

Prevenire i disastri. La matematica ci aiuta?

Stefano Pisani

Ogni anno, nel mondo, circa un terzo dei disastri naturali sono legati alle inondazioni. Si tratta di pericoli destinati a diventare sempre più rilevanti in futuro, a causa degli effetti dell'aumento della popolazione mondiale, dell'urbanizzazione e degli impatti dei cambiamenti climatici. Gli strumenti scientifici avanzati svolgono un ruolo di primaria importanza nel far fronte ai problemi legati alle alluvioni, e l'attività di modellazione rappresenta la base per una efficace mitigazione delle inondazioni

L'alluvione che ha colpito la città di Genova il 9 e il 10 ottobre 2014 ha riguardato 43 comuni in tutta la provincia. In termini umani, il bilancio finale ha contato un decesso, un uomo di 57 anni trovato annegato; in totale, la città ha subito danni per 250 milioni di euro.

L'alluvione ha avuto come evento scatenante le forti precipitazioni (395 millimetri di pioggia in 24 ore) che si sono riversati su un'area ristretta in diverse zone di Genova e provincia, causando l'esondazione del torrente Bisagno e di altri corsi d'acqua. Partiamo proprio da questa recente alluvione per parlare di quelli che furono dei particolari imputati finiti quasi subito sul banco d'accusa: i modelli matematici.

I MODELLI MATEMATICI SONO COLPEVOLI?

«L'allerta meteo non è stata data perché le valutazioni dell'Arpal basate su modelli matematici non hanno segnalato l'allarme» dichiarò all'epoca l'Assessore Regionale alla Protezione Civile Raffaella Papita, aggiungendo: «per quanto la perturbazione fosse estesa, non è stato possibile prevedere fenomeni improvvisi e intensi come quelli che hanno colpito la sponda destra del Bisagno».

Sull'efficacia del lavoro dei modelli matematici si è successivamente pronunciato anche Giampiero Maracchi, climatologo dell'Università di Firenze, che ha spiegato che uno dei più grandi limiti con cui ci si deve necessariamente confrontare è che fenomeni temporaleschi come quello che si è abbattuto su Genova sono «assolutamente imprevedibili. Negli ultimi 20 anni a causa dei cambiamenti climatici questi eventi estremi sono aumentati del

900%. I modelli matematici non hanno un grado di risoluzione tale da prevedere fenomeni puntuali, cioè che si abbattano in un unico punto nello spazio e nel meteo, come quello che si è sviluppato in Liguria».

Ma fino a che punto la matematica, con i suoi modelli previsionali e gestionali, può essere effettivamente d'aiuto nell'affrontare disastri naturali come le alluvioni? Iniziamo col dare qualche numero utile a contestualizzare il fenomeno. Nel 2015, a causa di frane e inondazioni, in Italia si sono avuti 18 morti, 25 feriti e oltre 3500 tra sfollati e senzatetto in 88 comuni, distribuiti in 19 regioni. «Nel quinquennio 2010-2014 gli eventi geoidrologici hanno causato 145 morti (29 l'anno di media), 2 dispersi, 205 feriti e oltre 44.500 tra sfollati e senzatetto tra il 1965 e il 2014 hanno perso la vita quasi duemila persone a causa di frane (1279) e inondazioni (717), circa 40 l'anno, oltre a 66 dispersi, 2.550 feriti e oltre 434.000 sfollati e senzatetto» si legge nel «Rapporto periodico sul rischio posto alla popolazione italiana da frane e inondazioni» curato dall'Istituto di ricerca per la protezione idrogeologica del Consiglio nazionale delle ricerche (Irpi-Cnr) di Perugia [che] dipinge un quadro tutto sommato meno grave di quello relativo al 2014 e agli ultimi cinquant'anni (periodo in cui si contano quasi duemila morti per questi eventi). Il dato più significativo è la diminuzione dei danni alle persone, anche se l'Italia resta un Paese interessato nell'interesse del suo territorio da disastri naturali di questo tipo.

E anche nel contesto europeo le notizie non sono incoraggianti: secondo una recente stima della Federazione Europea dei Geologi, entro il 2050 nella Ue si

spenderanno 23,5 miliardi di euro l'anno per i danni causati da alluvioni, una cifra che corrisponde a cinque volte l'importo speso per il periodo dal 2000 al 2012, pari a 4,6 miliardi di euro.

LA MATEMATICA E LE PREVISIONI METEOROLOGICHE

Lo sviluppo di modelli matematici nella previsione del tempo è uno dei più grandi successi scientifici del ventesimo secolo. Attualmente sono disponibili previsioni molto accurate.

Predire il tempo resta però una questione molto complicata, molto più complicata, per esempio, di predire il ritorno di una cometa. Il problema di base può essere ridotto alla ricerca della soluzione di un sistema di sette equazioni differenziali non-lineari alle derivate parziali accoppiate in sette variabili: pressione, temperatura, densità, umidità, e tre componenti che riguardano il vento. Durante il ventesimo secolo la ricerca, con alterne fortune, di metodi per calcolare le soluzioni di questo sistema (passando anche per modelli elaborati dal grande matematico John von Neumann negli anni Quaranta) arriva fino alla prima previsione computazionale di successo, che si deve al gruppo di Jule Charney di Princeton e al computer digitale Eniac. Era il 1950, anno che viene riconosciuto come il vero e proprio inizio delle previsioni meteorologiche numeriche.

Man mano che la potenza di calcolo cresce, crescono anche la velocità e il dettaglio dei modelli. I metodi diventa-

Predire il meteo resta una questione molto complicata, molto più complicata, per esempio, di predire il ritorno di una cometa

no inoltre più sofisticati via via che nuove osservazioni si rendono disponibili, provenendo da fonti come i satelliti in orbita, i sistemi radar e i palloni meteorologici. Le previsioni numeriche migliorano così costantemente nel corso degli anni. Il grande *Global Weather Experiment* (Gwe), concepito da Charney, viene effettuato da numerose nazioni nel 1979 sotto la guida della *World Meteorological Organization* e dimostra che le osservazioni globali di alta qua-

lità hanno le potenzialità per migliorare le previsioni scaturite da modelli numerici. I risultati del Gwe continuano per anni a produrre nuovi progressi.

Dai tardi anni Ottanta, le previsioni si basano su modelli numerici integrati con supercomputer ad alta velocità, ad eccezione di qualche previsione a corto raggio, soprattutto legata a tempeste locali, di cui si occupano specialisti che interpretano direttamente misure radar e satellitari.

Mentre la maggior parte della variabilità meteorologica viene analizzata mediante la cosiddetta scala sinottica, in cui si studiano i moti atmosferici e oceanici su lunghezze orizzontali variabili da centinaia a migliaia di chilometri mediati su tempi nell'ordine delle 12-24 ore, uno sviluppo relativamente recente comprende la costruzione di modelli numerici di previsione di mesoscala.

Sulla mesoscala vengono analizzati moti atmosferici con lunghezze caratteristiche che vanno da poche decine a poche centinaia di chilometri, come la circolazione atmosferica e le precipitazioni associate alle zone frontali, o eventi estremi come uragani o tempeste delle medie latitudini. Fronti, temporali aggregati, brezza marina, uragani, correnti a getto sono strutture di mesoscala e la loro evoluzione e comportamento sono problemi previsionali cruciali che solo di recente sono stati trattati nell'ambito della previsione numerica del meteo.

LE EQUAZIONI PRIMITIVE DEI MOTI ATMOSFERICI

Le previsioni sono computate usando equazioni differenziali matematiche per la fisica e la dinamica dell'atmosfera, dette anche equazioni primitive dei moti atmosferici. Si tratta di equazioni non lineari, impossibili da risolvere esattamente (cioè analiticamente). Perciò, i metodi utilizzati, propri dell'analisi numerica, ottengono soluzioni approssimate, con inevitabili errori. I limiti, però, sussistono a monte. Come proposto da Edward Lorenz nel 1963, anche ammettendo di saper risolvere analiticamente le equazioni fondamentali dell'atmosfera (cosa che,

come si è detto, non è ancora fattibile) è impossibile predire deterministicamente, una volta per tutte, lo stato dell'atmosfera, a causa della natura non-lineare, e dunque caotica, delle equazioni della dinamica dei fluidi che amplifica esponenzialmente l'inevitabile errore del modello sulle condizioni iniziali. Attualmente, il limite temporale massimo di predicibilità dello stato dell'atmosfera da parte di un qualunque modello numerico meteorologico è non superiore ai 15 giorni, con un grado di affidabilità che decade nel tempo e varia anche in funzione del tipo di condizioni atmosferiche da prevedere.

COSA PUÒ FARE LA MATEMATICA CONTRO LE ALLUVIONI

I modelli matematici potrebbero innanzitutto rispondere a una domanda: è possibile evitare il verificarsi dei danni legati ai fenomeni alluvionali? Ogni anno, nel mondo, circa un terzo dei disastri naturali sono legati alle inondazioni. Si tratta di pericoli destinati a diventare sempre più frequenti e più rilevanti in futuro, a causa degli effetti dell'aumento della popolazione mondiale, dell'urbanizzazione e degli impatti dei cambiamenti climatici. Gli strumenti scientifici avanzati svolgono un ruolo di primaria importanza nel far fronte ai problemi legati alle alluvioni, e l'attività di modellazione rappresenta la base per una efficace mitigazione delle inondazioni. Disastri naturali come questi coinvolgono il movimento dei fluidi: acqua, fango, eccetera, e i modelli matematici possono tentare, se non riuscire, a fornire simulazioni verosimili del comportamento fisico di questi elementi e, quindi, prevedere l'impatto di un'alluvione a partire dalle opportune condizioni iniziali e al contorno. E non solo. Attualmente, i modelli matematici sviluppati in questo settore sono usati per la simulazione dell'azione delle onde alluvionali nei fiumi, per la valutazione dell'efficacia delle misure protettive, per la valutazione dei danni delle alluvioni, per la realizzazione di mappe di rischio alluvionale, per l'analisi degli effetti di un'inondazione sulle infrastrutture delle alluvioni.

MODELLI STOCASTICI E DETERMINISTICI

Il campo di ricerca sulla dinamica dei fluidi è tradizionalmente specializzato in differenti modelli matematici che possono essere divisi, approssimativamente, in due categorie: stocastici e deterministici. I modelli stocastici si basano sull'analisi della frequenza delle inondazioni, mentre quelli deterministici sono generalmente basati sulle proprietà fisiche degli elementi coinvolti o sull'influenza dei fenomeni che si vanno ad analizzare, come la geometria dei canali. Nei modelli stocastici, la stima delle alluvioni corrispondenti a specifici periodi di ritorno è essenziale per progettare misure di protezione della inondazioni. A causa della variabilità climatica, che influenza gli eventi alluvionali, la modellazione stocastica ha avuto ampia applicazione nella stima dell'imponenza di un'alluvione in corrispondenza di uno specificato rischio. L'analisi della frequenza delle alluvioni è condotta analizzando record storici del flusso di un fiume, allo scopo di formulare previsioni probabilistiche su future esondazioni. Sono utilizzate poi un gran numero di distribuzioni probabilistiche e metodi statistici per interpolazioni e estrapolazioni.

I metodi deterministici sono invece procedimenti matematici che servono a predire i cambiamenti di magnitudo, velocità e forma di un flusso d'onda come funzione del tempo, in corrispondenza di uno o più punti lungo il percorso di un corso d'acqua, che può essere un fiume, un torrente, un canale, etc. Il potere, e quindi l'efficacia, di questi modelli matematici si basa, essenzialmente sulla potenza dei computer e su quella degli algoritmi sviluppati: l'enorme aumento della potenza e della velocità computazionale degli ultimi anni [ha consentito] di fare grandi passi avanti in questo settore di ricerca.

Attualmente, si è in grado di modellizzare il comportamento di milioni, anche miliardi di particelle d'acqua, il che permette di prevedere con maggiore precisione gli effetti dei flussi di fluidi naturali e artificiali come gli tsunami, quelli causati dalle rotture di dighe, le inondazioni, le frane, le inondazioni costiere e le mareggiate.