

Dialoghi molecolari nella rizosfera: introduzione al tema

I progressi conseguiti nel mondo della biologia e soprattutto nel campo della microbiologia e in quello della neurobiologia della pianta suggeriscono che considerare il sistema di comunicazione dell'uomo come l'unico modo di comunicare inizia ad essere un concetto un po' stretto. È noto che tutte le forme di comportamento degli organismi coinvolgono processi di comunicazione basati su una serie complessa di codici dai quali dipende il successo o il fallimento della comunicazione stessa. Dialogare, comunicare sono azioni che non necessariamente debbono essere mediate da segnali e o simboli fonetici, ma sono azioni che si possono realizzare anche tramite molecole che assumono la funzione di segni. Un segnale in questo caso è spesso costituito da una molecola generata da un organismo che provoca una risposta in un altro che la recepisce.

La comunicazione molecolare ha aperto nuove prospettive di ricerca e ha assunto un fascino particolare con la scoperta che anche i batteri sono capaci di dialogare tra loro (Nelson et al., 1970) usando come segnali piccole molecole, gli autoinduttori, che una volta rilasciate nell'ambiente forniscono alle cellule informazioni preziose. Tale sistema di comunicazione, definito "quorum sensing" (Fuqua et al., 1994), indica una forma di dialogo tra batteri che ha come finalità il controllo dell'espressione genica in funzione della densità cellulare. Quando una popolazione batterica, naturalmente capace di sintetizzare autoinduttori, si accresce la concentrazione degli autoinduttori secreti aumenta e, una volta raggiunto un determinato livello (livello soglia), provoca una risposta nella popolazione batterica che porta a cambiamenti dell'espressione di specifici geni.

* *Dipartimento di Biotecnologie Agrarie-Sezione di Microbiologia, Università degli Studi di Firenze*

La possibilità di regolare l'espressione genica come risposta alla variazione di densità cellulare consente ai batteri di comportarsi diversamente quando la loro densità è bassa rispetto a quando è alta e porta quindi un organismo unicellulare a funzionare come un organismo pluricellulare. Le specie batteriche che controllano l'espressione genica a livello di comunità producendo e rispondendo a segnali chimici che si accumulano in un ambiente sono molte. Tuttavia generalmente ogni specie batterica produce e risponde a specifici segnali (Xavier e Bassler, 2003). I segnali molecolari più comunemente utilizzati dai batteri Gram-negativi sono, per quanto finora noto, molecole appartenenti alla categoria delle omoserina-lattoni (HSL), mentre quelli più usati

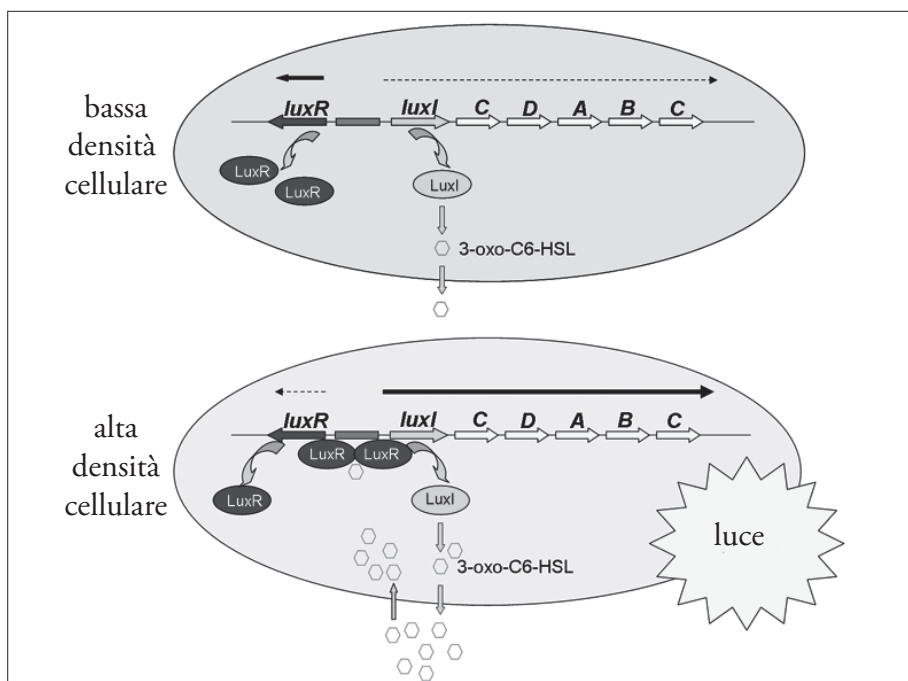


Fig. 1 "Quorum sensing" in *Vibrio fischeri*. A bassa densità cellulare, i geni *luxICDABE* (il gene *luxI* codifica per la sintesi dell'autoinduttore, la 3-oxo-C6-HSL, e i geni *luxCDABE* sono responsabili della bioluminescenza) sono trascritti ad un basso livello e le piccole quantità di 3-oxo-C6-HSL prodotte sono secrete nell'ambiente. Ad alta densità cellulare la 3-oxo-C6-HSL, una volta raggiunta la concentrazione soglia nell'ambiente, rientra all'interno della cellula. In questa fase all'interno della cellula si forma un complesso tra la proteina Lux R (codificata dal gene *luxR*), un fattore di trascrizione, e la 3-oxo-C6-HSL. Il complesso LuxR-3-oxo-C6-HSL, legandosi ad una regione del DNA che contiene promotori regolati dal "quorum sensing", aumenta la trascrizione dei geni *luxICDABE*. In questo modo il 3-oxo-C6-HSL autoinduce la propria sintesi e nello stesso tempo si amplifica il segnale "quorum sensing"

dai batteri Gram-positivi sono costituiti da oligopeptidi (Xavier, 2003; Dunn et al., 2002). Un esempio classico di “quorum sensing”, il primo descritto, è quello presente in *Vibrio fischeri* (fig. 1), un batterio marino luminescente simbiote di *Eurpimna scolopes* (calamaro).

Il sistema di comunicazione riportato in figura 1 avviene tra batteri appartenenti ad una stessa specie, ma la comunicazione tramite il “quorum sensing” può aver luogo anche tra specie batteriche diverse e sembra avere un ruolo fondamentale nello sviluppo di comunità microbiche complesse (Bassler, 1999; March e Bentley, 2004). In tali situazioni gli autoinduttori prodotti da determinati gruppi batterici sembrano essere responsabili della progressiva perdita di specie dominanti e della loro sostituzione con altre e quindi avere il compito di definire la struttura della comunità (Valle et al., 2004).

Un organismo nel corso della propria esistenza si trova ad instaurare processi di comunicazione molecolare con organismi appartenenti alla stessa specie (comunicazione intraspecie), a specie diverse (comunicazione interspecie) e anche con organismi appartenenti a regni diversi (comunicazione interorganismi).

La rizosfera, a causa della sua complessità e della sua tendenza ad andare incontro a cambiamenti anche repentini, è un ambiente dinamico nel quale la comunicazione, prevedendo dialoghi a livello intraspecie, interspecie e interorganismi, è complessa e richiede un’alta competenza comunicativa per agire interattivamente con successo su tutti e tre i livelli e distinguere molecole messaggere da rumori di sottofondo (fig. 2). Comunque nella rizosfera, sebbene vi siano vari tipi di comunicazione molecolare che si intersecano dando origine ad una fitta e complessa rete, semplificando e schematizzando, si possono individuare scambi tra radici-microrganismi PGPR (Plant Growth Promoting Rhizobacteria, batteri che promuovono la crescita delle piante), radici-microrganismi simbiotici, radici-microrganismi fitopatogeni, radici-fauna, radici-radici, radici-suolo, microrganismi-microrganismi.

Le piante, tramite un elevato numero di molecole, emettono segnali che possono regolare la comunità microbica del suolo, stabilire rapporti di simbiosi, cambiare le proprietà chimico-fisiche del suolo, inibire la crescita di specie vegetali competitive. D’altra parte segnali molecolari prodotti dagli organismi coinvolti nelle relazioni che avvengono a livello delle radici influenzano l’attività, la crescita, lo stato di salute delle piante. Pertanto, spesso, il destino delle piante dipende dalla capacità delle radici di comunicare con gli altri organismi presenti nella rizosfera ed in modo particolare con i microrganismi, ma è anche vero che molti batteri e funghi dipendono dall’attività delle

piante. Tra le comunità della rizosfera quella batterica è costantemente colpita da una cacofonia di segnali che deve interpretare correttamente per assicurarsi la sopravvivenza. È davvero difficile immaginare come i batteri possano riconoscere i segnali veri da quelli falsi e sviluppare contemporaneamente complesse conversazioni molecolari con membri della propria specie come con membri di altre specie di microrganismi, di piante e di altri eucarioti. Jacob et al. (2004) affermano che il comportamento complesso dei batteri non possa essere spiegato se non ipotizzando che i batteri sviluppino una “memoria collettiva”, un’identità di gruppo, riconoscano altre popolazioni, “prendano decisioni” a livello di popolazione.

Il “quorum sensing” batterico, controllando la competenza, la coniugazione, la virulenza, l’adesione cellulare, il movimento, la sporulazione, la produzione di molecole correlate con le simbiosi, di metaboliti secondari, di enzimi

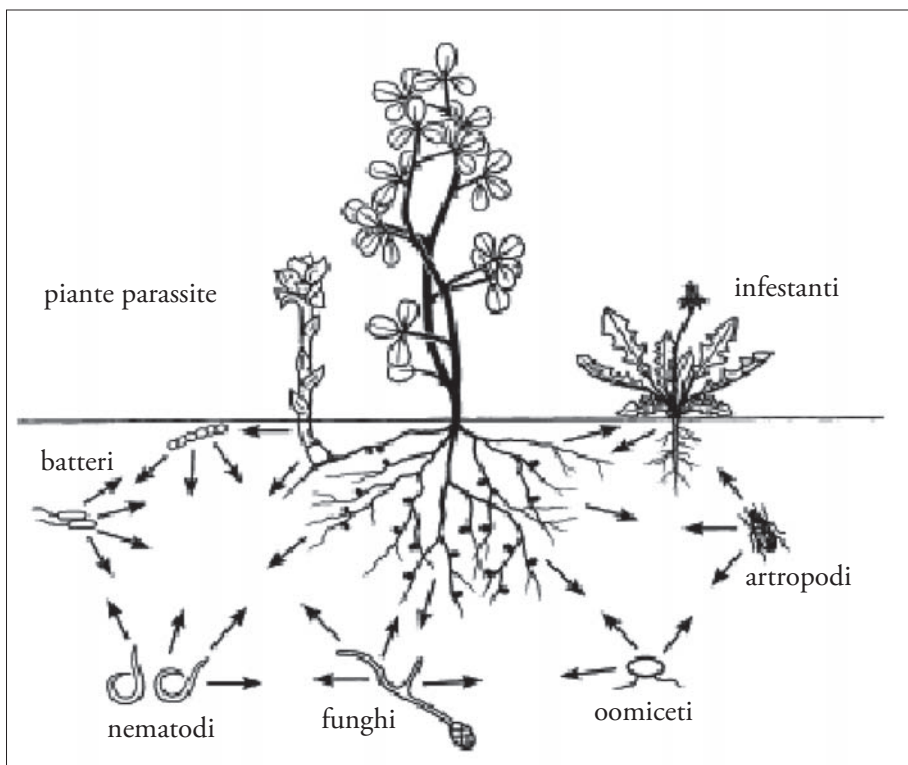


Fig. 2 *Rappresentazione delle complesse relazioni che si verificano tra le radici della pianta e gli altri organismi del suolo. Le frecce indicano i segnali molecolari (Hirsch et al., 2003, modificato)*

esocellulari, la formazione di biofilm, ha certamente un ruolo importante nella comunicazione pianta-batterio e nell'affermazione di una simbiosi o di uno specifico gruppo. Per esempio batteri fitopatogeni per esplicare la loro azione hanno elaborato strategie particolarmente sottili: i batteri, finché il loro numero rimane basso, si lanciano messaggi che inibiscono la produzione di sostanze dannose per la pianta, cosicché l'ospite non si rende conto della minaccia. Quando la popolazione batterica raggiunge una determinata densità cellulare "dà il via" all'attacco della pianta che, colta di sorpresa, non è in grado di mettere in atto le forme di difesa. D'altra parte alcune piante sono capaci di rispondere in maniera sofisticata ai segnali inviati dai batteri secernendo composti che, mimando gli autoinduttori, sono in grado di inibire o stimolare i segnali batterici e quindi confondere il sistema di regolazione "quorum sensing" del batterio (Bauer e Teplitski, 2001; Hirsch et al., 2003; Bauer e Mathesius, 2004). È stato inoltre osservato che specifici batteri possono interrompere i segnali "quorum sensing" di altri batteri, distruggendo gli autoinduttori (Bauer e Robinson, 2002; Bauer et al., 2005). Tale concetto, interruzione del sistema "quorum sensing" mediante la distruzione degli autoinduttori o tramite sostanze che li mimano, ha reso ancora più complesso il quadro della intensa rete di comunicazione tra piante e microrganismi ed ha aperto interessanti prospettive di ricerca che porteranno a comprendere meglio che cosa sono questi segnali, con quali recettori possono interagire, come i segnali regolano il destino degli organismi coinvolti nel dialogo, come si possono utilizzare i segnali ed i recettori per monitorare in campo le relazioni piante-altri organismi della rizosfera e per suggerire miglioramenti nella gestione di alcuni interventi agronomici e ambientali.

Sperando di essere riuscita a dare un'idea generale della complessità dei messaggi molecolari, alcuni dei quali saranno affrontati ed approfonditi nelle relazioni successive, che avvengono a livello del sistema radice-suolo, desidero concludere ricordando che la vita dell'uomo è strettamente associata ai 15-20 centimetri di suolo dello strato superficiale del nostro pianeta e che continuare a sfruttare in modo indiscriminato questa preziosa risorsa potrebbe provocare un forte impatto sulla rete dei dialoghi molecolari che nel suolo avvengono e sull'equilibrio che essi controllano e conseguentemente portare a cambiamenti nella dinamica degli organismi che vivono nel suolo. L'uomo con la sua elevata capacità di comunicare e di interagire con tutto quanto lo circonda dovrebbe tenere maggiormente presente che il suo destino è strettamente collegato, direttamente o indirettamente, con l'attività di numerosissime specie di microrganismi e di altri organismi che risiedono nel suolo e delle quali ancora troppo poco si conosce.

RIASSUNTO

Nella rizosfera, ambiente complesso e dinamico, virus, batteri, funghi, microfauna e piante instaurano una fitta rete di rapporti mediati essenzialmente da segnali molecolari. Numerose ricerche sono state condotte per studiare la natura di tali messaggi molecolari, le vie metaboliche che controllano la loro sintesi e l'impatto che essi esercitano sull'organismo bersaglio. Tuttavia i meccanismi che regolano le interazioni piante-microrganismi e le loro conseguenze sulla produttività e sullo stato di salute della pianta nonché sulla diversità della comunità microbica rizosferica sono ancora poco conosciuti. Una maggiore comprensione delle modalità attraverso le quali i segnali molecolari inviati dai microrganismi sono recepiti dalle piante e viceversa, oltre ad avere un interesse scientifico di base, potrà fornire preziosi suggerimenti per sviluppare nuove strategie che, tenendo conto dei meccanismi coinvolti nei rapporti piante-microrganismi, siano in grado di aumentare la produttività delle piante migliorandone la capacità di assorbire nutrienti e di resistere ai microrganismi fitopatogeni.

BIBLIOGRAFIA

- BASSLER B.L., (1999): *How bacteria talk to each other: regulation of gene expression by quorum sensing*, «Current Opinion in Microbiology», 2, pp. 582-587.
- BAUER D.W., ROBINSON J. (2002): *Disruption of bacterial quorum sensing by other organisms*, «Current Opinion in Biotechnology», 13, pp. 234-237.
- BAUER W.D., TEPLITSKI M. (2001): *Can plants manipulate bacterial "quorum sensing"?*, «Australian Journal of Plant Physiology», 28, pp. 913-921.
- BAUER W.D., MATHESIUS U. (2004): *Plant responses to bacterial quorum sensing signals*, «Current Opinion Plant Biology», 7, pp. 429-433.
- BAUER W.D., MATHESIUS U., TEPLITSKI M. (2005): *Eukaryotes deal with bacterial quorum sensing*, «ASM News», 71, pp. 129-134.
- DUNN A.K., HANDELSMAN J. (2002): *Towards an understanding of microbial communities through analysis of communication networks*, «Antonie van Leeuwenhoek», 81, pp. 565-574.
- FUQUA W.C., WINANS S.C., GREENBERG E.P. (1994): *Quorum sensing in bacteria: the LuxR-LuxI family of cell density-responsive transcriptional regulators*, «Journal of Bacteriology», 176, pp. 269-275.
- HIRSCH A.M., BAUER W.D., BIRD D.M., CULLIMORE J., TYLER B., YODER J.I. (2003): *Molecular signals and receptor: controlling rhizosphere interactions between plants and other organisms*, «Ecology», 84, pp. 858-868.
- JACOB E.B., AHARONOV Y., SHAPIRA Y. (2005): *Bacteria harnessing complexity*, «Biofilms», 1, pp. 239-263.
- MARCH C.J., BENTLEY W.E. (2004): *Quorum sensing and bacterial cross-talk in biotechnology*, «Current Opinion in Microbiology», 15, pp. 495-502.
- NEALSON K.P., PLATT T., HASTINGS J.W. (1970): *Cellular control of the synthesis and activity of the bacterial luminescent system*, «Journal of Bacteriology», 104, pp. 313-322.
- VALLE A., BAILEY M.J., WHITELEY A.S., MANEFIELD M. (2004): *N-acyl-L-homoserine lactones (AHLs) affect microbial community composition and function in activated sludge*, «Environmental Microbiology», 6, pp. 424-433.
- XAVIER K.B., BASSLER B.L. (2003): *LuxS quorum sensing: more than just a numbers of game*, «Current Opinion in Microbiology», 6, pp. 191-197.