

professore ordinario di logica matematica all'Università di Torino
e visiting professor alla Cornell University di Ithaca (New York)



La geometria dei virus

Le forme delle strutture che contengono il materiale genetico virale seguono alcune regole geometriche

La pandemia da coronavirus ha reso tristemente popolare l'apparentemente innocua immagine dell'ormai famigerato parassita. O meglio, dell'involucro dentro cui si nasconde la singola elica di RNA del virus. Il filamento ha circa 30.000 nucleotidi, e benché la sua lunghezza sia la maggiore tra quelle dei virus a RNA, è 100.000 volte più piccola di quella del nostro DNA, che supera i tre miliardi di coppie di basi.

Dopo la scoperta della struttura a doppia elica del DNA pubblicata nel 1953, Francis Crick e James Watson si chiesero come potesse un genoma così ridotto contenere l'informazione necessaria per la strategia di riproduzione dei virus, e nell'articolo *Structure of small viruses* del 1956 proposero l'ipotesi della cosiddetta «economicità genetica»: per risparmiare informazione sulla costruzione del proprio involucro, la forma del cosiddetto capsido doveva essere il più possibile simmetrica.

Il principio della quasi equivalenza

Supponendo che le proteine di cui è formato il capsido fossero organizzate in strutture poligonali, Crick e Watson analizzarono i possibili tipi di punti di contatto tra i vertici e dedussero che la miglior disposizione sarebbe stata quella ottenuta dalla combinazione di tasselli triangolari equilateri. Nel piano i tasselli si possono disporre in una pavimentazione triangolare, che avvolta su sé stessa produce un capsido cilindrico. Nello spazio i tasselli si possono invece disporre in forma tetraedrica, ottaedrica o icosaedrica, la più efficiente delle quali è l'ultima: l'icosaedro ha 60 simmetrie, che riducono di 60 volte l'informazione necessaria per la costruzione del capsido.

Nel 1962 Aaron Klug e Donald Caspar pubblicarono *Physical principles in the construction of regular viruses*, precisando l'ipotesi dell'economicità genetica nel principio della «quasi equivalenza», secondo cui i virus icosaedrici sono formati di strutture triangolari

equilateri che si dispongono negli angoli in maniera «quasi equivalente»: cioè, pentagonale o esagonale. L'idea era venuta loro dall'osservazione delle cupole geodetiche dell'architetto Richard Buckminster Fuller, una delle quali appariva in un'immagine dell'articolo.

Più precisamente, la struttura del capsido dei virus icosaedrici è costituita di 180 capsomeri triangolari equilateri, 60 dei quali si dispongono cinque a cinque (a pentagono solido) attorno ai 12 vertici dell'icosaedro, mentre gli altri 120 si dispongono sei a sei (a esagono piatto) su ciascuna delle 20 facce, incontrandosi in 92 vertici. In questo modo il genoma del virus deve solo specificare le regole di formazione dei tasselli triangolari e della loro disposizione reciproca, e può usare il resto dell'informazione per rendere più efficace la strategia di riproduzione e sopravvivenza.

Una teoria più generale

L'ibrida natura biologica dei virus, a metà tra l'inanimato e il vitale, si riflette metaforicamente nell'ibrida natura geometrica dei loro capsidi icosaedrici, che stanno a metà tra l'icosaedro normale (a 12 vertici e 20 facce triangolari) e l'icosaedro troncato (a 12 facce pentagonali e 20 facce esagonali) a forma di pallone da calcio. Il che lascia intravedere la possibilità di virus più complicati, con il capsido a forma non di solido platonico, come l'icosaedro, ma archimedeo, come l'icosaedro troncato.

Effettivamente, virus come il papilloma e il polioma costituivano eccezioni alla teoria di Klug e Casper, ma rientrano in una teoria geometrica più generale, pubblicata nel 2019 su «Nature» da Reidun Twarock e Antoni Luque in *Structural puzzles in virology solved with an overarching icosahedral design principle* che usa le piastrelle di Penrose per le pavimentazioni non periodiche del piano come forma dei tasselli, e promette di dare indicazioni utili per lo sviluppo di antivirali che attacchino il virus agendo sulla sua strategia di formazione.