

# LO STUDIO DELLA BIODIVERSITÀ DEGLI ARTROPODI DEL SUOLO: METODI TRADIZIONALI E PROSPETTIVE FUTURE

Isabella Ghiglieno<sup>1</sup>, Anna Simonetto<sup>1</sup>, Fabio Gatti<sup>1</sup>,  
Giorgio Sperandio<sup>1</sup>, Gianni Gilioli<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Agrofood Lab, Dipartimento di Medicina Molecolare e Traslazionale, Università degli Studi di Brescia, Brescia*

<sup>2</sup> *Studio Ethos srl, Consulenze Ambientali integrate*

## RUOLO E IMPORTANZA DEGLI ARTROPODI DEL SUOLO

**L**a tutela del suolo ha assunto, negli ultimi anni, un'importanza sempre maggiore. Molti servizi ecosistemici fondamentali dipendono in larga misura dalla salute e dalla qualità del suolo (EC 2010). Esso è inoltre una componente fondamentale per il sostentamento di buona parte della biodiversità, ospitando almeno un quarto delle specie viventi (EC 2010; Geisen *et al.* 2019). Gli Artropodi costituiscono una parte fondamentale della biocenosi animale del suolo, arrivando a costituire fino all'85% della ricchezza di specie (Bagyaraj *et al.* 2016). Tra gli Artropodi edafici i gruppi più importanti sono gli Esapodi, i Miriapodi, i Crostacei e gli Aracnidi (Figura 1). Le dimensioni sono variabili, si descrivono due categorie dimensionali, i microartropodi (<2 mm) come Acari e Collemboli, e i macroartropodi (>2mm) come Ditteri, Coleotteri e Imenotteri nei diversi stadi di vita (Culliney 2013).

Questa diversificazione tassonomica e dimensionale testimonia la versatilità degli adattamenti e

la diversità delle nicchie occupate dagli Artropodi del suolo (Swift *et al.* 2004). Dal punto di vista ecologico i rappresentanti di questo gruppo agiscono come detritivori e decompositori della sostanza organica, intervenendo nella catena del detrito sia in modo meccanico (es. frammentazione) e chimico (es. digestione), sia come regolatori delle popolazioni microbiche. L'azione meccanica degli Artropodi edafici è importante per il mantenimento delle caratteristiche strutturali dei suoli. Grazie alla loro azione di escavazione essi migliorano la porosità del terreno, favorendo l'aerazione, la capacità di ritenzione idrica e la penetrazione delle radici delle piante. Concorrono in questo modo a prevenire l'essiccazione e l'erosione degli strati superficiali del suolo. Il trasporto delle particelle del suolo dagli orizzonti inferiori verso la superficie (e viceversa), operato dagli Artropodi, favorisce il rimescolamento della frazione organica e minerale del terreno.

Le feci degli Artropodi contribuiscono all'aggregazione delle particelle e alla formazione dell'humus, importanti per il mantenimento della fertilità del terreno e per la sua capacità di immagazzinare nutrienti. Molti Artropodi edafici agiscono come predatori e contribuiscono quindi alla regolazione delle popolazioni di microrganismi implicati nella decomposizione della sostanza organica morta. Gli Artropodi possono, infine, svolgere anche un ruolo importante nella disseminazione del popolamento di funghi e batteri.



Figura 1. Immagini relative ad alcuni dei più rappresentativi taxa osservabili negli orizzonti superficiali del suolo. A - Collembolo, B - Chilopode, C - Larva di dittero, D - Protozoo, E - Araneide, F - Acaro, G - Dipluro, H - Pauropode, I - Coleottero.

## MODOLOGIE DI STUDIO TRADIZIONALI DELLA BIODIVERSITÀ DEGLI ARTROPODI DEL SUOLO

Gli studi sugli Artropodi del suolo prendono origine dalle indagini, di matrice naturalistica, finalizzate a fornire un inventario della ricchezza di forme e specie di questi organismi. Per storia e tradizione queste indagini sono basate su tecniche di analisi tassonomica di tipo morfologico e hanno fornito un contributo fondamentale nell'arricchire il quadro delle conoscenze sulla diversità degli Artropodi.

Più di recente gli studi sulla artropodofauna si sono arricchiti di approcci più ecologici mirati all'analisi degli aspetti adattativi e funzionali. In questo modo è nata un'esplorazione approfondita delle diverse dimensioni di nicchia delle specie e dei taxa sovra-specifici.

Scopo di questi studi è stato anche quello di derivare indicazioni per valutare la qualità dei suoli e le risposte delle comunità edafiche alle strategie di gestione del suolo e alle perturbazio-

ni che questo subisce ad opera dell'uomo.

Per valutare più sinteticamente le informazioni derivanti dalle indagini sulla biodiversità delle biocenosi edafiche sono stati sviluppati o applicati numerosi indici che consentono di quantificare la numerosità di specie e di valutarne le differenze di comportamento in particolare in termini di presenza/assenza o di abbondanza (assoluta o relativa). Tra questi, i più noti sono l'indice di Shannon (Shannon & Weaver 1949) e l'indice di Simpson (Simpson 1949), che basano la misura della biodiversità sull'analisi delle abbondanze relative degli individui appartenenti a ciascuna specie, e l'indice di Margalef (Margalef 1958), basato sul rapporto tra il numero di specie e il numero complessivo di individui di una comunità. Alla base dell'uso di questi indici vi è l'idea che la qualità di un ecosistema possa essere misurata in proporzione al numero di

specie presenti e alla distribuzione più o meno uniforme di individui tra le specie. Non si considerano, in questi approcci, le problematiche legate alla ridondanza delle specie e agli specifici tratti funzionali delle specie, tematiche queste più tipiche di approcci funzionali che verranno ripresi nelle Conclusioni.

Il grande sforzo di identificazione tassonomica delle specie e l'assenza di indicazioni funzionali propria degli indici classici sono due importanti limitazioni dei metodi tradizionali di studio della biodiversità edafica. Per ovviare a questi problemi, con l'obiettivo di rendere l'indagine morfologica più spedita e l'informazione sulla presenza/assenza e numerosità dei vari taxa più significativa dal punto di vista funzionale, sono stati proposti metodi diversi basati sull'uso di indici. Tra questi uno dei più conosciuti è l'indice di qualità biologica del suolo (QBS-ar) introdotto da Parisi nel 2001 (Parisi 2001). Questo indice si basa sul concetto di forma biologica, secondo il

quale gli organismi vengono raggruppati in funzione del diverso grado di adattamento alla vita ipogea. Nell'indice QBS-ar viene proposta una classificazione di diversi taxa in rapporto al loro adattamento alla vita ipogea considerando un insieme di caratteristiche morfologiche specifiche e facilmente individuabili (Figura 2). L'applicazione dell'indice QBS-ar consente quindi di valutare la diversità di forme biologiche che caratterizza un determinato suolo, consentendo di rappresentare il livello di adattamento alla vita edafica di una data comunità biotica. L'indice QBS-ar può consentire di discriminare i sistemi perturbati da quelli integri; tale capacità deriva dall'ipotesi che le forme biologiche con adattamenti più spinti all'ambiente edafico siano più sensibili alle perturbazioni rispetto alle forme biologiche con minor adattamento a questo ambiente, pertanto soffrono maggiormente di condizioni che alterano il suolo.

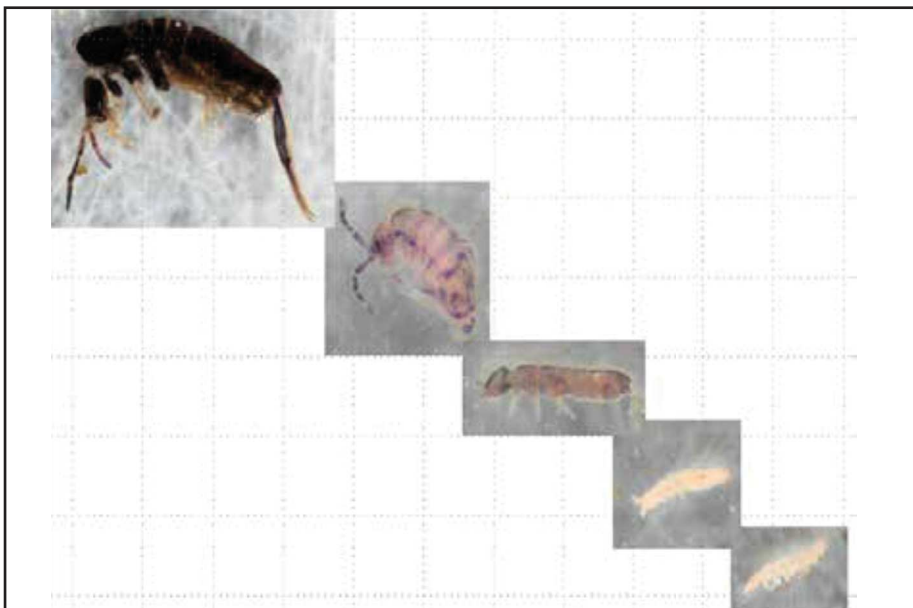


Figura 2. Livelli adattativi all'ambiente edafico dei Collemboli; da forme epigee di dimensioni maggiori e ben pigmentate, a forme euedafiche miniaturizzate e completamente prive di colore.

## LA RIVOLUZIONE DEGLI APPROCCI MOLECOLARI: SVILUPPO, PROBLEMI E PROSPETTIVE

Le tecniche di riconoscimento basate sulle caratteristiche morfologiche sono state recentemente affiancate da metodiche molecolari che identificano la presenza di taxa, in matrici ambientali, tramite l'analisi di opportuni geni marcatori. L'applicazione di queste tecniche agli Artropodi edafici è recente, mentre le tecniche molecolari rappresentano lo standard per lo studio della struttura delle comunità di procarioti, funghi e protisti. La tecnica del metabarcoding è, a oggi, la più applicata ai diversi gruppi di organismi del suolo (Geisen *et al.* 2019). Questo metodo combina il sequenziamento del DNA tramite la NGS (Next-Generation Sequencing), che consente di sequenziare in parallelo milioni di brevi sequenze di DNA, con la possibilità di identificare le singole specie tramite l'analisi del DNA (barcoding) (Rubbmark 2018). Nel metabarcoding applicato alle indagini sugli Artropodi edafici viene sequenziato, come per gli altri metazoi, il prodotto dell'amplificazione di frammenti del gene per la subunità I della citocromo-c ossidasi (COI), amplificati attraverso l'utilizzo di primer specifici (Zeale *et al.* 2011). Queste regioni barcoding vengono lette permettendo l'identificazione, tramite opportune tecniche di elaborazione e interpretazione dei dati, di taxa a diversi livelli di risoluzione fino a giungere a quello di specie. Uno degli aspetti più attrattivi di queste tecniche è la possibilità di analizzare la composizione delle comunità biotiche di un elevato numero di campioni di suolo in poco tempo grazie alla rapidità e ripetibilità di esecuzione. In questo modo è possibile supe-

rare alcuni dei limiti fondamentali delle tecniche classiche basate sul riconoscimento morfologico (Porter *et al.* 2019) come, per esempio, la differente efficienza di estrazione degli organismi per i diversi taxa (Geisen *et al.* 2019) e il necessario coinvolgimento di esperti tassonomi per l'identificazione morfologica degli organismi estratti. Le enormi potenzialità delle tecniche molecolari si scontrano però, a tutt'oggi, con alcune importanti limitazioni, legate alla necessità di raffinare le tecniche molecolari con particolare riferimento all'identificazione dei primer più adatti per l'amplificazione e all'arricchimento dei database di sequenze geniche che consentono l'identificazione dei taxa (Elbrecht *et al.* 2019; Rubbmark 2018). Da tali limitazioni segue che l'identificazione dei taxa non sempre riesce a giungere al livello di specie per mancanza della disponibilità di database delle sequenze specie-specifiche (Porter *et al.* 2019) ed esistono problemi importanti nella determinazione dell'abbondanza assoluta del singolo taxon (Geisen *et al.* 2019). Anche in ragione delle limitazioni che ancora interessano le tecniche molecolari, diversi autori hanno sottolineato l'opportunità di condurre analisi della biodiversità edafica usando congiuntamente metodi tradizionali e tecniche di metabarcoding (Oliverio *et al.* 2018; Geisen *et al.* 2019). I risultati di tali indagini hanno dimostrato, nonostante qualche discrepanza, una sostanziale corrispondenza tra i risultati ottenuti con le due metodologie.

## CONCLUSIONI: LA SFIDA DI UN APPROCCIO SISTEMICO

Le ricerche condotte con metodi tradizionali e molecolari stanno generando una notevole mole di dati sulla ricchezza e la diversità delle specie di Artropodi nel suolo. Ancora lunga è però la strada da compiere per interpretare le risposte dei singoli taxa e delle comunità biotiche alle variabili abiotiche del suolo, alle diverse pratiche di gestione e alla tipologia, intensità e frequenza delle perturbazioni. Ancora più complessa è la sfida, che ha dinnanzi la ricerca scientifica, di porre in relazione gli aspetti strutturali della biodiversità (intesi come quelli che concernono la composizione delle biocenosi) a quelli funzionali; questo infatti comporta il comprendere il ruolo che i differenti taxa e le interazioni tra questi hanno nella genesi e regolazione dei processi ecosistemici e nei servizi che gli ecosistemi ci offrono.

Lo studio del legame tra struttura delle biocenosi (specie presenti e loro abbondanza) e processi ecologici richiede un approccio sistemico e adeguati strumenti di modellistica che possano supportare il livello di complessità dell'indagine. In un'ottica sistemica, le comunità biotiche sono viste come reti i cui nodi (componenti della biodiversità, intesi come specifici taxon o, in alternativa, gruppi funzionali) sono caratterizzati da attributi (come ad esempio presenza/assenza, abbondanza, grado di attivazione di specifiche funzioni) e da specifici pattern di interazione. L'idea di base degli approcci sistemici è che i processi ecosistemici, come proprietà emergente, sono generati e regolati dal funzionamento di queste reti. Lo studio delle risposte di queste reti ai diversi schemi di gestione o alle perturba-

zioni può quindi rendere conto delle loro proprietà adattative, incluse le capacità di resistenza e resilienza degli ecosistemi.

In rapporto agli obiettivi di studio, un approccio sistemico deve tener adeguatamente conto del livello di risoluzione spaziale e temporale dello studio, a partire dalla singola unità ambientale (es. la singola unità spaziale determinata dalla comunità vegetale predominante), fino a considerare il livello del paesaggio nel suo insieme. La complessità delle biocenosi rende necessaria, in qualsiasi analisi sistemica, un'opportuna semplificazione e l'utilizzo di adeguati strumenti quantitativi che consentano di studiare reti trofiche di dimensioni (numero di nodi) e complessità delle connessioni di gran lunga superiori a quella rappresentata nella tradizione della ecologia matematica (il cui oggetto erano catene trofiche con un numero limitato di livelli). A titolo d'esempio possiamo citare la valutazione delle interazioni multi-trofiche tra gilde trofiche di artropodi in un agroecosistema, sviluppata includendo nel sistema l'effetto delle pratiche agricole e la complessità del paesaggio (Jacquot *et al.* 2019). Il modello di analisi utilizzato in questo studio ha consentito di valutare gli effetti dell'utilizzo dei fitofarmaci e della complessità del paesaggio sulle interazioni trofiche all'interno dell'unità ambientale.

L'applicazione di approcci sistemici per indagare i processi ecologici e la genesi e regolazione dei servizi ecosistemici è agli inizi, ma si sta dimostrando estremamente promettente. Il rinnovato interesse da parte del mondo scientifico e degli Enti e Organizzazioni internazionali per la

biodiversità sono il migliore auspicio per dare nuova linfa alle ricerche nella direzione di un approccio più preciso e scientificamente fondato alla sostenibilità e ai meccanismi biologici ed ecologici che la garantiscono. Data l'importanza degli Artropodi in termini di diversità di forme e funzioni e il loro ruolo fondamentale nei processi ecologici del suolo che garantiscono i servizi ecosistemici che questo genera, per questo gruppo di organismi si prospetta un ruolo da primi attori nello scenario futuro sulla gestione sostenibile della risorsa suolo.

### *Bibliografia*

- BAGYARAJ, D.J., NETHRAVATHI, C.J., NITIN, K.S. (2016). Soil Biodiversity and Arthropods: Role in Soil Fertility. In: Economic and Ecological Significance of Arthropods in Diversified Ecosystems. Springer Singapore, Singapore, 17–51. [https://doi.org/10.1007/978-981-10-1524-3\\_2](https://doi.org/10.1007/978-981-10-1524-3_2)
- CULLINEY, T. (2013). Role of Arthropods in Maintaining Soil Fertility. *Agriculture*, 3(4), 629–659. <https://doi.org/10.3390/agriculture3040629>
- ELBRECHT, V., BRAUKMANN, T.W.A., IVANOVA, N.V., PROSSER, S.W.J., HAJIBABAEI, M., WRIGHT, M., ZAKHAROV, E.V., HEBERT, P.D.N., STEINKE, D. (2019). Validation of COI metabarcoding primers for terrestrial arthropods. *PeerJ*, 7, e7745. <https://doi.org/10.7717/peerj.7745>
- European Commission (2010). The factory of life. Why soil biodiversity is so important. Office for Official Publications 369 of the European Union, Luxembourg.
- GEISEN, S., BRIONES, M.J.I., GAN, H., BEHAN-PELLETIER, V.M., FRIMAN, V.P., DE GROOT, G.A., HANNULA S.E., LINDO, Z., PHILIPPOT, L., TIUNOV, A.V., WALL, D.H. (2019). A methodological framework to embrace soil biodiversity. *Soil Biology and Biochemistry*, 136, 107536. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2019.107536>
- JACQUOT, M., MASSOL, F., MURU, D., DEREPA, B., TIXIER, P., DEGUINE, J.P. (2019). Arthropod diversity is governed by bottom-up and top-down forces in a tropical agroecosystem. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 285, 106623 <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106623>
- MARGALEF R. (1957). Information theory in ecology. *Gen. Syst.* 3: 36-7 1. Transl. from *Memorias de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona*, 32: 373-449.
- OLIVERIO, A.M., HUIJIE GAN, H., WICKINGS, K., FIERER, N. (2018). A DNA metabarcoding approach to characterize soil arthropod communities. *Soil Biology and Biochemistry*, 125, 37-43. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.06.026>
- PARISI, V. (2001). La qualità biologica del suolo. Un metodo basato sui microartropodi. *Acta Naturalia de L'Ateneo Parmense*, 37, 105–114.

- PORTER, T.M., MORRIS, D.M., BASILIKO, N., HAJIBABAEI, M., DOUCET, D., BOWMAN, S., EMILSON, E.J.S., EMILSON, C.E., CHARTRAND, D., WAINIO-KEIZER, K., SÉGUIN, A., VENIER, L. (2019). Variations in terrestrial arthropod DNA metabarcoding methods recovers robust beta diversity but variable richness and site indicators. *Scientific Reports*, 9, 18218. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-54532-0>
- RUBBMARK, O.R., SINT, D., HORNGACHER, N., TRAUOGOTT, M. (2018). A broadly applicable COI primer pair and an efficient single-tube amplicon library preparation protocol for metabarcoding. *Ecology and Evolution*, 8, 12335–12350. <https://doi.org/10.1002/ece3.4520>
- SHANNON, C.E., & WEAVER, W. (1949). *The Mathematical Theory of Communication*. Urbana, IL: The University of Illinois Press, 117 pp.
- SIMPSON, E. (1949). Measurement of Diversity. *Nature*, 163, 688. <https://doi.org/10.1038/163688a0>
- SWIFT, M.J., IZAC, A-M.N., VAN NOORDWIJK, M. (2004). Biodiversity and ecosystem services in agricultural landscapes—are we asking the right questions?. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 104(1), 113–134. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2004.01.013>
- ZEALE, M.R.K., BUTLIN, R.K., BARKER, G.L.A., LEES, D.C., JONES, G. (2011). Taxon-specific PCR for DNA barcoding arthropod prey in bat faeces: DNA Barcoding. *Molecular Ecology Resources*, 11(2), 236–244. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0998.2010.02920.x>