

Intervista

**Luigi Ambrosio** ha ricevuto un importante premio per il suo lavoro su un problema formulato secoli fa e che può essere applicato all'intelligenza artificiale

## La lunga vita di un problema matematico

**U**na volta formulati, i problemi matematici possono seguire percorsi molto diversi tra loro: alcuni vengono risolti nel giro di poco tempo, altri possono invece restare «silenti» per moltissimi anni, prima che un'intuizione brillante o lo sviluppo di nuove tecniche li faccia tornare improvvisamente di moda. A quest'ultima categoria appartiene il «problema del trasporto ottimale», formulato nel 1781, che ha vissuto un autentico revival a partire dagli anni quaranta, con applicazioni imprevedibili. Uno degli artefici degli sviluppi più recenti è il matematico **Luigi Ambrosio**, attuale direttore della **Scuola normale superiore** di Pisa, che per le sue ricerche in questo campo ha ricevuto nel 2019 il premio Balzan, assegnato ogni anno dall'omonima Fondazione a quattro studiosi che si siano distinti in campo umanistico o scientifico.

**Nella motivazione del premio si legge che il suo lavoro ha permesso di «gettare ponti inattesi tra le equazioni alle derivate parziali e il calcolo delle variazioni». Può spiegarci meglio?**

Il problema del trasporto ottimale, la cui formulazione originaria è dovuta al matematico francese Gaspard Monge, riguarda lo spostamento di una massa da un punto a un altro. In particolare Monge fece l'esempio di una pila di materiale e di una buca, ponendosi la domanda: qual è il percorso che mi permette di riempire la buca nel modo più efficiente possibile e con il minor costo in termini di lavoro? Si tratta di una variante dei problemi classici del cosiddetto calcolo delle variazioni, che in generale riguardano le curve e le superfici che minimizzano una certa quantità.

Il mio contributo, insieme a quello di altri studiosi, è stato «importare» nello studio del trasporto ottimale tecniche proprie delle equazioni alle derivate parziali, che invece studiano come un sistema evolve nel tempo e nello spazio, e della teoria geometrica della misura. Questo ha permesso, tra le altre cose, di allargare il campo delle possibili applicazioni di questo problema.

**Oggi queste applicazioni riguardano molti settori. Quali sono gli esempi più interessanti?**

Il trasporto ottimale è un problema che si applica a esigenze estremamente pratiche, legate all'allocazione efficace di risorse. Per esempio nel settore del commercio un tipico problema di trasporto ottimale è stabilire qual è il miglior piano di trasporto di una certa quantità di beni dal produttore al consumatore (per esempio da una pasticceria ai vari *bistrot*). Ma i campi di applicazione sono davvero tanti, dalla dinamica dei fluidi alla finanza, fino ad arrivare persino all'intelligenza artificiale.



**Le regole della Fondazione Balzan prevedono che la metà di ciascun premio, pari in totale a circa 670.000 euro, sia destinata al finanziamento di un progetto di ricerca in cui siano coinvolti giovani ricercatori. Ha già un'idea di come investire la metà del suo premio?**

Sì, ho pensato che il modo migliore per farlo sia destinare la quasi totalità di questa somma ad assegni di ricerca, sempre all'interno della **Scuola normale superiore** di Pisa, strutturati in un piano quinquennale. In particolare l'idea è bandire cinque assegni biennali il cui importo sarà superiore agli standard medi italiani, in modo anche da attrarre più facilmente candidati particolarmente autorevoli.

**Quali saranno i temi di ricerca di questi assegni?**

Laura Lezra/Getty Images (al centro); coretis/Luigi Ambrosio (Ambrosio)

di Matteo Serra



CHI È

LUIGI AMBROSIO

Matematico, si è laureato all'Università di Pisa nel 1985 sotto la guida di Ennio De Giorgi, lavorando poi come ricercatore, professore associato e ordinario alle università di Roma Tor Vergata, Pisa, Salerno e Pavia. Dal 1998 è professore ordinario

di analisi matematica alla Scuola normale superiore di Pisa, di cui è diventato direttore nel 2019. Dal 2005 è socio dell'Accademia nazionale dei Lincei. I suoi principali interessi di ricerca riguardano il

calcolo delle variazioni, la teoria geometrica della misura e la teoria del trasporto ottimale. Tra i suoi allievi alla Scuola normale figura anche Alessio Figalli, vincitore nel 2018 della medaglia Fields, il massimo riconoscimento per un matematico.



**Ambrosio, in cravatta rossa**, partecipa a una conferenza di Figalli, suo ex allievo premiato nel 2018 con la medaglia Fields.

Uno dei problemi legati all'apprendimento automatico è riuscire a misurare l'errore associato all'addestramento di una certa rete, con l'obiettivo di minimizzarlo. L'errore si può modellizzare come una distanza tra due punti: ma se pensiamo al problema della pila e della buca di Monge, in quel caso il minimo costo di trasporto esprime proprio una distanza. Quindi è abbastanza naturale usare lo stesso approccio per capire come rendere minimo l'errore computazionale.

Ma non c'è solo questo: il machine learning è una disciplina che sta letteralmente esplodendo e offre moltissimi problemi su cui è possibile lavorare.

Lei è da poco direttore della Scuola normale superiore di Pisa, ruolo che le offre un osservatorio privilegiato sulle politiche della ricerca. Qual è lo stato della ricerca in matematica in Italia oggi?

La scuola matematica italiana continua a essere di ottimo livello, come dimostra l'alta competitività dei nostri laureati a livello internazionale. Tuttavia, nonostante esistano meccanismi che in alcuni casi agevolano il rientro di alcuni ricercatori brillanti, se il livello di finanziamenti alla ricerca continuerà a essere così basso questa situazione non potrà durare a lungo: prima o poi interverrà il ricambio generazionale, e se tutte le persone di punta di una certa generazione vanno a lavorare all'estero, sarà impossibile mantenere un alto livello di qualità. È un discorso che vale per la ricerca in matematica ma in generale anche per l'intera accademia italiana.

Per quanto riguarda invece la percezione della matematica nella società, vede un miglioramento rispetto al passato?

Direi proprio di sì. Grazie alle tante applicazioni che ha oggi la matematica, all'interno di discipline molto attuali come per esempio la stessa intelligenza artificiale e lo studio dei big data, ho la sensazione che venga finalmente percepita come una disciplina più vicina al mondo reale, rispetto a certi stereotipi che circolavano in passato. Tutto questo è anche certificato da un deciso aumento del numero di iscritti ai corsi di laurea in matematica negli ultimi anni. Credo poi che la recente vittoria della medaglia Fields da parte di Alessio Figalli, che è stato mio allievo, abbia costituito un importante «traino» da questo punto di vista.

Gli assegni saranno nell'ambito di tre filoni principali: i primi due, più strettamente legati ai miei interessi di ricerca, riguardano le equazioni alle derivate parziali studiate con le tecniche del trasporto ottimale e la geometria degli spazi detti «non lisci», cioè dotati di spigoli e discontinuità. Il terzo filone riguarda invece uno dei campi di applicazione più recenti e promettenti del problema del trasporto ottimale: la *machine learning*, ovvero l'apprendimento automatico delle macchine. In quest'ultimo ambito, di cui personalmente non sono un esperto, saranno coinvolti anche alcuni miei collaboratori.

In che modo il problema del trasporto ottimale può essere applicato al machine learning?