



# **“Teoria del caos e Protezione Civile”**

(Febbraio 2009)

## Premessa

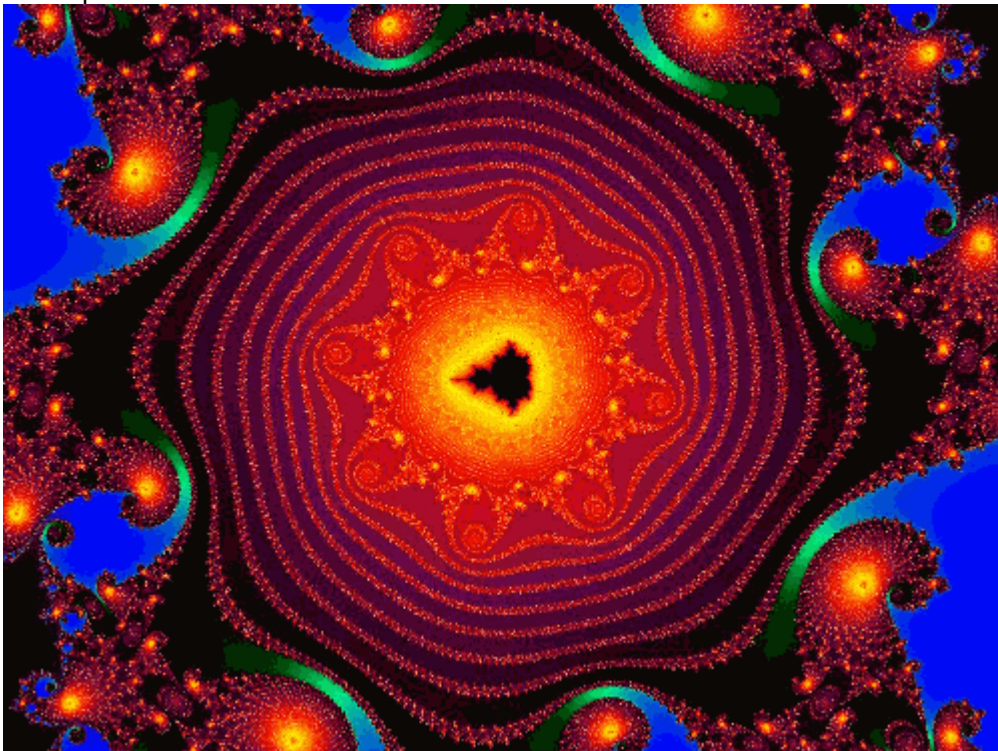
---

Terremoti, frane ed eruzioni vulcaniche avvengono, quasi sempre, nei territori dove in passato si sono già manifestati.

Il sistema della protezione civile ha quindi riconsiderato il proprio ruolo, non solo per il soccorso dopo il manifestarsi degli eventi dannosi, ma anche per la riduzione del rischio, attraverso la previsione, la prevenzione, e la pianificazione.

Tutte queste attività partono però dalla definizione di uno scenario d'evento, vale a dire dalla ricostruzione di come e in quale momento certi fenomeni fisici potenzialmente dannosi possono manifestarsi.

Questa ricostruzione è tuttavia molto difficile perché terremoti, frane ed eruzioni vulcaniche costituiscono sistemi complessi che hanno un comportamento imprevedibile o "caotico": sappiamo dove potranno avvenire, ma non quando e come.



Un frattale. In geometria gli oggetti che sono autosimili vengono definiti frattali e possono essere costruiti seguendo precise regole di tipo matematico. Un oggetto è autosimile se una parte dell'oggetto è simile al tutto. La geometria frattale è la geometria del caos. Per ulteriori informazioni [www.frattali.it](http://www.frattali.it)

La teoria del caos è una disciplina fisico - matematica che si propone di studiare e descrivere questi comportamenti. Cercherò di spiegarla, con parole semplici, applicandola alla protezione civile attraverso alcuni esempi su problemi molto diversi, che apparentemente non hanno niente in comune, come i terremoti, il comportamento della folla e le frane.

## **Complessità e caos**

---

Un sistema complesso è un qualunque sistema che ha comportamenti imprevedibilmente complicati e caotici, sfuggendo così al controllo ed alla previsione.

Il sogno della fisica classica è stato per lungo tempo la completa comprensione del mondo a partire dallo studio dei suoi componenti.

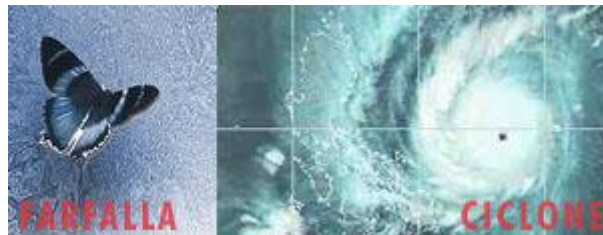
Quest'idea, già incrinata dalla teoria della relatività e dalla meccanica quantistica, è stata affiancata negli anni '60 dalla teoria del caos, che parte dalla considerazione che sistemi fisici dello stesso tipo che si sviluppano da condizioni iniziali con piccolissime differenze si evolvono lungo direzioni enormemente diverse e portano a risultati lontanissimi fra di loro, quindi imprevedibili.

## **L'effetto farfalla**

---

Un tipico sistema complesso è l'atmosfera, dove i processi che ne influenzano il comportamento sono costituiti da molti fattori, per cui non si hanno mai le stesse condizioni anche in luoghi vicini.

Questi fattori possono poi interagire fra di loro in infiniti modi, ed il risultato finale non è dato dalla semplice somma dei loro effetti, ma dipende fortemente dalle loro interazioni, che avvengono attraverso relazioni "circolari", vale a dire reazioni a catena tra cause ed effetti, producendo fenomeni atmosferici difficilmente prevedibili che sembrano essere casuali.



L'esempio ormai classico è quello del battito d'ali di una farfalla che scatena un ciclone nella parte opposta della Terra.

La farfalla in volo può essere quell'infinitesima differenza nello stato iniziale dell'atmosfera, con e senza farfalla, che può portare, attraverso piccole differenze successive, ad evoluzioni diverse e a produrre risultati molto diversi, come se fossero stati molto lontani i due stati iniziali che li hanno generati.

Il piccolo vortice lasciato dal battere d'ali della farfalla, in un caldo pomeriggio, può consentire ad una bolla d'aria calda di staccarsi dal suolo surriscaldato, trasformarsi in una corrente calda ascendente e poi in una nube temporalesca. Il vortice d'aria che alimenta la cellula temporalesca può avere abbastanza energia per deviare i venti alle quote superiori e provocare una perturbazione che spinta dalle correnti d'alta quota fornisce all'atmosfera, in un luogo diametralmente opposto, dopo alcuni giorni, quell'energia in più per provocare il ciclone.



## La teoria del caos

---

Il termine caos è usato per una disciplina scientifica che si prefigge di descrivere il comportamento dei sistemi complessi.

Per comprendere la teoria del caos è necessario dare alcune definizioni:

- **sistema deterministico** è quello nel quale si passa da un punto iniziale ad un punto finale attraverso una funzione, cioè ogni stato è unica e diretta conseguenza di quello precedente (le leggi della meccanica di Newton sono leggi deterministiche);
- **sistema non deterministico** è quello nel quale si può arrivare allo stesso punto finale partendo da diversi punti;
- **sistema dinamico** è quello descritto da uno stato e dalla regola che lo modifica nel tempo;
- **modello non lineare** è quello nel quale i passaggi da un punto ad un altro non avvengono in modo lineare (tipico dei sistemi deterministici o newtoniani), ma per salti bruschi e successivi.

## I problemi irrisolti

---

La complessità pone una serie di problemi "scomodi" poiché di difficile soluzione, che la teoria del caos cerca di risolvere superando i concetti della fisica classica.

Eccone alcuni in attesa di risposte:

- è possibile prevedere i terremoti?
- da che cosa dipende la diffusione degli incendi boschivi?
- è possibile capire le variazioni della Borsa?

Secondo la teoria del caos sistemi diversissimi fra di loro, sia del mondo fisico sia del mondo umano, si autorganizzano spontaneamente, cioè con regolarità dove sembra esservi solo disordine. Questa situazione porta però ad uno stato critico, caratterizzato da forte ipersensibilità.

In questa condizione basta pochissimo, piccole cause o piccoli disturbi, per modificare un sistema, spiegando così il punto nodale della teoria del caos, cioè la forte dipendenza dalle piccolissime variazioni delle condizioni iniziali.

Una volta innescato un processo la visione classica della casualità prevede che la causa venga prima e l'effetto subito dopo, che cause piccole producano effetti piccoli e cause grandi effetti grandi.

Nei sistemi complessi, in quanto dinamici e non lineari, esiste invece una relazione "circolare" tra causa ed effetto, per cui un effetto ne induce un altro che può modificare la causa, e così via, con il risultato che alla fine il sistema nel suo complesso può dare un risultato maggiore della somma delle parti.

## I sistemi fisici complessi

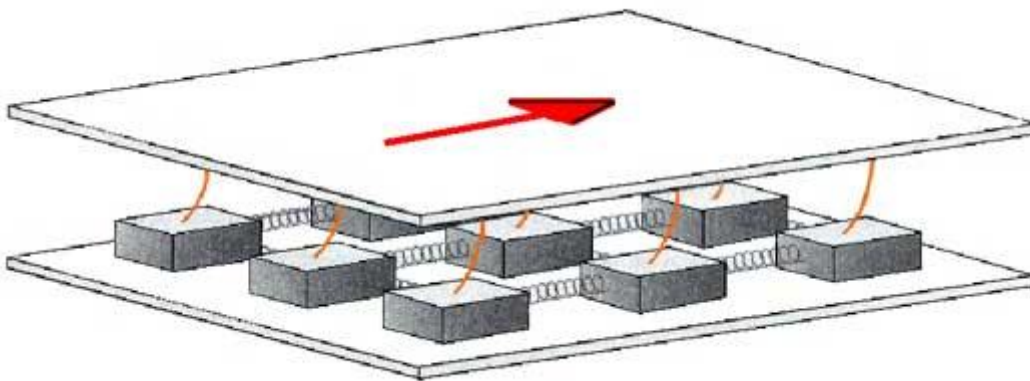
---

La Terra è un sistema dinamico complesso governato dal flusso energetico proveniente dal sole e dal suo interno, che si distribuiscono in molti sottosistemi interagenti. E' un sistema non lineare dove l'effetto delle singole componenti non dà come risultato la somma degli effetti, in quanto ognuno di questi ne induce altri.

**I sistemi fisici che agiscono sulla Terra sono sistemi caotici**, cioè sistemi dinamici non lineari che si collocano a metà strada fra quelli deterministici e quelli non deterministici.

La caratteristica di questi sistemi, è quella che, partendo da due punti molto vicini, si possono raggiungere risultati molto diversi, cioè la consistente dipendenza dalle condizioni iniziali.

Applichiamo la teoria del caos ad alcuni problemi di protezione civile.



La causa dei terremoti è il movimento improvviso di due porzioni di roccia lungo una superficie di contatto comune.

Un possibile modello di comportamento prevede che due parti in movimento relativo fra di loro sollecitino quella compresa fra esse attraverso le molle verticali (in colore), ognuna delle quali agisce su un singolo blocco. Quando la forza impressa dalla molla è sufficiente a vincere la resistenza d'attrito del blocco, questo si muove istantaneamente, spingendo o tirando quelli vicini ai quali è unito da molle orizzontali, che a loro volta si possono muovere se è superata la resistenza d'attrito.

Il modello dimostra come una piccola differenza delle condizioni iniziali (ad esempio la diversa rugosità della superficie inferiore) e il diverso modo d'interagire fra i blocchi può portare a dei risultati molto diversi, e quindi imprevedibili, comportamento tipico dei sistemi complessi (modificato da Burridge e Knopoff, Physical Review Letters, 1992).

Si è poi scoperto che la distribuzione dei terremoti è caratterizzata da invarianza di scala, cioè si osservano processi di formazione a scale diverse, che seguono anch'essi la legge di Gutenberg e Richter. Poiché niente fa pensare che i terremoti catastrofici abbiano un'origine diversa dai microsismi, non ha senso cercare differenze fra terremoti più o meno intensi: i sismi violenti non sono più singolari o insoliti delle scosse infinitesime provocate dalla stessa struttura sismogenetica, che noi nemmeno avvertiamo.

Secondo la teoria del caos non potremo, con i metodi classici, prevedere i terremoti.

## La teoria del caos ed il comportamento della folla

---

Non solo i sistemi fisici, ma anche le organizzazioni sociali sono sistemi complessi che hanno comportamenti di autorganizzazione, che rispondono cioè ad un ordine globale pur essendo sistemi complessi. Per non allontanarsi troppo dai problemi della protezione civile esaminiamo il comportamento della folla, cioè di un numeroso gruppo di persone. Essendo costituito da tanti elementi diversi ha un comportamento complicato che sfugge al controllo ed alle previsioni.

In situazioni di emergenza questa situazione può creare non pochi problemi.



Johannesburg 10 Aprile 2001 - All'ingresso dello stadio ci sono 120.000 tifosi per 68.000 posti a sedere. Gli esclusi tentano di entrare comunque, spingendo contro le recinzioni che difendono gli ingressi. Quando la polizia interviene è ormai troppo tardi. Si contano 43 morti. Fonte [la Repubblica.it](http://la Repubblica.it)

Nel comportamento della folla sono determinanti le relazioni circolari tra cause ed effetti che provocano risultati che, nel loro complesso, sono più della somma delle parti costituenti, ma che sono diversi da tale somma perché le relazioni che s'instaurano creano comportamenti collettivi diversi da quelli d'origine. Nello stesso tempo la folla è però limitazione del singolo, quindi può anche essere meno della somma dei singoli comportamenti.

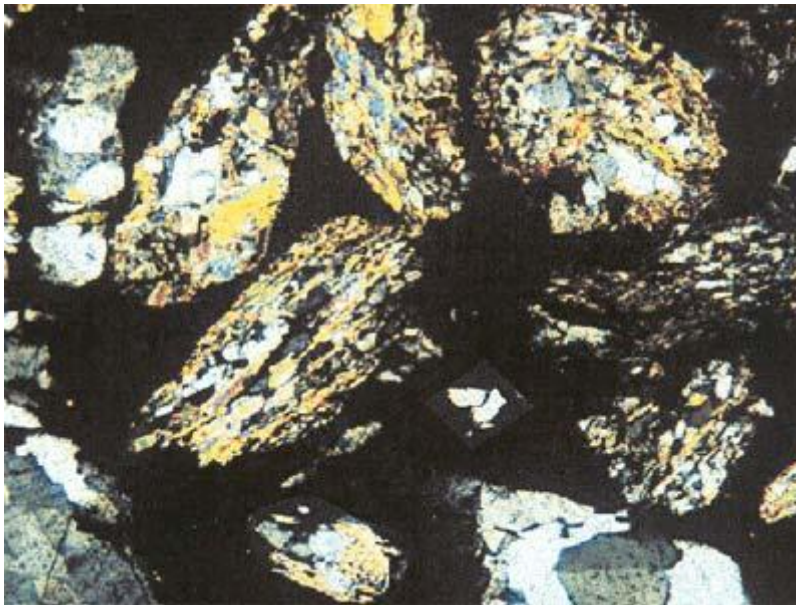
Le relazioni circolari rendono, in particolari circostanze collettive, il singolo individuo capace di comportamenti straordinari, sia in positivo sia in negativo, facendolo diventare "più" (comportamento eroico) o "meno" (comportamento di fuga) di se stesso.

## La teoria del caos e le frane

---

Una frana consiste nella discesa di una porzione di terreno, diventato instabile, verso il basso.

Questo terreno è costituito da migliaia di particelle che possiamo, per comodità, immaginare come granelli di sabbia. Se aggiungiamo ad un cumulo di sabbia altri granelli poco alla volta, questi andranno ad incrementare il cumulo fino a che un singolo granello aggiunto farà franare tutto. La stabilità o l'instabilità dipendono da come i granelli sono accatastati, cioè dalle relazioni esistenti fra le parti. Il "franamento" avviene dopo un po' di tempo, bruscamente, nonostante la regolarità nell'aggiunta dei granelli, e non regolarmente, ma per scatti successivi: si tratta quindi di un sistema dinamico e non lineare.



In un terreno visto al microscopio sono evidenti le singole particelle accatastate fra di loro. Il colore è in relazione alla composizione mineralogica, diversa per ogni granulo.

## Conclusioni

---

La previsione è uno strumento indispensabile nell'azione della protezione civile per limitare i danni conseguenti alle emergenze. E' fatta considerando gli eventi che sono avvenuti in passato come ricorrenti e valutando l'andamento dei precursori.

Tuttavia questo metodo, se può dare risultati per fenomeni dannosi che hanno precursori significativi ed avvengono lentamente, non può dare risultati in altri casi, ad esempio per i terremoti, per i quali bisogna conoscere i meccanismi che li originano.

La teoria del caos applicata ai sistemi complessi è un approccio diverso al problema che potrà, in futuro, contribuire alla soluzione di importanti problemi di protezione civile.

Non abbiamo ancora risultati concreti, ma complessità e caos sono discipline molto giovani ed in pieno sviluppo.