. Negli stessi anni, diversi movimenti sociali e culturali per la tutela dell'ambiente hanno iniziato a operare in molti Paesi del mondo. Nonostante ciò, la necessità di politiche e regolamenti pubblici rimane insoddisfatta e i programmi governativi volti a pagare gli agricoltori per i servizi ecosistemici forniti da suoli "buoni/sicuri" che essi mantengono invece per produrre suoli "cattivi/insicuri" spinti da un'elevata redditività rimangono ancora una sfida per gli scienziati del suolo. Come sottolineato da Bouma et al. (2011), il problema non è decidere cosa sia giusto o sbagliato, ma cosa sia meglio o peggio per l'intera società.

Nel nostro caso specifico, se dovessimo valutare, dal punto di vista degli scienziati del suolo, i servizi ecosistemici forniti dai due suoli secondo le indicazioni della letteratura scientifica, dovremmo indicare il Vertisuolo Cromico come il suolo "buono/sicuro" e l'Antrosuolo Pantoterrico come il suolo "cattivo/insicuro".

Nei prossimi anni, lo sviluppo socio-economico dell'umanità e il mantenimento della sua prosperità dipenderanno in larga misura dalla sua capacità di garantire un uso sostenibile delle risorse naturali. Si tratta di un compito molto complesso a causa dell'impatto delle attività umane sull'ambiente e in particolare sul suolo. La Scienza del suolo svolge un ruolo cruciale per soddisfare le esigenze di una società sempre più globale e tecnologica. Le questioni riguardanti il suolo non sono più limitate all'agronomia e/o alla silvicoltura, ma devono essere estese all'intero ambiente e ai sistemi sociali e culturali. Riteniamo che uno dei temi da considerare come strada vincente nel campo della scienza del suolo, riguardi l'assegnazione di un "valore economico" ai servizi offerti dai suoli.

La considerazione del suolo come "influenzatore" dei sistemi economici, non solo da parte dei proprietari terrieri che cercano di ottenere un reddito elevato indipendentemente da una gestione sostenibile del suolo, ma soprattutto da parte dell'intera società, che ottiene enormi benefici dai servizi ecosistemici del suolo, potrebbe essere la strategia vincente per attirare l'attenzione di politici e amministratori. Tale attenzione potrebbe essere, a sua volta, il primo passo nella pianificazione di politiche ambientali volte al riconoscimento del coinvolgimento degli agricoltori nel mantenimento dei servizi ecosistemici del suolo e al pagamento di tale coinvolgimento da parte del governo per conto della società.

Riteniamo/speriamo che in futuro, questo modo di attirare l'attenzione sul suolo considerando il suo ruolo di "influencer dell'economia" consentirebbe di attribuire anche un valore economico ai diversi processi di de-gradazione del suolo, definendo un algoritmo per calcolare il Prodotto Interno Lordo Ambientale (PIL) di una nazione (sulla base dell'assioma di Roosevelt). Questo, a sua volta, diffonderebbe la consapevolezza dell'importanza del suolo in ogni ambito della società umana.

McBratney et al. (2014) si chiedono "come la società si connette o può connettersi ai suoli?". A questa domanda che stimola importanti riflessioni, ne aggiungerei altre: "come esprimere una valutazione economica del suolo quando, a causa dell'azione antropica, la capacità del suolo di produrre beni o servizi è profondamente compromessa o persa per sempre? Come esprimere una valutazione economica della perdita di funzionalità del suolo?". E ancora, "come calcolare, all'interno del Prodotto Interno Lordo (PIL) di ogni nazione, un algoritmo che tenga conto della

variazione della funzionalità del suolo?". In altre parole, come calcolare il Prodotto interno lordo ambientale (PIL) di una regione o di una nazione?

Questa è una sfida che dovrebbe coinvolgere tutti gli scienziati del suolo a lavorare insieme per raggiungere un obiettivo di straordinaria importanza non solo per la scienza del suolo, ma soprattutto per la società civile. Riuscire ad assegnare un valore economico ai processi di degrado del suolo, definendo un algoritmo per calcolare il Prodotto Interno Lordo Ambientale di una nazione, sarebbe una questione di grande importanza per la società, che provocherebbe lo sviluppo di un'economia di mercato.

Seconda Tappa: Parco Archeologico della Valle dei Templi

La città di *Akragas*, definita “Città la più bella fra quante son albergo per gli uomini” dal poeta greco Pindaro, è fondata da coloni provenienti in parte da Gela e in parte da Rodi nel 580 a.C. Essa sorge su di un altipiano non lontano dal mare, protetto a Nord dai rilievi della Rupe Atenea e del Colle di Girgenti e a Sud dalla cosiddetta Collina dei Templi e circondato dai fiumi *Akragas* e *Hypsas*. Il suo porto (*emporion*) si trova alla foce dei due fiumi, nell’odierna borgata marinara di San Leone.

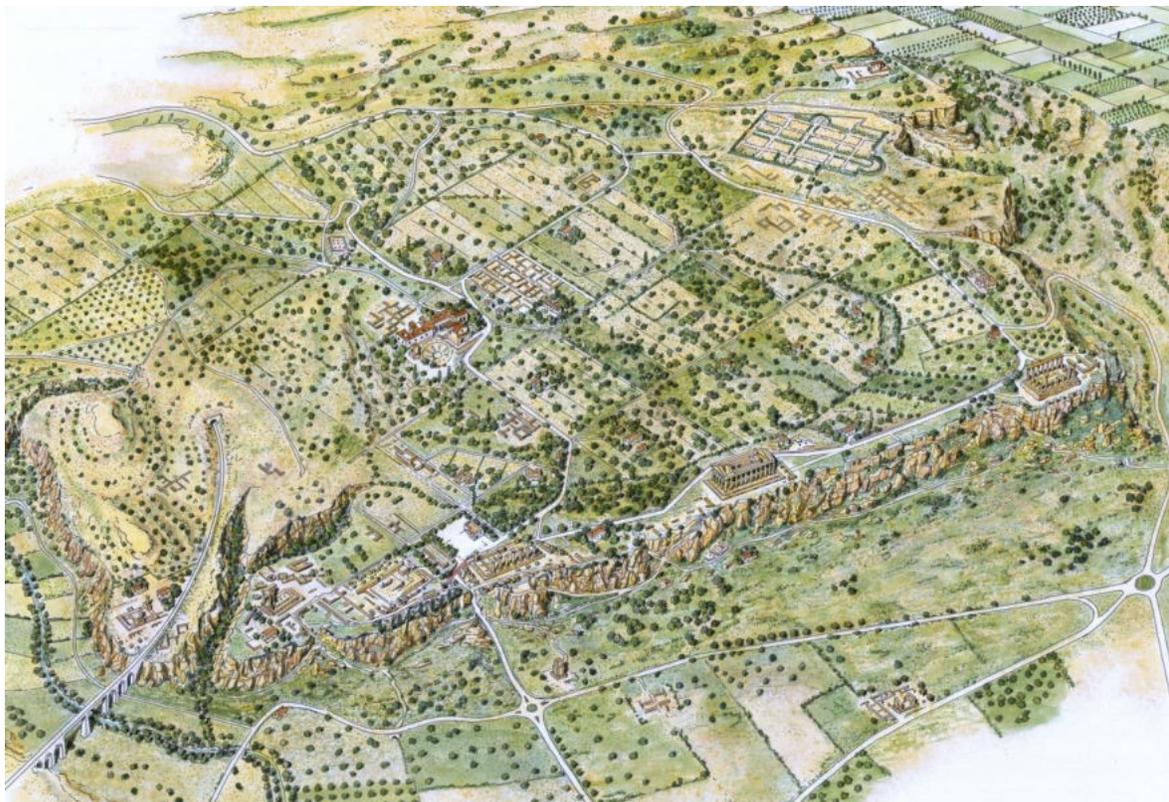


Figura 17 - Mappa Sito Archeologico

Fra la metà del VI e la fine del V secolo a.C. la città è oggetto di un fervore edilizio senza uguali, di cui sono testimoni la maggior parte delle vestigia oggi visibili e una poderosa cinta muraria lunga 12 chilometri e accessibile da 9 porte. A partire dalle tirannidi di Falaride e di Terone fino ad arrivare al periodo democratico, dominato dalla figura del filosofo Empedocle, *Akragas* assume le proporzioni di una grande città stato con più di 200.000 abitanti.

Distruetta nel 406 a.C. ad opera dei Cartaginesi, la città deve attendere l’avvento di Timoleonte sul finire del III secolo a.C. per vivere un nuovo momento di prosperità. Durante le guerre puniche, fu un presidio dei Cartaginesi contro i Romani che la conquistarono nel 210 a.C.

In periodo romano, nella città, ormai denominata *Agrigentum*, furono costruiti nuovi edifici pubblici, fra cui almeno due tempietti, il teatro ed il bouleuterion, nell'ambito di un assetto urbanistico monumentale che ha il suo fulcro nel poggio S. Nicola, dove oggi sorge il Museo Archeologico (Fig. 18). A questo periodo si ascrivono anche le case più opulente del vicino Quartiere Ellenistico Romano. La ricchezza degli abitanti di *Agrigentum* probabilmente dipese anche dall'attività di estrazione, raffinazione e commercio dello zolfo, documentata dalle iscrizioni.



Figura 18 - Museo Archeologico

In età tardo antica e altomedievale, la collina dei Templi è occupata da una vasta necropoli cristiana sia a cielo aperto che sotterranea.

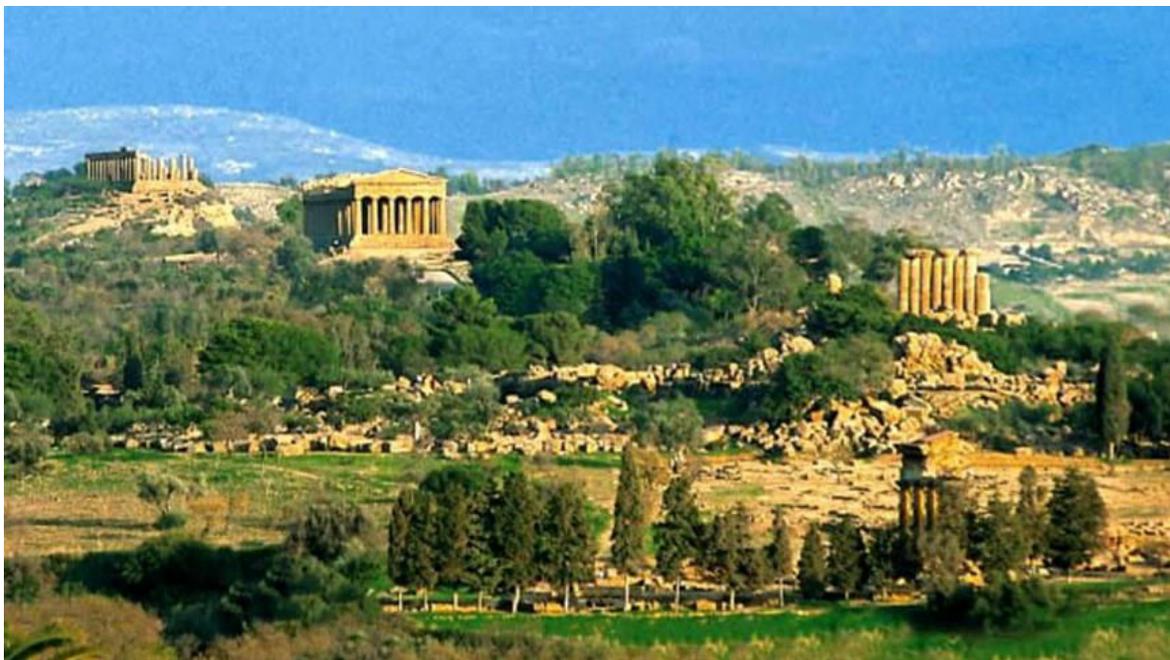


Figura 19 - Panoramica del Parco archeologico

Durante la conquista musulmana delle popolazioni arabe, berbere, spagnole, egizie, sire e persiane, avvenuta fra l'829 e l'840 d.C., sembra si siano ritirati sul colle di Girgenti (dall'arabo *Gergent* o *Kerkent*), dove in seguito si sarebbe sviluppata la città medievale e moderna.

La Valle dei Templi, abitata in modo sporadico, fu destinata alle produzioni agricole e artigianali, come le officine ceramiche, documentate da alcune fornaci. Nel corso dei secoli i monumenti della città classica furono via via spoliati dei blocchi, che servirono alla costruzione degli edifici di Girgenti e del molo antico di Porto Empedocle.

Il Parco Archeologico e Paesaggistico della Valle dei Templi è stato istituito con la legge regionale n. 20 del 3 novembre del 2000 e ha, tra le sue principali finalità, la tutela e la valorizzazione dei beni archeologici, paesaggistici e ambientali della Valle. Accanto a queste finalità, si aggiungono inoltre l'identificazione, la conservazione, gli studi e la ricerca dei beni archeologici, paesaggistici e ambientali a fini scientifici e culturali.

Nella Valle dei Templi, dichiarata nel 1997 dall'Unesco "Patrimonio Mondiale dell'Umanità", si trova uno dei più grandi siti archeologici del Mediterraneo, immerso in un paesaggio naturale di eccezionale bellezza. Nel 2015 l'Unesco ha conferito la DEVU (Dichiarazione di eccezionale valore universale), che premia le scelte di gestione in favore della fruizione e dell'accessibilità.

Negli anni più recenti il Parco e il suo personale tecnico-scientifico stanno perseguendo una politica di apertura, di cui sono frutto le collaborazioni con numerosi gruppi di ricerca e istituti universitari, fra cui lo IULM di Milano, il Politecnico di Bari, le Università di Bologna, Catania, Padova, Palermo e Ausburg. I diversi progetti in essere stanno portando a scoperte epocali, come – per esempio – il Teatro Ellenistico e le Terme del Quartiere Ellenistico Romano, e a una sempre maggiore conoscenza della città antica non soltanto di periodo greco e romano e

non solo nell'ambito dell'archeologia, ma anche della storia, intesa nel senso più ampio del termine.

All'interno di questa politica si inserisce la continua promozione di iniziative e laboratori didattici rivolti a un vasto pubblico di utenti e la sponsorizzazione di borse di studio e di progetti rivolti a giovani studiosi.