

Prospettive future di ricerca e conclusioni.

A partire dalla sistematizzazione della ricerca compiuta, sembrano necessarie simulazioni "in grande scala" in termini di numero e di ampiezza dei bacini considerati (in special modo quelli reali) per confermare i risultati ottenuti (e/o derivarne di nuovi), nonché una loro più accurata verifica, ad esempio tramite test statistici per verificare la bontà delle leggi a potenza (test χ^2 o altri), molti sono gli argomenti sviluppabili a partire dalle conclusioni di questa tesi.

Si citano i seguenti possibili temi.

(1) lo studio dell'evoluzione del paesaggio con forte eterogeneità di precipitazione ad esempio dovuta al cambiamento del clima [*Rinaldo et. al.*, 1995; *Dietrich et. al.*, 1994];

(2) la creazione di un nuovo modello per creare campi di pioggia maggiormente realistici ad esempio in funzione dell'orografia ($r_i = f(z_i)$), e in funzione della portata ($r_i = f(J_i)$), magari accoppiando analisi climatologico-atmosferiche dei bacini reali in studio e/o analisi multifrattali della copertura nuvolosa [*Lovejoy*, 2006, 1985; *Foufoula-Georgiou*, 2001];

(3) stabilire più approfonditamente le relazioni tra le leggi di scala geomorfologiche dei bacini, quelle nello spazio-tempo dei campi di pioggia cumulati [*Rodriguez-Iturbe et. al.*, 1998], quelle relative alle sequenze nel tempo della portata all'outlet [*Porporato et. al.*, 1997, 2001] e delle inondazioni [*Gupta, V.K., et. al.*, 1994], quelle relazionanti la densità di drenaggio con l'umidità del terreno [*Abrahams*, 1994] quindi la quantità di vegetazione;

(4) sviluppo di un modello completo incorporante tutte le forme di randomness presenti nell'evoluzione del territorio*;

(5) analisi di ecoidrologia (es. valutazione della distribuzione, dell'abbondanza, e dell'evoluzione delle specie vegetali in relazione al ciclo idrologico) unite agli studi geomorfologici con campi reali di precipitazione o campi più realistici quindi anisotropi [*Lovejoy, 2006*], intendendo la precipitazione in senso lato;

(6) analisi allometrica del metabolismo dagli organismi agli ecosistemi [*Enquist et al., 2003*], derivando per questi ultimi i flussi di energia e massa a scala di bacino con lo strato limite atmosferico [*Parlange, M.B., 1995*] per i quali esistono già dei modelli di calcolo, es. GEOTop basato sulle routine FluidTurtle [*Rigon et. al., 2006; Zanotti et. al., 2004; Bertoldi, 2004*];

(7) sviluppare tecniche alternative per lo studio dei processi geomorfici es. introducendo la similarità con la turbolenza [*Passalacqua et. al., 2006*] o la formalizzazione della teoria costrutturale [*Bejan, 2000, 1997*], quindi incentivando l'idrologia e la meccanica dei fluidi ad una proficua interdisciplinarietà con le altre scienze [*Rinaldo, 2006*].

(8) studio di altre forme frattali che la natura esibisce sul territorio (es. ghiacciai), di rilevanza per l'idrologia;

(9) perfezionare i modelli computazionali già realizzati e pubblicare delle guide di supporto al loro uso, inoltre, ampliare le interconnessioni e le reciproche compatibilità tra di essi sviluppando files di output con formato comune.

Così come il materiale supplementare alla tesi, nella pagina web dedicata allo studio delle OCNs eterogenee, vedi

<http://digilander.libero.it/matconv/ThesisMaterials.html>,

si prevede di mettere a disposizione parte dei futuri risultati, relativi ai sette punti sopra detti o ad altre ricerche inerenti l'argomento.

La responsabilità dei contenuti della pagina web sopra citata, ricadono direttamente ed esclusivamente sull'autore della presente tesi, non su terzi o sull'Università di Padova. L'autore dichiara di non avere alcun interesse finanziario.

In conclusione, come già anticipato nella Premessa, le eterogeneità sembrano influenzare la *competizione* dei singoli rami di drenaggio, ovvero lì dove piove di più nel corso del tempo, un canale ha più probabilità di formarsi rispetto uno, che, per effetto del *caso* si trova costretto a nascere in una zona nella quale mediamente, nello stesso tempo, piove molto meno.

Quindi nelle reti fluviali, oltre al *caso* (insito nell'algoritmo di Metropolis nella scelta casuale dei collegamenti tra i nodi-pixel) e alla *necessità* di massimizzare l'energia globale, quindi minimizzando quella dissipata al fine di tendere all'efficienza totale nel trasporto dell'acqua e dei sedimenti (anche di altre forme di materia organica ed inorganica, e/o di sostanze viventi?), agisce anche la *competizione* dei costituenti la rete stessa, ossia i canali di drenaggio, in funzione delle eterogeneità, geologiche e nella precipitazione in modo primario.

Necessità e Competizione sembrano quindi i concetti unitamente insiti nella parola *Auto-Organizzazione*, la quale assieme al *Caso*, regola il comportamento dei bacini fluviali, così come già ben sintetizzato nel titolo "*Fractal River Basins, Chance and Self Organization*" del libro degli autori della teoria, Rodriguez-Iturbe, Rinaldo e Rigon.

Si può poi complicare il modello considerando altre fonti di eterogeneità (o meglio tentando di emulare sempre più fedelmente la realtà), ad esempio la vegetazione come specie e come loro distribuzione nel bacino, ed il clima con le sue variazioni naturali e antropiche.

Certo è che tutte queste eterogeneità sono correlate da dei cicli, tipicamente con *feedbacks*, ad esempio il clima detta la distribuzione e l'intensità della precipitazione, quest'ultima influenza la distribuzione della vegetazione ed i suoli, i quali però sono a loro volta correlati, infine i flussi energetici e di massa costituiscono gli scambi tra superficie ed atmosfera.

*E' evidente come tale modello sia dal punto di vista computazionale estremamente gravoso, inoltre porterebbe quasi certamente alle stesse conclusioni del modello semplice ed originario delle OCNs, poichè da una parte gli effetti delle eterogeneità sommate tra loro si attenuano (così come nella meccanica dei materiali un mezzo totalmente anisotropo è ben schematizzabile con un equivalente modello isotropo), dall'altra lo studio della Fisica delle Reti Complesse ha come obiettivo la comprensione della forma delle reti, associata alla loro funzione, non la ricerca e l'analisi dettagliata dei processi di *micro e meso scala*.

Il modello dei bacini fluviali frattali, quindi delle OCNs, è infatti un modello di macroscale, così come tutti i modelli di reti studiate dall'emergente Scienza della Complessità. La teoria delle OCNs non dice nulla ad esempio riguardo i profili idraulici in ogni sezione del canale o la pezzatura media in ogni tronco dei sedimenti trasportati.

Poi da tali modelli generali si può passare ad analisi più dettagliate delle loro componenti, ad esempio analisi "di nicchia" della flora presente in una parte del bacino.

Recenti studi [*Caylor et. al.*, 2005; *Porporato e Rodriguez-Iturbe*, 2005], supportati anche da test in ambienti semiaridi [*D'Odorico et. al.*, 2006, 2005; *Albertson et. al.*, 2006], hanno anche dimostrato una ottimalità nella distribuzione della vegetazione, dello stato stazionario dell'umidità dei suoli, degli stati di "water-stress" nelle piante, e dei flussi idrologici ad esempio la traspirazione, a scala di bacino, quindi sempre a livello globale o di macroscale. Tale distribuzione rispecchia il carattere auto-affine delle reti fluviali insite nel bacino stesso, similarità tra tutti i bacini, e auto-organizzazione.

Sorprendentemente la biodiversità e le caratteristiche geofisiche dei bacini sembrano invarianti; tuttavia tale settore, l'ecoidrologia, è ancora in fase di pieno sviluppo, quindi molte dinamiche devono ancora essere ben comprese [*Porporato et. al.*, 2002, *Eagleson*, 2000].

Le nicchie locali sono molto influenzabili e modificabili da forme di disturbo esterne, mentre le proprietà di scala globali rimangono inalterate.

Gli esponenti universali variano di molto poco, rispetto quelli del modello originario ad iniezione costante, perchè descrivono le proprietà globali della rete, influenzate esclusivamente dal vincolo della forma geometrica del bacino nel piano. Le aree occupate da canali sono evidentemente quelle più efficienti dal punto di vista della produzione e trasporto di sedimenti, nonché per il trasporto dell'acqua se si considera favorevole la sua maggiore celerità quando si trova in "stato-canale" rispetto il suo "stato-versante".

In definitiva le OCNs uniformi sono un ottimo modello per catturare le proprietà globali delle reti fluviali.

*”Every day is a good day. You need rain, you need sun, wind to blow things
around. Every day is a good day”*

Slow Turtle, supreme medicine man,
Mashpee Wampanoag Indians (Massachusetts, USA)