

COMUNITÀ COLORATE. Il verde brillante al centro di questa fotografia della sorgente idrotermale Morning Glory, nello Yellowstone National Park, è il segno dell'abbondante presenza di colonie di alghe e batteri termofili.

Le scoperte scientifiche sulle comunità microbiche che formano i cosiddetti biofilm stanno innescando una rivoluzione che potrebbe trasformare radicalmente il nostro modo di concepire (ed eventualmente combattere) i microrganismi

di Joe J. Harrison, Raymond J. Turner, Lyriam L.R. Marques e Howard Ceri

BIOFILM

La maggior parte di noi, quando pensa ai batteri, immagina un ambiente acquoso in cui nuotano organismi unicellulari. L'idea che abbiamo di questi microbi è che si tratti di entità isolate che, di quando in quando, si uniscono ai loro simili per causare malattie o deteriorare alimenti, ma che, una volta completato il lavoro, tornano alla loro esistenza solitaria. In realtà, questa immagine della vita batterica è non solo esageratamente semplificata, ma forse anche fuorviante. In natura, anziché trascorrere la propria esistenza da eremita, nella cosiddetta forma planctonica, la maggior parte dei microrganismi vive insieme, in gruppi numerosi, formando l'equivalente microbico di una comunità chiusa: un biofilm.

Un biofilm maturo è una struttura affascinante: può formare strati, ammassi e rilievi, o addirittura microcolonie più complesse organizzate in formazioni simili a steli o funghi. Gli abitanti del biofilm possono appartenere a una singola specie o essere un gruppo eterogeneo di microrganismi distribuiti in «quartieri» diversi. A tenerli fisicamente uniti è una matrice fatta di polisaccaridi, DNA e proteine che, nel loro complesso, formano una sostanza polimerica extracellulare: che molti microbiologi chiamano semplicemente *slime* (melma).

Sta diventando sempre più chiaro che la vita comunitaria offre a un microrganismo considerevoli vantaggi. La vicinanza fisica di altre cellule favorisce interazioni sinergiche, persino fra membri di specie diverse, come il trasferimento orizzontale di materiale genetico fra microbi, la condivisione di sottoprodotto metabolici, una maggiore tolleranza alle sostanze antimicrobiche, la difesa dai cambiamenti ambientali e la protezione dal sistema immunitario di un ospite infettato o dall'attacco di predatori. La formazione di un biofilm è stata addirittura paragonata al programma mediante il quale si differenziano le cellule di un organismo multicellulare.

L'importanza dei biofilm è una scoperta relativamente recente. I biologi hanno incominciato ad analizzare la fisiologia di queste comunità microbiche solo negli ultimi 15-20 anni: un fatto straordinario, se si pensa che il microscopista olandese Antoine van Leeuwenhoek descrisse i primi biofilm alla fine del Seicento. Usando l'acido acetico, tentò di distruggere un biofilm – la placca batterica presente sui suoi denti – ma si accorse che riusciva a eliminare solo le cellule che galleggiavano liberamente. Eppure, nonostante la precoce scoperta delle comunità microbiche, la microbiologia trascurò questo genere di osservazioni concentrandosi soprattutto sui batteri planctonici.

A dire il vero, non tutti concordano sul fatto che i biofilm sia-

no il principale assetto che i batteri assumono in natura. La stragrande maggioranza dei metodi di laboratorio usati attualmente analizza microrganismi coltivati in forma planctonica. Ma è nostra opinione che la microbiologia stia andando verso un cambiamento radicale nella concezione dei batteri. E prevediamo che questa nuova prospettiva sul modo di vivere dei microrganismi avrà conseguenze importanti per la medicina, l'industria, l'ecologia e l'agricoltura.

Comunità onnipresenti

Tutti abbiamo presente la sostanza scivolosa che ricopre i sassi in un fiume o in un ruscello. Questo muco è un biofilm acquatico composto da batteri, funghi e alghe, che incomincia a formarsi dopo che i batteri colonizzano la superficie della roccia. I microbi producono una sostanza polimerica extracellulare, caricata elettrostaticamente in modo da intrappolare particelle di cibo, argilla e altri minerali. La materia inglobata nel muco forma microscopiche nicchie, ciascuna con un microambiente distinto, che consentono a microrganismi con esigenze diverse di riunirsi per costituire un consorzio microbico.

La matrice di un biofilm è considerata un idrogel, un polimero idratato complesso il cui contenuto acquoso supera di molto il suo peso secco. Le proprietà dell'idrogel conferiscono allo slime caratteristiche di fluidità ed elasticità che consentono al biofilm di resistere ai cambiamenti fisici del fluido all'interno del suo ambiente. Così, spesso i biofilm formano dei festoni: ammassi appiccicosi di microbi che aderiscono a una superficie. Quando l'acqua scorre sopra il biofilm alcuni pezzi possono staccarsi e, in questo modo, diffondere la comunità microbica per mezzo della corrente. Si ritiene sia così che i batteri colonizzano i polmoni dei pazienti sottoposti a ventilazione, provocando polmoniti spesso fatali in soggetti già in condizioni critiche.

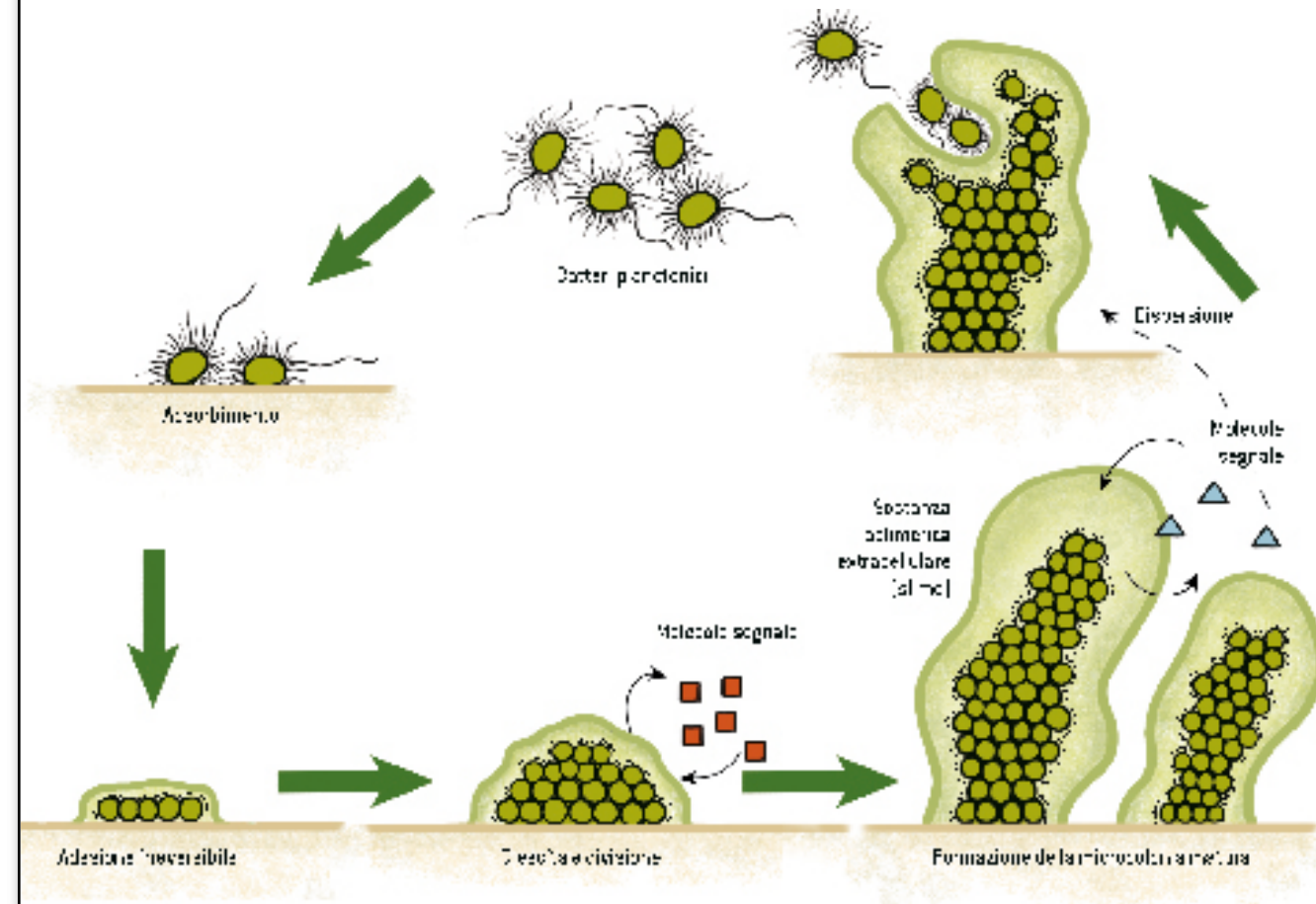
La straordinaria capacità di diffusione di un microrganismo spiega come mai i biofilm riescono a formarsi nei luoghi più impensabili. La carena delle imbarcazioni può ricoprirsi di biofilm che aumentano l'attrito durante la navigazione, compromettendo la velocità. Altri biofilm danneggiano pesantemente l'industria petrolifera facilitando la corrosione microscopica dei metalli e riducendo la durata degli oleodotti. Alcuni biofilm, composti da procarioti (organismi privi di nucleo), appartenenti a una linea evolutiva molto antica e chiamati *Archaea*, sopravvivono addirittura agli ambienti ostili delle sorgenti idrotermali marine di profondità. L'archeobatterio *Pyrodictium* prospera sul fondo marino formando una specie di fanghiglia abbarbicata su cristalli solfurei, nell'ambiente oscuro e anaerobico delle bocche idrotermali, dove le temperature possono superare i 110 gradi.

Forse uno degli ambienti più straordinari in cui si può trovare un biofilm è il ventre di una mucca da latte. I biofilm fanno

NASCITA DI UN BIOFILM

La formazione di un biofilm è simile allo sviluppo di un organismo pluricellulare, e avviene attraverso segnali intercellulari che regolano la crescita e il differenziamento. Ecco come si forma un tipico biofilm [seguire le frecce in senso antiorario, partendo dall'angolo superiore sinistro della figura]. In primo luogo, i batteri planctonici liberi aderiscono a una superficie biotica o inanimata, sviluppando un'associazione che, inizialmente, è reversibile, ma che poi diviene irreversibile. L'adesione scatena i primi cambiamenti fisiologici che porteranno al comportamento di un biofilm maturo. Quando i batteri

cominciano a crescere e a dividersi, i segnali molecolari che le cellule si scambiano forniscono informazioni sulla densità cellulare: un processo chiamato *quorum sensing*. In una colonia in fase di maturazione, i microbi producono una sostanza polimerica extracellulare, una matrice costituita da polisaccaridi, DNA e proteine che ingloba la struttura della microcolonia. Le cellule planctoniche possono abbandonare il biofilm per creare le strutture per un nuovo biofilm. I segnali provenienti dalla colonia possono servire anche per «invitare» nuove specie microbiche a unirsi al consorzio.



parte del normale complemento microbico di molti animali sani, ma la presenza di queste comunità batteriche nei ruminanti è un prezioso esempio delle interazioni all'interno di un biofilm. Incominciamo dal rumen, il compartimento più grande dello stomaco bovino, che può contenere un volume di liquido superiore a 150 litri. Al suo interno c'è un numero talmente elevato di microbi che i microbiologi definiscono le mucche dei «fermentatori mobili». I batteri colonizzano il tratto digestivo di un vitello due giorni dopo la nascita; entro tre settimane i microrganismi hanno modificato la chimica interna del rumen, che presto ospita 30 specie di batteri, 40 specie di protozoi e 5 di lieviti. Le cellule di questo biofilm prosperano nello strato mucoso dello stomaco, e crescono nutrendosi del cibo ingerito dall'animale. Le mucche si nutrono d'erba, che è costituita principalmente da cellulosa, un

carboidrato complesso che non può essere degradato dagli enzimi digestivi dei mammiferi. La cellulosa, però, è un alimento perfetto per i batteri del biofilm, che la convertono in una biomassa microbica la quale, a sua volta, fornisce le proteine, i lipidi e i carboidrati di cui la mucca ha bisogno.

Il cuore di questo processo è un microscopico ecosistema che si crea quando un batterio planctonico «pioniere» presente nel rumen, per esempio il *Ruminococcus flavefaciens*, riesce ad arrivare alle parti interne di una foglia masticata dalla mucca. Il batterio si attacca alla cellulosa degli strati interni della foglia e prolifera fino a formare un rudimentale biofilm. I microbi rilasciano enzimi che degradano la cellulosa, ottenendo così zuccheri semplici e sottoprodotto metabolici, che attraggono altri batteri: fermentatori anaerobi come *Treponema byranti*, un

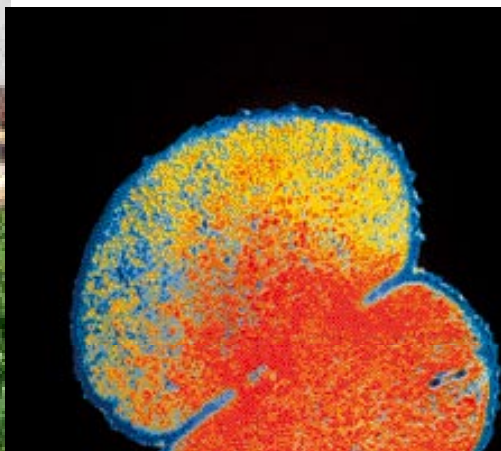
In sintesi/Vita collettiva

- La maggior parte dei microrganismi vive in grandi comunità che formano una pellicola aderente a una superficie: il biofilm.
- La struttura di queste comunità influenza profondamente l'interazione dei microbi con altri organismi e il loro successo come patogeni.
- Benché la scoperta dei biofilm risalga alla fine del XVII secolo, è solo negli ultimi vent'anni che gli studi si sono orientati verso le comunità microbiche.
- Le ricerche sui biofilm potrebbero rivoluzionare la microbiologia, modificando per sempre il nostro modo di considerare il mondo microbico e aprendo la strada allo sviluppo di nuovi metodi per controllare le infezioni provocate da batteri e da altri microrganismi.



IN UN VENTRE DI VACCA. Il biofilm multispecifico che vive nel rumen di una mucca, dove svolge un ruolo determinante nella nutrizione dell'animale, è un buon esempio delle intricate relazioni cellulari all'interno di una comunità microbica. In basso, microfotografia elettronica di *Megasphaera elsdenii*, un batterio anaerobico che vive nello stomaco di varie specie ruminanti.

Richard T. Nowitz/Corbis



batterio spiraliforme che ingerisce gli zuccheri e produce acidi organici.

Normalmente i metaboliti acidi dovrebbero rallentare la crescita batterica attraverso un processo di inibizione retroattiva; in realtà accade che altri microrganismi si uniscano alla comunità del biofilm per utilizzare gli acidi organici. Sono i cosiddetti metanogeni, le cui attività accelerano la crescita della comunità batterica e impediscono l'inibizione retroattiva. Come suggerisce il loro nome, i metanogeni producono moltissimo metano. Una percentuale approssimativamente compresa fra il 15 e il 25 per cento dell'emissione globale di metano, che è di 7,5 miliardi di chilogrammi all'anno, è attribuibile alla flatulenza dei ruminanti. Poiché il metano intrappola calore nell'atmosfera, i biofilm che si celano nello stomaco di una mucca hanno un ruolo per nulla irrilevante nel cambiamento climatico globale.

Intrighi nel mondo vegetale

Gli animali non sono gli unici esseri viventi in grado di ospitare biofilm: durante lo scorso decennio si è cominciato a usare il termine biofilm anche per descrivere la crescita batterica sulla superficie di una pianta.

Il rapporto fra piante e biofilm è molto eterogeneo. In alcuni casi la pianta è un supporto meccanico, per cui il biofilm è un semplice epifita; in altri può fornire alcuni nutrienti ai microbi, come i saprofiti che si nutrono di materia vegetale in decomposizione. Questi tipi di biofilm non sono pericolo per la pianta, ma possono causare problemi quando popolazioni epifitiche con un potenziale genetico sufficiente per iniziare un'interazione patogena con l'ospite diventano così numerose da sopraffarne i me-

canismi di difesa. Poi le cellule nel biofilm coordinano il rilascio di tossine e di enzimi attivi che degradano il tessuto vegetale, e ciò che era iniziato come rapporto innocuo sfocia in malattia.

Anche nel sottosuolo piante e biofilm possono stabilire interazioni abbastanza elaborate. *Pseudomonas fluorescens*, per esempio, colonizza le radici e protegge le piante dagli organismi patogeni producendo antibiotici che tengono alla larga funghi e altri colonizzatori batterici. Ma alcuni biofilm micotici possono anche essere vantaggiosi per la pianta. Alcuni funghi micorrizici penetrano nelle cellule della radice della pianta e, contemporaneamente, formano una trama articolata nel suolo: in questo modo incrementano in maniera considerevole la superficie utilizzabile dalla pianta per l'assorbimento di acqua e nutrienti.

D'altro canto i batteri appartenenti al genere *Rhizobium* fissano l'azoto atmosferico convertendo quello gassoso (N₂) in ammoniaca (NH₃). Questo processo può coinvolgere un complesso meccanismo di segnalazione chimica fra la pianta e i batteri, che si traduce nella formazione di noduli endoradicali nel punto in cui gli aggregati batterici eseguono la fissazione dell'azoto.

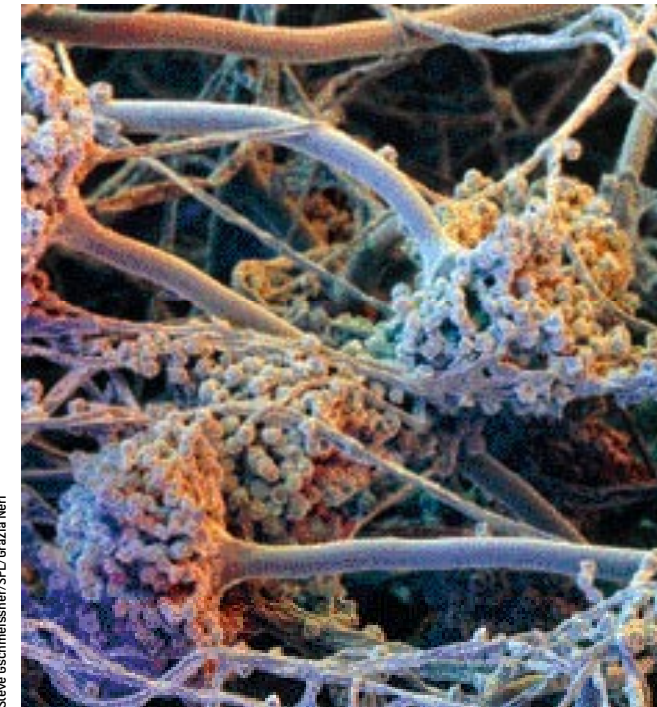
Il rapporto forse più complicato coinvolge un'interazione fra i rizobi, i funghi micorrizici e una pianta ospite. I batteri formano un biofilm sulla superficie del fungo che, a sua volta, stabilisce un legame con la pianta, creando così un sistema simbiotico tripartito che dipende dalla formazione di biofilm da parte dei due microrganismi.

Infine, vale la pena prendere in esame le interazioni patogene dei biofilm all'interno del sistema vascolare della pianta. Sfortunatamente, al momento le malattie vascolari sono incurabili e tendono ad avere effetti devastanti su molte coltivazioni economicamente importanti. Alcuni biofilm patogeni sono stati descrit-

Dr. Kari Luomatmaa/SPU/Grazia Neri



Steve Schmeissner/SPU/Grazia Neri



David Scharf/SPU/Grazia Neri

PELLICOLE PERICOLOSE. Sono molti i biofilm che provocano malattie e disagi negli esseri umani. Il fungo *Aspergillus fumigatus* (a destra) provoca infezioni polmonari potenzialmente letali. La placca dentale (a sinistra), principale causa della carie, consiste in una pellicola di batteri che aderisce a una matrice glicoproteica formata da secrezioni batteriche e saliva. I batteri si nutrono degli zuccheri contenuti nei cibi, producendo acidi come prodotti di scarto.

ti nello xilema, il tessuto deputato al trasporto dell'acqua nelle piante, ma qui ci occuperemo solo di *Xylella fastidiosa*. Quando infetta le viti, questo patogeno provoca la malattia di Pierce, mentre nelle arance causa diverse forme di clorosi, patologie che hanno avuto un impatto enorme sull'industria vinicola in California e sull'industria degli agrumi in Brasile, causando, nello scorso decennio, perdite economiche superiori ai 14 miliardi di dollari.

X. fastidiosa è trasmessa da alcuni insetti che vengono infettati dai batteri mentre stanno divorando piante infette. I microbi formano un rudimentale biofilm nell'intestino dell'insetto, e

contempo l'ambiente. Potrebbe anche permettere lo sviluppo di applicazioni commerciali che potrebbero incrementare le interazioni vantaggiose fra le piante e i microrganismi.

L'unione fa la forza

Secondo i Centers for Disease Control and Prevention di Atlanta, fino al 70 per cento delle infezioni batteriche che colpiscono gli esseri umani nei paesi occidentali è causato dai biofilm. Si va da malattie come le prostatiti e le infezioni renali a

Il 70 per cento delle infezioni batteriche che colpiscono gli abitanti dei paesi occidentali sono causate da biofilm

ciò consente loro di essere espulsi indefinitamente sotto forma di aggregati abbastanza grandi da infettare un'altra pianta quando l'insetto ricomincia a nutrirsi. A loro volta, i biofilm ostruiscono lo xilema della pianta provocando sintomi riferibili a una situazione di stress idrico. In questo modo, il biofilm svolge un ruolo chiave nella colonizzazione del sistema vascolare della pianta, nella propagazione della malattia e della sua patogenicità.

Solo di recente si è iniziato a riconoscere l'importanza dei biofilm nelle malattie che colpiscono le piante, ed è probabile che debba trascorrere ancora un po' di tempo prima che questo concetto venga applicato alla microbiologia vegetale. In ogni caso, i vantaggi potrebbero essere significativi. Una migliore comprensione delle associazioni fra piante e biofilm potrebbe consentire di curare le malattie in maniera più efficace salvaguardando al

patologie associate all'impianto di dispositivi medici come articolazioni artificiali e cateteri fino alla carie e alle infiammazioni gengivali, causate entrambe dalla placca dentale, che non è altro che un biofilm. Nei polmoni dei pazienti colpiti da fibrosi cistica, *Pseudomonas aeruginosa* forma spesso dei biofilm che provocano polmoniti potenzialmente letali. C'è una lunga lista di malattie legate ai biofilm, e molti scienziati ritengono che l'elenco continuerà a crescere di pari passo con le nuove scoperte sulla funzione di queste strutture microbiche.

In quasi tutti i casi, il biofilm ha un ruolo di primo piano nell'aiutare i microbi a sopravvivere o a diffondersi all'interno dell'ospite perché la matrice viscosa si comporta come uno scudo, proteggendo i batteri dagli anticorpi e dai globuli bianchi. I biofilm sono anche tristemente noti per la loro capacità di resi-

UNO SGUARDO NUOVO SUI MICRORGANISMI

Per coltivare i biofilm in laboratorio sono state messe a punto varie tecnologie. Una di queste usa un disco rotante collocato nel brodo di coltura in cui è stata iniettata una colonia batterica. La forza indotta dalla pressione del fluido provocata dalla rotazione stimola la formazione di un biofilm sul disco.

Il nostro gruppo di ricerca ha recentemente sviluppato un metodo basato sul biofilm per esaminare l'efficacia dei farmaci antimicrobici: questo dispositivo ci consente di creare

96 biofilm statisticamente equivalenti, e può essere usato anche per testare varie diluizioni di composti antimicrobici con un microtitolatore standard. Stiamo usando questa metodologia per scoprire nuove sostanze efficaci contro i biofilm.

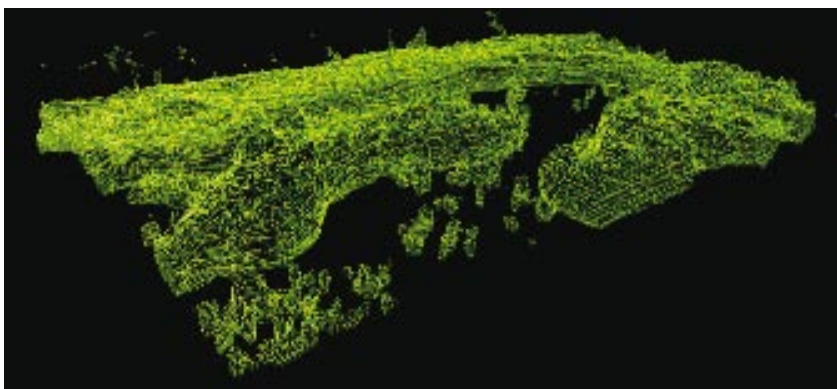
Un altro dispositivo, detto cella di flusso, è costituito da una camera e da una superficie otticamente trasparente, simile a un vetrino coprioggetto.

Un mezzo di coltura viene pompato attraverso la camera favorendo la formazione di uno spesso biofilm sulla

superficie del vetro. Questo metodo permette di esaminare le comunità microbiche attraverso un microscopio confocale a scansione laser (CLSM). In seguito, si usa un software particolare che assembla le immagini acquisite dal CLSM per creare un'immagine tridimensionale del biofilm.

Il CLSM può essere considerato un complemento al microscopio elettronico a scansione (SEM), che permette di ottenere ingrandimenti dieci volte maggiori di quelli ricavati con il CLSM, e può essere usato per esaminare la forma e la disposizione delle singole cellule. Il CLSM, al contrario, fornisce una visione d'insieme della struttura del biofilm, e, a differenza del SEM, non è invasivo. Lo sviluppo di queste tecniche ha aperto le porte a una nuova concezione sull'esistenza di questi microrganismi.

A fianco, un biofilm di *Escherichia coli* coltivato in laboratorio e reso visibile grazie all'inserimento di un gene codificante per una proteina fluorescente nel DNA del batterio.



Cortesia EDM Studio

stere a concentrazioni straordinariamente elevate di antibiotici: un biofilm può essere da 10 a 1000 volte meno sensibile a una sostanza antimicrobica rispetto allo stesso organismo libero di nuotare in sospensione.

Questo problema, con le pesanti implicazioni che comporta nella lotta contro i batteri patogeni, ha rappresentato l'obiettivo principale delle ricerche del nostro gruppo. Abbiamo sviluppato una metodica (la Calgary Biofilm Device, oggi chiamata semplicemente saggio MBEC) che può essere usata per analizzare rapidamente la sensibilità dei biofilm nei confronti di sostanze antibiotiche. Durante lo sviluppo di questa tecnologia abbiamo imparato alcune cose importanti sui biofilm, il che ci ha spinto a dedicarci poi all'indagine di alcuni «co-biofilm» patogeni formati dall'unione di specie diverse, e di meccanismi specifici che possono rivelarsi importanti nello sviluppo di un farmaco. Per esempio la resistenza dei biofilm a elevate concentrazioni di metalli fa sì che possano essere impiegati per rimuovere metalli tossici dall'ambiente, ma comprendere in dettaglio come riescono a contenere la tossicità dei metalli potrebbe anche spalancare la porta a cure antimicrobiche mirate.

Abbiamo imparato che parte della straordinaria resistenza batterica ha origine dalla considerevole eterogeneità interna del biofilm. Rispetto a quelli che si trovano al centro della matrice o in prossimità del substrato, i microbi più vicini al fluido che circonda il biofilm hanno un accesso migliore a nutrienti e ossigeno. Di conseguenza, i batteri presenti negli strati più

esterni della comunità crescono più velocemente di quelli all'interno. E questo costituisce una sorta di meccanismo difensivo, perché molti antibiotici sono efficaci solo contro cellule a crescita rapida, e dunque le cellule a crescita lenta situate all'interno del biofilm tendono a essere risparmiate. Per di più, le cellule centrali sono ulteriormente protette dall'ambiente, perché la matrice del biofilm ha una carica elettrica negativa che limita l'entrata di sostanze cariche positivamente come ioni metallo e alcuni antibiotici.

Segnali di resistenza

Uno dei più affascinanti meccanismi di difesa di un biofilm si basa su un particolare tipo di segnale intercellulare chiamato *quorum sensing*. Alcuni batteri rilasciano una molecola segnale, detta anche induttore. A mano a mano che la densità cellulare cresce, la concentrazione di queste molecole aumenta. Gli induttori interagiscono con recettori specifici in ciascuna cellula per attivare dei geni «quorum sensing» e iniziare una cascata di eventi, provocando così l'espressione o la repressione di numerosi altri geni sul cromosoma batterico. Sembra che alcuni ceppi batterici facciano maggiore affidamento di altri sul quorum sensing, ma in ogni ambiente dall'1 al 10 per cento dei geni di un microbo può essere regolato direttamente da questo processo.


Sappiamo che il quorum sensing influenza la produzione di enzimi coinvolti nella difesa e nella riparazione cellulare. In *P.*

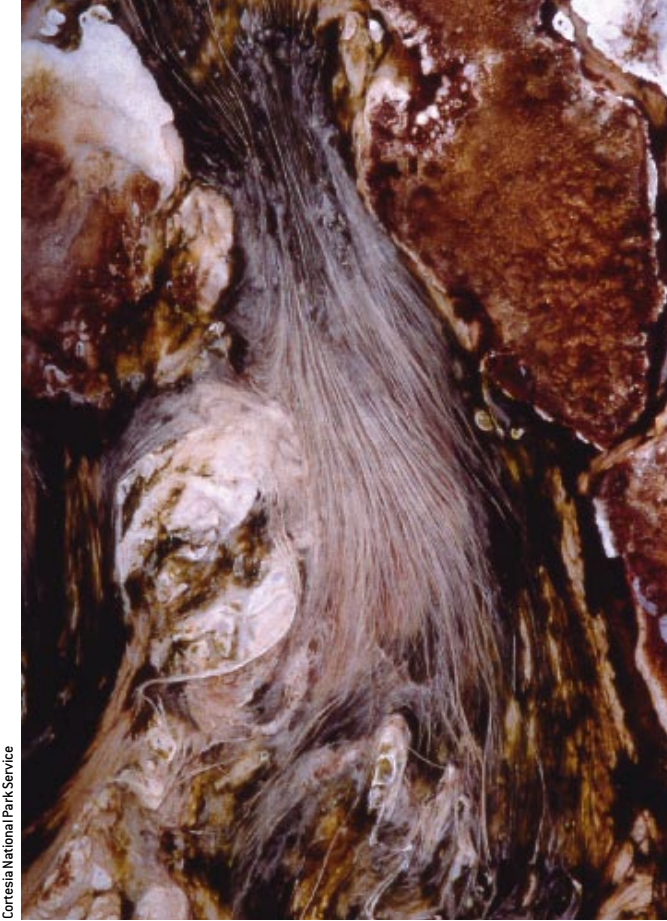
aeruginosa – un microbo che forma ammassi mucilluginosi di cellule batteriche nei polmoni dei malati di fibrosi cistica – i due enzimi superossido dismutasi e catalasi sono entrambi regolati dal quorum sensing. Il primo enzima favorisce la distruzione del dannoso radicale superossido (O_2^-), mentre il secondo converte il perossido di idrogeno (H_2O_2), una molecola altrettanto tossica, in acqua e ossigeno molecolare. Questi enzimi non solo aiutano il biofilm a sopravvivere agli assalti dei disinfettanti, ma lo proteggono anche dalle cellule del sistema immunitario dell'ospite, cellule che, tipicamente, distruggono i batteri liberando agenti antimicrobici tra cui figurano anche specie reattive di ossigeno.

Il quorum sensing può anche essere coinvolto nella difesa contro gli antibiotici. In questo caso, il meccanismo incrementa la produzione di pompe molecolari che espellono i composti dalla cellula. Queste cosiddette «pompe di efflusso aspecifiche» riducono l'accumulo di antibiotici all'interno del batterio e consentono al microorganismo di crescere addirittura in presenza dei farmaci.

A concorrere al fenomeno della tolleranza agli antimicrobici vi è anche l'eterogeneità esistente fra i tipi cellulari presenti nel biofilm. In ogni popolazione batterica vi sono cellule specializzate nella sopravvivenza, chiamate metabolicamente quiescenti, che sono varianti a crescita lenta. Queste cellule sono geneticamente programmate per sopravvivere allo stress ambientale e, dunque, anche all'esposizione agli antibiotici. Sebbene le cellule metabolicamente quiescenti non crescano in presenza di un antibiotico, allo stesso tempo non muoiono neppure. Non sono mutanti: anche in una popolazione di cellule geneticamente uniformi una piccola parte di esse si trasforma spontaneamente in elementi metabolicamente quiescenti. Nel 2004 Kim Lewis, della Northeastern University, ha dimostrato che le cellule metabolicamente quiescenti generano una tossina, chiamata RelE, che mette la cellula batterica in uno stato di quiescenza. Quando termina la terapia antibiotica, le cellule quiescenti danno origine a una nuova popolazione batterica, causando in tal modo una ricaduta dell'infezione da parte del biofilm.

È probabile che l'uso di cellule metabolicamente quiescenti come meccanismo difensivo si sia sviluppato precocemente nella storia della vita. Oggi sappiamo che molti geni con una funzione simile sono presenti in un gran numero di batteri imparentati assai alla lontana, il che suggerisce che fossero presenti nei primissimi antenati comuni. Tuttavia, il ridotto tasso di crescita delle cellule metabolicamente quiescenti è un paradosso, perché il rallentamento della divisione cellulare diminuisce la fitness di una popolazione. Edo Kussell e i suoi colleghi alla Rockefeller University hanno recentemente proposto che la persistenza batterica possa essersi evoluta come una sorta di polizza assicurativa contro le rare occasioni in cui è possibile incontrare un antibiotico.

Se è così, gli scienziati che cercano una strada per sconfiggere la tolleranza batterica agli antibiotici si stanno scontrando con un meccanismo antico che potrebbe essere in fase costante di miglioramento da miliardi di anni. Se mai riusciremo a controllare le infezioni batteriche, dovremo indirizzare la ricerca sempre più verso i biofilm, piuttosto che verso le vulnerabili forme planctoniche. 



Cortesia National Park Service

ASTRAZIONI DI NATURA. Talvolta le comunità microbiche organizzate in biofilm, come questi batteri strutturati in filamenti intorno a un geyser del parco di Yellowstone, sono un soggetto ideale per fotografie che colgano l'aspetto astratto delle forme naturali.

GLI AUTORI

JOE J. HARRISON e RAYMOND J. TURNER sono, rispettivamente, dottorando e professore associato al Dipartimento di scienze biologiche dell'Università di Calgary, in Canada. LYRIAM L.R. MARQUES è vice direttore della ricerca alla MBEC BioProducts, Inc. HOWARD CERI è professore di scienze biologiche all'Università di Calgary, dove presiede il Biofilm Research Group. Questo articolo è stato originariamente pubblicato sul numero di novembre-dicembre 2005 di «American Scientist».

PER APPROFONDIRE

HALL-STOODLEY L., COSTERTON J.W. e STOODLEY P., *Bacterial Biofilms: From the Natural Environment to Infectious Diseases*, in «Nature Reviews Microbiology», Vol. 2, pp. 95-108, 2004.

HARRISON J.J., TURNER R.J. e CERI H., *Metal Tolerance in Bacterial Biofilms*, in «Recent Research Developments in Microbiology», Vol. 9, pp. 33-35, 2005.

HARRISON, J.J. e altri, *Persister Cells, the Biofilm Matrix and Tolerance to Metal Cations in Biofilm and Planktonic Pseudomonas aeruginosa*, in «Environmental Microbiology» Vol. 7, pp. 981-994, 2005.

STOODLEY P., SAUER K., DAVIES D.G. e COSTERTON J.W., *Biofilms as Complex Differentiated Communities*, in «Annual Reviews of Microbiology», n.56, pp. 187-209, 2002.