

 **Tecnologia**

**COME UN VIDEOGAME.**  
Una dimostrazione del progetto di simulazione del cuore Living Heart Project, dell'azienda Dassault Systemes.



# Un cuore fatto di bit

La proprietà intellettuale è riconducibile alla fonte specificata in testa alla pagina. Il ritaglio stampa è da intendersi per uso privato

Patrick Allard/Foto/Contrasto



Oggi c'è un software per ogni applicazione. Ma la frontiera più avanzata è la simulazione del nostro organo più prezioso. Per salvarci la vita.

**È** un capolavoro di ingegneria di precisione, che si ripete per decine di volte al minuto in ognuno di noi. Una sequenza perfettamente sincronizzata che inizia con un impulso elettrico, prosegue con una coreografia di contrazioni e rilassamenti muscolari, pompa il sangue dai polmoni alle cavità cardiache e da lì verso le periferie più sperdute dell'organismo. Altro che sede dei sentimenti e dell'irrazionalità; alla prova dei fatti, il cuore è una macchina sofisticata, regolata da leggi ferree. Leggi matematiche, verrebbe da dire. E infatti la simulazione di quella che la tradizione ha consacrato come la sede dell'anima è l'ultima frontiera della scienza. Un'impresa titanica che si svolge a colpi di bit nei centri di calcolo più avanzati, un po' per il fascino della sfida in sé, un po' per l'impatto che può avere sulle nostre vite.

**VALVOLE SU MISURA.** Una simulazione completa del cuore, infatti, permette di progettare meglio quei dispositivi - stent, bypass, protesi valvolari - usati per aiutare i cuori malati; mentre c'è già chi pensa a un futuro, ancora lontano, in cui si potrà prevedere come si evolverà il cuore di ogni singolo paziente, così come i modelli dell'atmosfera permettono di prevedere il tempo. È quello che fa Alfio Quarteroni, 65 anni, docente di Analisi numerica al Politecnico di Milano e tra i massimi esperti del settore. Quarteroni - che ha insegnato anche all'Università del Minnesota a Minneapolis e al Politecnico di Losanna, e che sarà uno degli ospiti del Focus Live festival a Milano (v. a pag. 46) - ha creato una scuola con almeno 200 laureati e 60 allievi di dottorato oggi sparsi in tutto il mondo. Nel corso della sua vita, si è occupato di simulazioni di ogni genere, dalla geofisica all'ingegneria aerospaziale, dall'architettura all'imbarcazione svizzera Alinghi vincitrice di due edizioni della Coppa America nel 2003 e nel 2007. E ha anche preso parte alla progettazione di Solar Impulse, il velivolo a energia solare che nel 2016 ha completato il giro del mondo (v. Focus n° 284). Ma ora la sua sfida è il cuore, e non esita a definirla "mostruosa".

«Negli ultimi vent'anni sono state realizzate buone simulazioni di singole parti del sistema circolatorio», spiega Quarteroni. «Il problema è integrarle in modello unico, che funzioni come un vero cuore virtuale». Non è un problema da poco, perché ogni parte dell'organo funziona con meccanismi diversi. Per ►

cominciare, sono molto differenti le due metà: in quella sinistra, più grande, circola il sangue proveniente dai polmoni: viene pompato verso le arterie che poi lo distribuiscono al resto del corpo. Nella parte destra arriva invece quello già "usato", che deve tornare ai polmoni per essere rimesso a nuovo. Ogni metà è poi divisa in due: in alto ci sono gli atri, più piccoli, che ricevono il sangue in arrivo; in basso i ventricoli, più grandi e potenti, che lo pompano verso l'esterno.

**COME UNA SCALATA.** Tutto ciò fa sì che la simulazione di un cuore sia un vero Everest della matematica. «È un problema troppo complesso per risolverlo nella sua interezza, possiamo solo approssimarlo», ammette Quarteroni. Servono, cioè, prima di tutto modelli matematici raffinati, che rendano abbordabile un calcolo altrimenti fuori portata anche per i supercomputer. Il primo passo sono i dati. Vengono dagli esami clinici - ecografie, tomografie, elettrocardiogrammi, analisi del sangue - e danno informazioni sulla forma del cuore, la struttura dei suoi tessuti, il numero di battiti al minuto, la densità del sangue e la velocità con cui scorre in ogni angolo. Già qui la matematica viene in aiuto per riempire i vuoti, calcolare e aggiungere quei dettagli che non si vedono nelle immagini diagnostiche, ma che sono indispensabili al corretto funzionamento dell'organo. Si arriva così a un modello completo, 3D, di un cuore "medio". Dopodiché lo si suddivide in una griglia di punti (v. *illustrazione in fondo all'articolo*) e si risolvono le equazioni che descrivono l'evoluzione nel tempo di ogni punto.

## Per simulare un secondo di funzionamento occorre una settimana di calcoli avanzati su un supercomputer



Ora si può passare alla simulazione vera e propria. A cominciare dagli impulsi elettrici, che si muovono nel tessuto cardiaco a partire da cellule specializzate, dette *pace-maker*, e portano le altre cellule ad avvicinarsi tra loro costruendo "ponti". La conseguenza è che il cuore si contrae (è la fase della sistole) e poi si rilassa (nella diastole), con movimenti che lo rendono un'efficace pompa. Ed ecco che entra in gioco un'altra branca della fisica, la dinamica dei fluidi, che spiega come il

sangue viene espulso nell'aorta o risucchiato, a seconda dei movimenti. Infine ci sono le valvole che mettono in comunicazione atri e ventricoli, nonché il cuore con l'aorta, e che sono particolarmente difficili da simulare.

**A SCATOLE CINESI.** Costruito il modello fisico, si passa al calcolo vero e proprio. Si costruisce innanzitutto un cuore virtuale, fatto a scatole cinesi. Prendiamo, per esempio, il ventricolo sinistro. È diviso in

## DAL CUORE AI TORNADO: LE SIMULAZIONI PIÙ SORPRENDENTI

La capacità di calcolare e progettare ha consentito all'uomo di raggiungere risultati straordinari nel corso della storia. Ecco cosa si può fare oggi, grazie ai computer e ai software più avanzati.

### Volo supersonico

**DA LONDRA A NEW YORK IN 3 ORE**  
Tornare a rompere la barriera del suono. È la missione di Boom, la startup che vuole riportare il volo civile supersonico, dopo il pensionamento del Concorde nel 2003. «A differenza di quanto si pensi», spiega il capo progetto del prototipo XB-1, «quell'aereo non è andato in pensione per l'incidente che lo ha coinvolto in Francia nel 2000, ma per i costi e i consumi troppo alti. Per creare un velivolo redditizio, bisogna usare tutto

ciò che la tecnologia offre. E per testare materiali ed ergonomia è fondamentale la simulazione». Per XB-1 è stato usato Solidworks, il software più avanzato in questo settore. L'aereo, che viaggerà a 2.716 km/h, trasporterà 45 passeggeri da Londra a New York in 3 ore e 15 minuti.

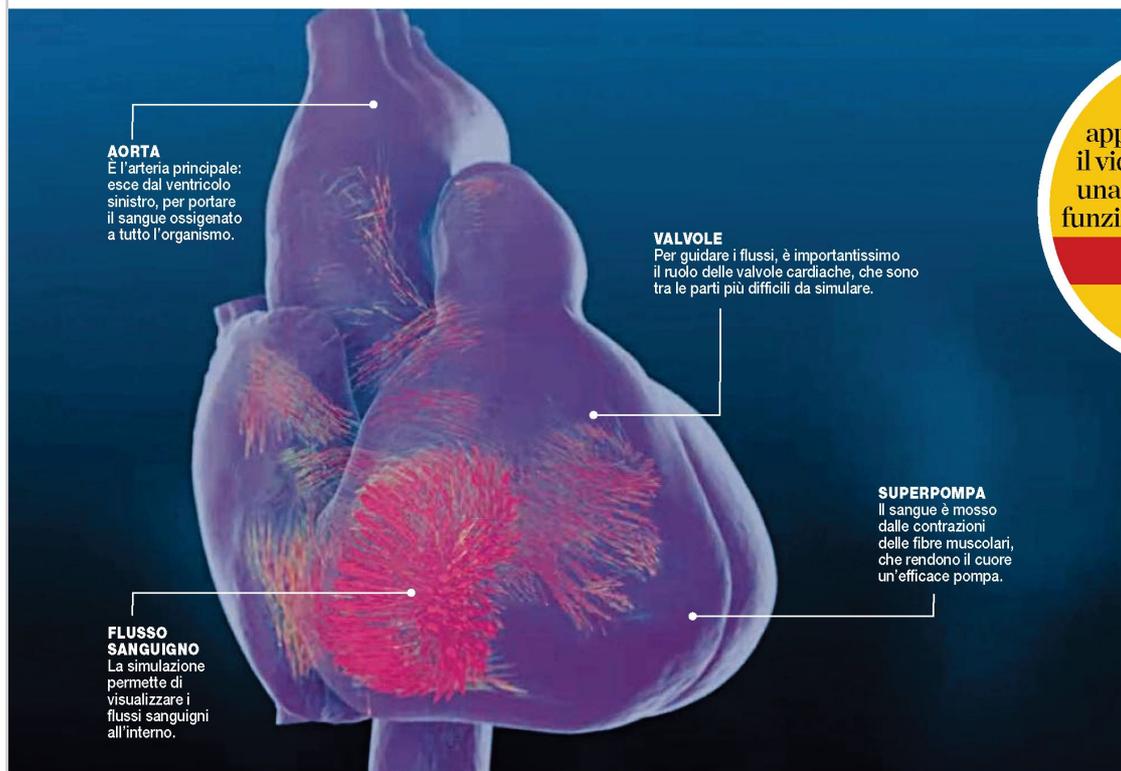
### Urbanistica

#### CITTÀ DEL FUTURO

Il progetto 3D *experienticity* di Dassault Systemes si propone di replicare varie metropoli nel mondo: Singapore,

Monaco, Detroit e tante altre.

«Municipalità, abitanti, imprenditori potranno sapere quali zone sono più o meno popolate, conoscere il traffico, sapere quali progetti sono previsti su un'area», spiega la vicepresidente di Dassault Systemes Ingeborg Rocker, «e in questo modo scenari ipotetici saranno sottoposti a tutti i soggetti interessati: per esempio, per valutare come certe soluzioni urbanistiche riducano il traffico, diminuiscano l'inquinamento, creino nuove aree verdi e così via».



**AORTA**  
È l'arteria principale: esce dal ventricolo sinistro, per portare il sangue ossigenato a tutto l'organismo.

**VALVOLE**  
Per guidare i flussi, è importantissimo il ruolo delle valvole cardiache, che sono tra le parti più difficili da simulare.

**SUPERPOMPA**  
Il sangue è mosso dalle contrazioni delle fibre muscolari, che rendono il cuore un'efficace pompa.

**FLUSSO SANGUIGNO**  
La simulazione permette di visualizzare i flussi sanguigni all'interno.

Inquadra la pagina con la app di Focus e guarda il video che mostra, con una simulazione, come funziona un cuore umano

SCARICA LA APP (INFO A PAGINA 5)

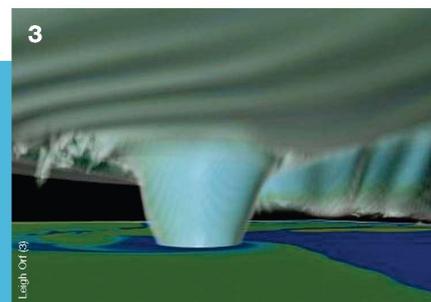
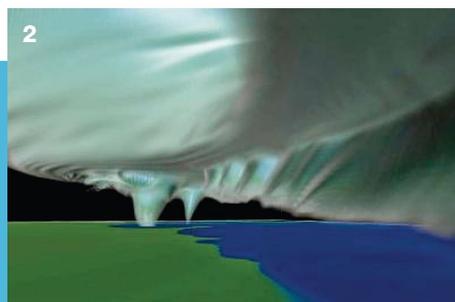
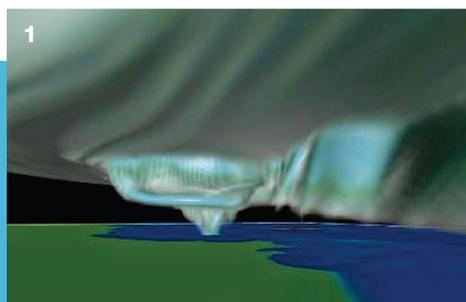


**FLUSSI ED ENERGIA.**  
A lato, una simulazione del funzionamento del cuore effettuata dall'Università di Tokyo.

6 sottomodelli, ognuno con le sue equazioni: uno a testa per la valvola mitrale (che mette in comunicazione atrio e ventricolo) e la valvola aortica (dal ventricolo all'aorta), uno per il flusso sanguigno, uno per le deformazioni meccaniche, altri due per l'elettrofisiologia e le forze che muovono o alterano le cellule. E questo è solo un ventricolo: il tutto va ripetuto per 4, quante sono in tutto le cavità cardiache, e va collegato ad altri 2 moduli che simulano la circolazione sanguigna.

**POTENZA DI CALCOLO.** Per completare l'operazione, inutile dirlo, occorrono mezzi straordinari: una simulazione tipica gira su 3.200 microprocessori, per una potenza di calcolo complessiva di 53,4 teraflop (un teraflop corrisponde a mille miliardi di operazioni al secondo), e richiede 2,8 terabyte di dati. Il risultato è che un secondo di simulazione completa del cuore richiede fino a una settimana di tempo di calcolo su un supercomputer. Tutto questo sarebbe un mero esercizio

accademico se non fosse messo in relazione con le persone in carne e ossa. Il gruppo, infatti, collabora con cardiologi e chirurghi, che non solo forniscono dati, ma possono usare parti del modello per migliorare la progettazione e l'impianto di valvole aortiche, o per tarare più precisamente i pacemaker, simulando per ogni paziente le fibre che conducono il segnale elettrico. Anche se l'intero organo, insomma, non è ancora del tutto identico a quello di una persona in ▶



### Meteorologia

#### LA FORZA DEI TORNADO

Per comprendere i tornado e la loro forza distruttiva, Leigh Orf insieme a un team di scienziati dell'Università di Madison-Wisconsin (Usa) ha creato una replica virtuale di El Reno, un tornado che

devastò l'Oklahoma nel 2011, producendo venti da 340 km/h. La simulazione è alimentata da dati tratti dai meteo dell'epoca, e in particolare la pressione atmosferica, la velocità dei venti, l'umidità, il profilo verticale di temperatura. Il risultato (v. sequenza qui

sopra) è un modello che visualizza i mini-tornado che si creano nelle fasi iniziali (1 e 2), unendosi poi tra loro per dare forza e velocità (3) al vortice. Per ottenere questi risultati, il supercomputer ha dovuto elaborare i dati per tre giorni... un comune pc ci avrebbe messo decenni.

## L'obiettivo è sviluppare simulazioni personalizzate, per pianificare gli interventi

particolare, ma è appunto un cuore "medio", alcune sue parti possono essere già utilizzate a fini medici e scientifici.

Per quanto ambizioso, il progetto di Quarteroni non è l'unico. In Nuova Zelanda, all'Università di Auckland, Peter Hunter guida il Cardiac Physiome Project, a sua volta parte del più ampio Physiome Project. Lui e il suo gruppo incrociano dati reali e simulazioni per capire come nascono le aritmie a partire da mutazioni cellulari o dagli effetti di farmaci. Con l'obiettivo, tra l'altro, di capire meglio gli elettrocardiogrammi.

Un altro esempio è Crimson, di Carlo Alberto Figueroa dell'Università del Michigan (Usa), che simula la circolazione sanguigna. Figueroa vuole dare un supporto ai chirurghi per pianificare gli interventi al cuore o al sistema vascolare. Nathalia Trayanova della Johns Hopkins University (Usa), invece, ha lanciato il

### Come un libro di fisica

**GRIGLIATO.** A destra, un cuore simulato dal gruppo di Alfio Quarteroni, al Politecnico di Milano. Viene scomposto in zone e diviso in una griglia di punti per effettuare i calcoli, che usano le (complesse) equazioni di ben 4 branche della fisica.



Alfio Quarteroni

#### 1 ELETTRICITÀ

Queste leggi servono a calcolare come gli impulsi elettrici si propagano attraverso le fibre cardiache.

#### 2 MECCANICA

Le equazioni della meccanica calcolano come il muscolo si contrae e si rilassa, agendo da pompa per il sangue.

#### 3 PRESSIONE

Le valvole interne hanno un funzionamento estremamente complesso, determinato dalla pressione punto per punto.

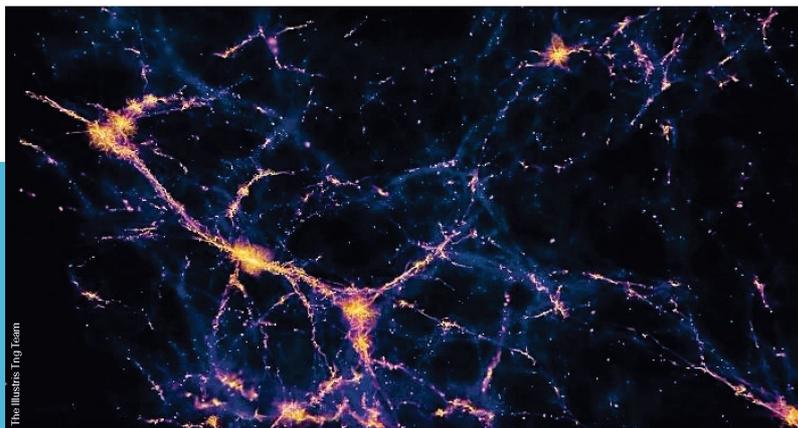
#### 4 DINAMICA DEI FLUIDI

Questa branca consente di determinare il flusso del sangue nel cuore e attraverso i vasi.

progetto "Your Own Virtual Heart", simile a quello di Quarteroni ma per ora focalizzato sulla parte elettrofisiologica, per individuare chi è più a rischio di aritmia e dovrebbe ricevere un pacemaker. Nella corsa sono impegnati anche i privati, come è facile immaginare considerando gli interessi in gioco. La società francese Dassault Systems, per esempio, ha lanciato il progetto Living Heart (v. foto in apertura), che coinvolge 95 organizzazioni di tutto il mondo, tra medici, ricercatori, produttori di attrezzature ed enti di regolamentazione.

**A PORTATA DI MANO.** Ciò che guida i ricercatori di tutto il mondo è una visione comune: riuscire a simulare nei dettagli il cuore di ogni paziente. Per arrivarci bisognerebbe raccogliere i dati di migliaia di individui, renderli accessibili online ai medici e usarli per interpretare e classificare gli esami di ogni nuovo paziente. Così i cardiologi potrebbero prevedere come evolverà quel cuore in futuro. Per fare prevenzione, o per pianificare interventi. È ancora un sogno, ammette Quarteroni, «ma non siamo così lontani». **F**

**Nicola Nosengo**



The Illustris TNG Team

### Spazio

#### I SEGRETI DELL'UNIVERSO

L'universo condensato in un pc. È quello che hanno realizzato scienziati di 5 tra i maggiori istituti di astrofisica e studi teorici al mondo: IllustrisTNG è infatti la

simulazione più completa del cosmo nella sua interezza: «Quando osserviamo le galassie col telescopio», ha dichiarato Shy Genel, uno degli studiosi coinvolti, «possiamo misurarne solo alcune proprietà, mentre la simulazione ci

consente di valutarne l'evoluzione e la formazione delle stelle nel tempo. Così speriamo di comprendere meglio, per esempio, come poteva essere la Via Lattea quando la Terra si è formata, e come potrà evolversi in futuro».

Inquadra la pagina con la app di Focus e guarda il video che mostra l'evoluzione nel tempo dell'universo

SCARICA LA APP (INFO A PAGINA 5)

