

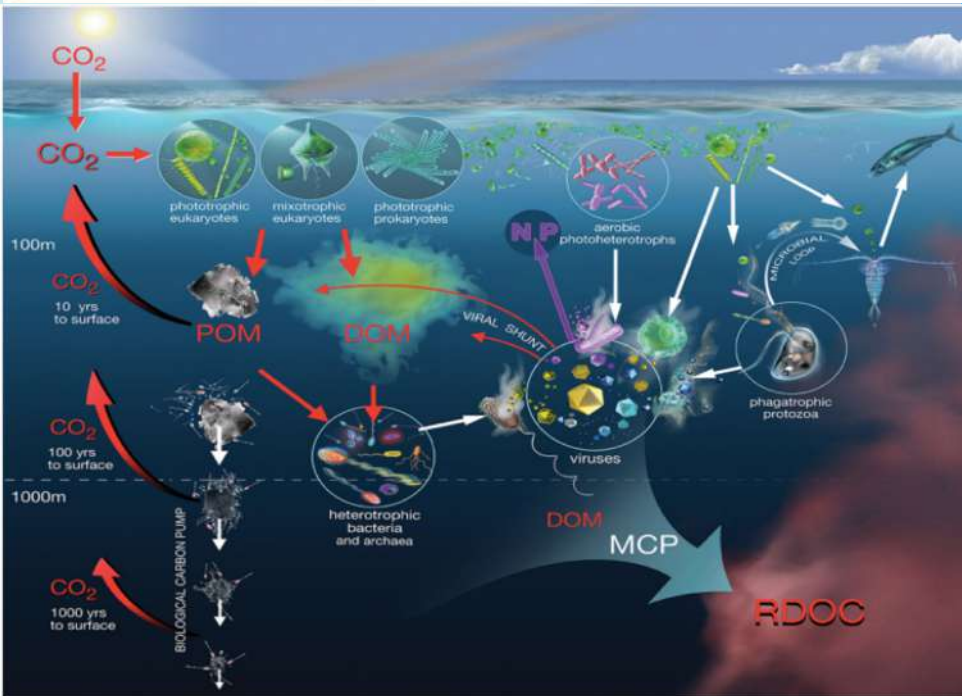
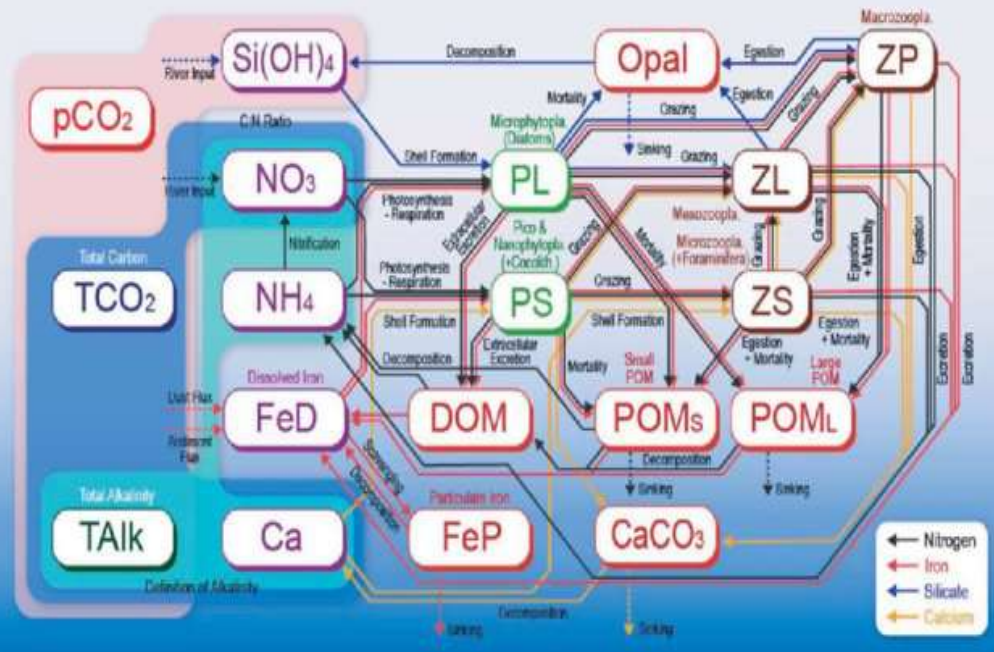
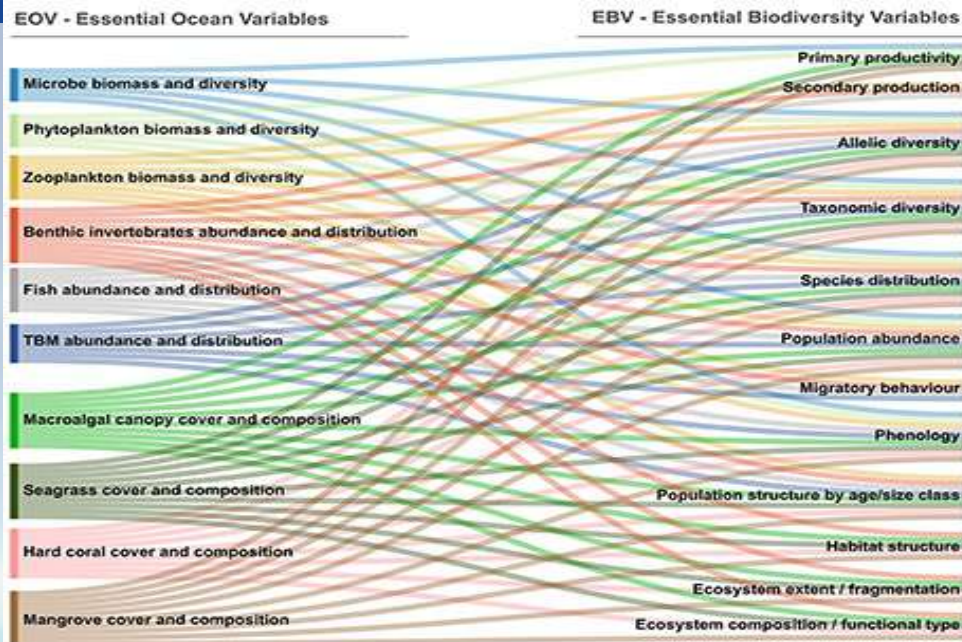
Università degli Studi di Trieste – a.a. 2022-2023
Corso di Studio in Scienze e Tecnologie per L'ambiente e la Natura

213SM – Ecologia
213SM-3 – Ecologia Generale

RESILIENZA E STABILITA'

Prof. Stanislao Bevilacqua (sbevilacqua@units.it)

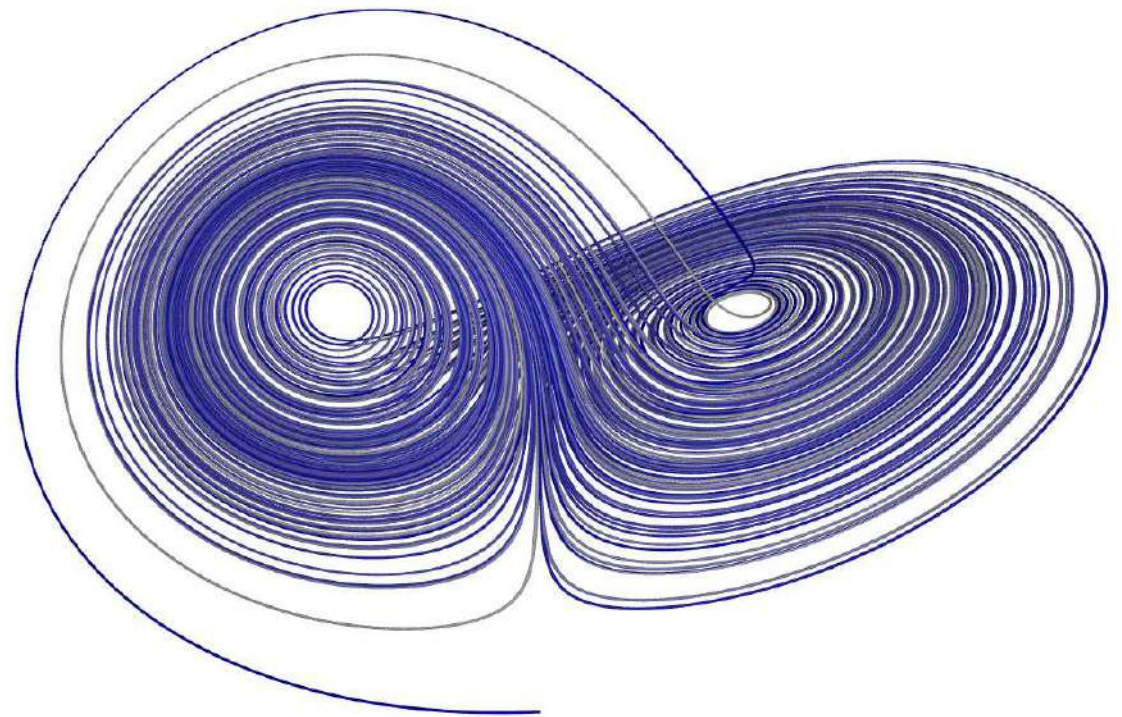
Gli ecosistemi come sistemi complessi



Gli ecosistemi sono entità complesse. Questa complessità deriva dall'elevato numero di componenti (**fattori abiotici e biologici**) e dalle conseguenti **interrelazioni** all'interno dei comparti e tra comparti (predazione, competizione, mutualismo, parassitismo, decomposizione, ciclo degli elementi e riciclo della materia).

...e caotici

Gli ecosistemi possono essere assimilati a sistemi **caotici**, **deterministici**, cioè sistemi regolati da leggi **causa-effetto** che però determinano andamenti non distinguibili da comportamenti casuali, e quindi scarsamente prevedibili nel lungo termine. Questi sistemi sono sensibili alle **condizioni iniziali**, per cui piccole variazioni che intervengono in un dato momento possono causare grandi divergenze nello stato del sistema in futuro. Inoltre, lo stato può transitare nello spazio di esistenza del sistema in modo imprevedibile condensandosi nell'ambito di un nuovo bacino di attrazione.

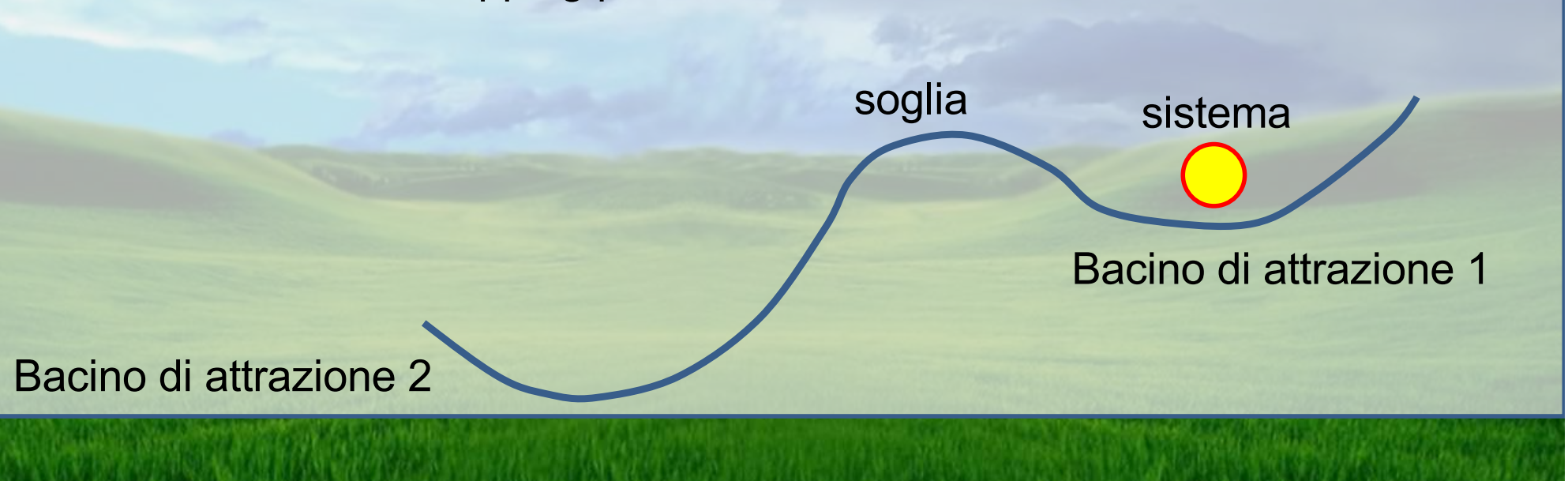


Lo stato del sistema

Definiamo come *attrattore* il regime dinamico al quale un ecosistema converge sotto condizioni ambientali stabili. Il sistema si troverà all'interno di un bacino di attrazione che corrisponde all'intervallo di condizioni, struttura e funzioni che connotano il sistema in quel determinato stato dinamico.

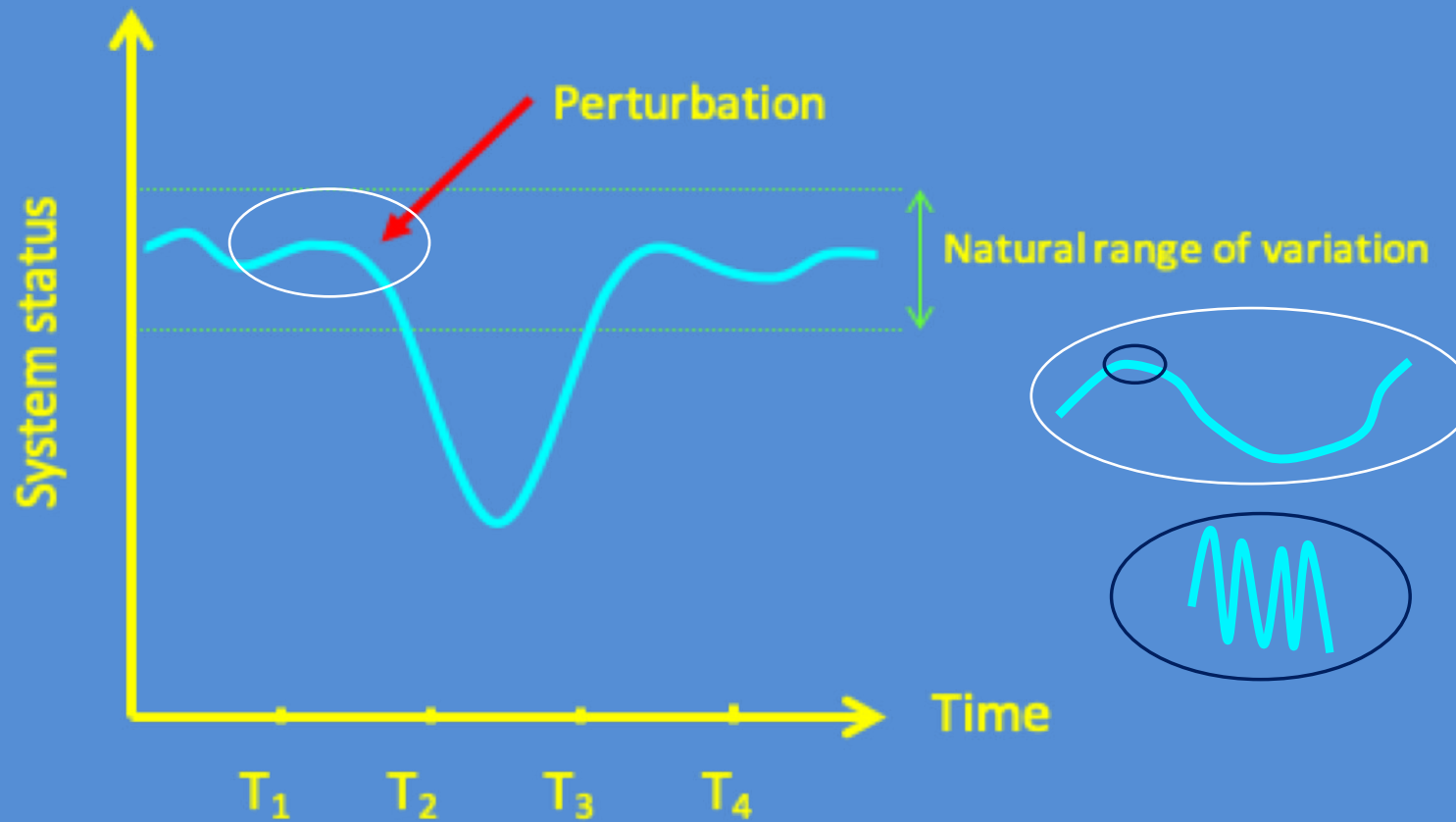
Vi sono differenti attrattori ai quali un sistema può convergere, i quali definiscono uno stato differente del sistema.

Le soglie critiche sono i punti che delimitano il passaggio tra stati alternativi, attraverso le quali il sistema transita da un bacino di attrazione ad un altro. Questi sono noti come tipping points o biforcazioni.



Perturbazione

In generale, una perturbazione è una qualsiasi interferenza con i processi e/o la struttura di un sistema (o di una sua componente) causata da un agente di disturbo. La perturbazione è quindi un cambiamento nello stato del sistema che vada oltre il naturale intervallo di variazione del sistema.



Origine delle perturbazioni



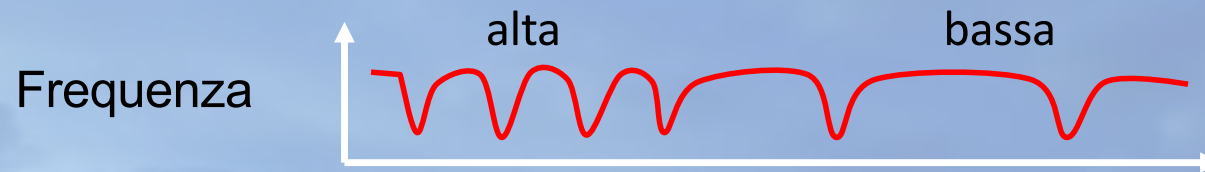
Perturbazioni dovute a cambiamenti nell'ambiente fisico e chimico. Ad esempio cambiamenti nel regime sedimentario, o nell'andamento delle temperature o del regime pluviometrico.



Perturbazioni di origine biologica, dovute ad esempio all'introduzione di specie aliene o al dilagare di patologie, o anche all'aumento di popolazioni di predatori.

Natura delle perturbazioni

Ampiezza, direzione e persistenza della perturbazione dipendono dall'intensità, frequenza, estensione spaziale e tipo di disturbo.



I tratti degli organismi che compongono il sistema sono importantissimi per determinarne la capacità di assorbire la perturbazione e recuperare.



Resilienza e resistenza classica

Resilienza: la capacità di un sistema di recuperare lo stato iniziale in seguito ad una perturbazione.

Resistenza: capacità di opporsi alla perturbazione.



Comunità resistenti sono meno sensibili al disturbo entro certi livelli, ma una volta perturbate impiegano moltissimo tempo a recuperare. Comunità resilienti, invece, sono più esposte alle perturbazioni, ma recuperano velocemente anche dopo un forte disturbo.

Resilienza, resistenza e stabilità

Resilienza: la capacità di un sistema di assorbire il disturbo e i suoi effetti, e riorganizzarsi durante il cambiamento in modo da mantenere essenzialmente invariate struttura, funzione, e processi.

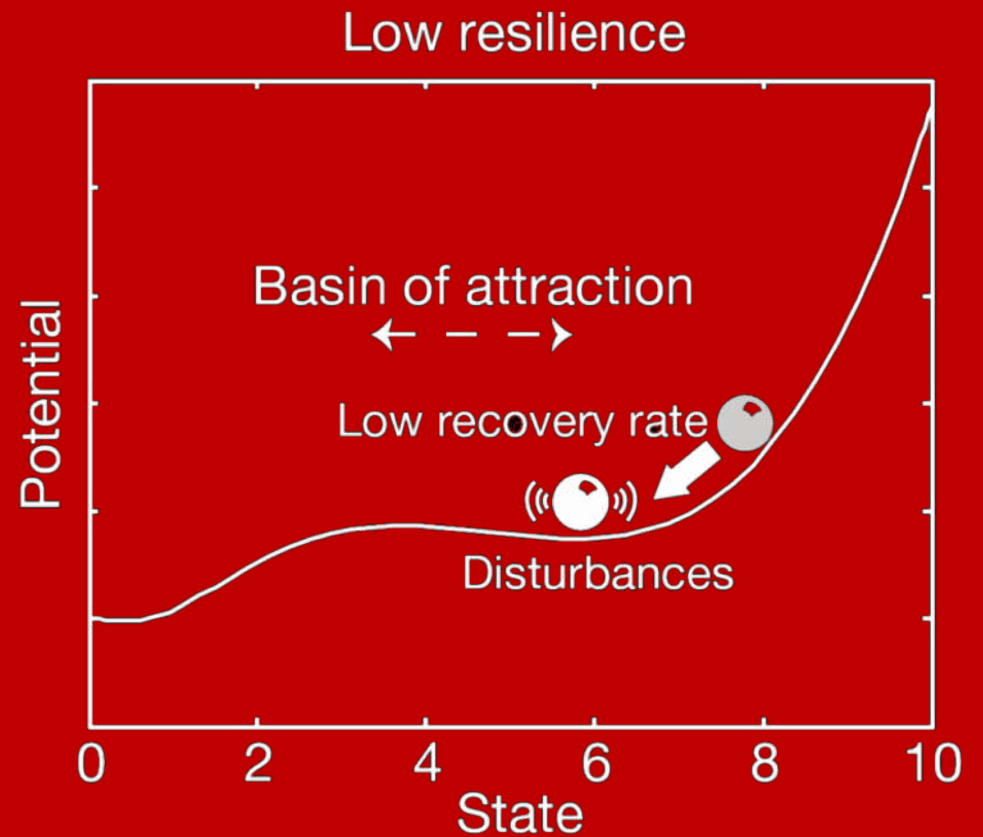
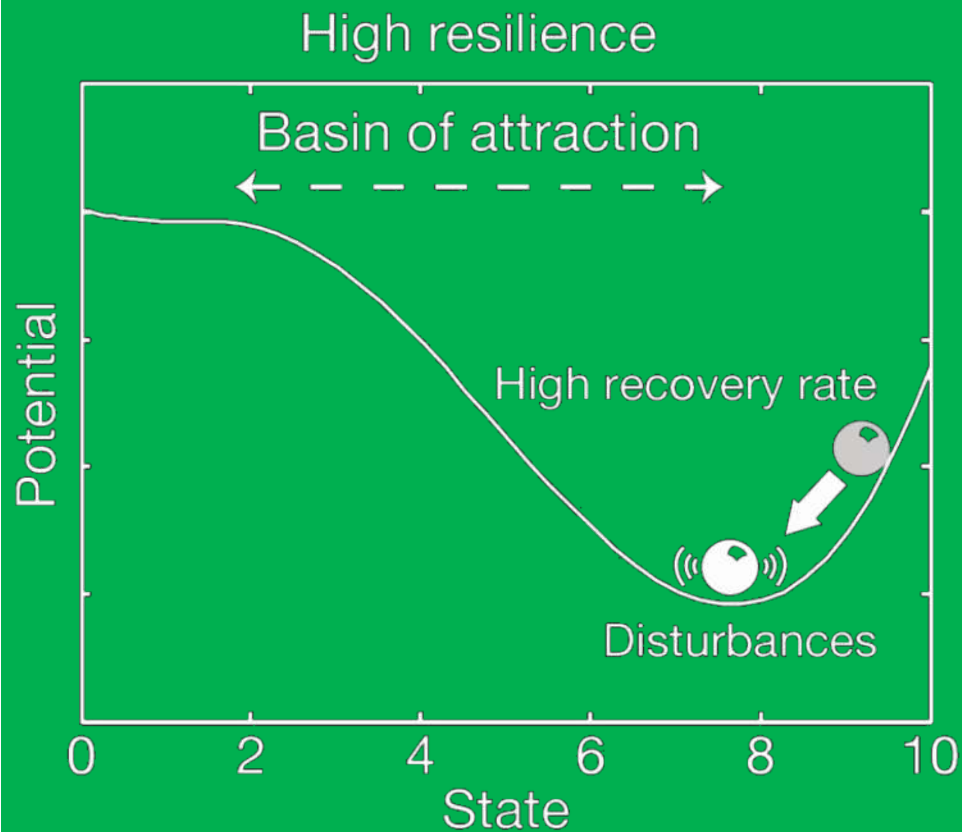
1) Resistenza: è una componente della resilienza che identifica l'opposizione del sistema a subire uno spostamento all'interno del suo bacino di attrazione come conseguenza di un disturbo.

2) Recupero: è una componente della resilienza che identifica la capacità di un sistema di ritornare allo stato antecedente alla perturbazione.

Dal potenziale di resilienza del sistema dipende la sua **stabilità**, cioè la sua capacità di mantenersi integro, e cioè mantenere la sua peculiarità in termini di struttura, funzioni e processi.

Stabilità

Scheffer et al., 2009



Stabilità decrescente

Cambiamenti di regime

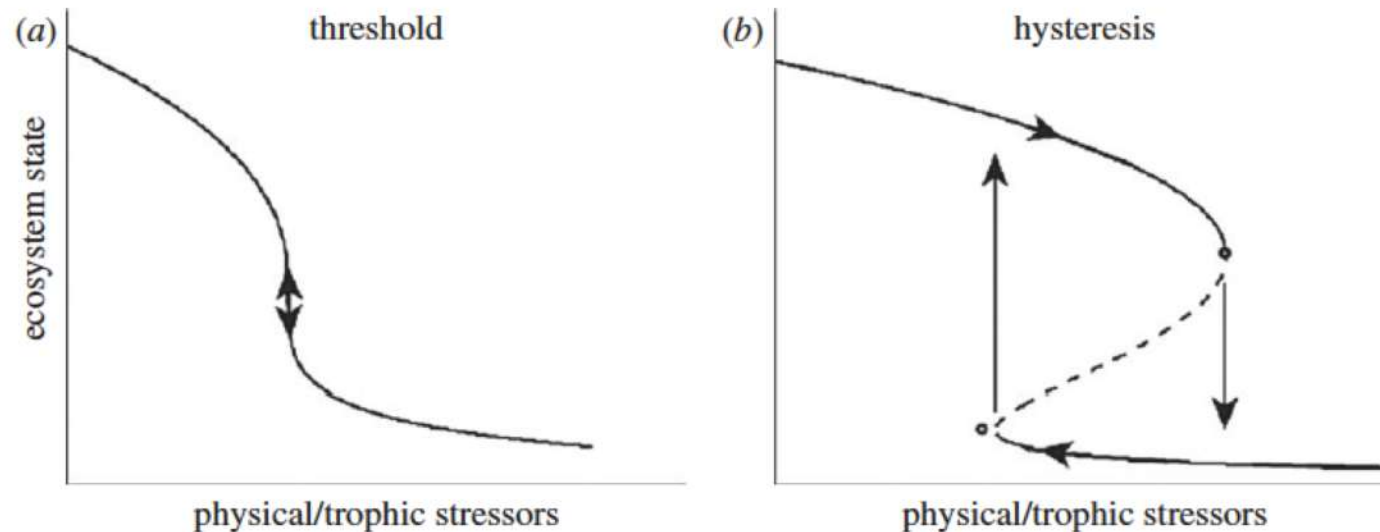
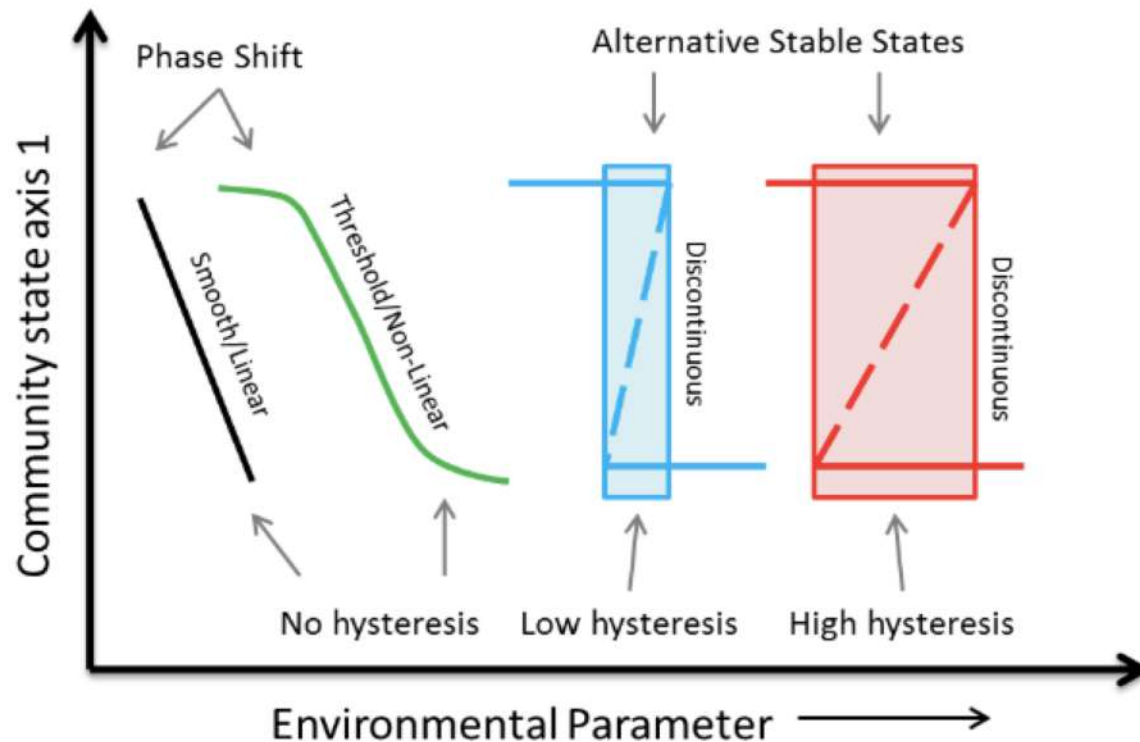


Figure 1. Examples of regime shift. Two different responses are shown, one without (a), and the other with hysteresis (b), both of which are encompassed by our working definition of regime shifts (adapted from [5]).

I cambiamenti di regime, o di fase (regime shift o phase shift), sono delle modifiche sostanziali e relativamente repentine nello stato del sistema che coinvolgono, quindi, numerose variabili che lo caratterizzano. In pratica si tratta di un passaggio da uno stato ad un altro. Quando il passaggio coinvolge il transito oltre una soglia, si parla di transizione critica.

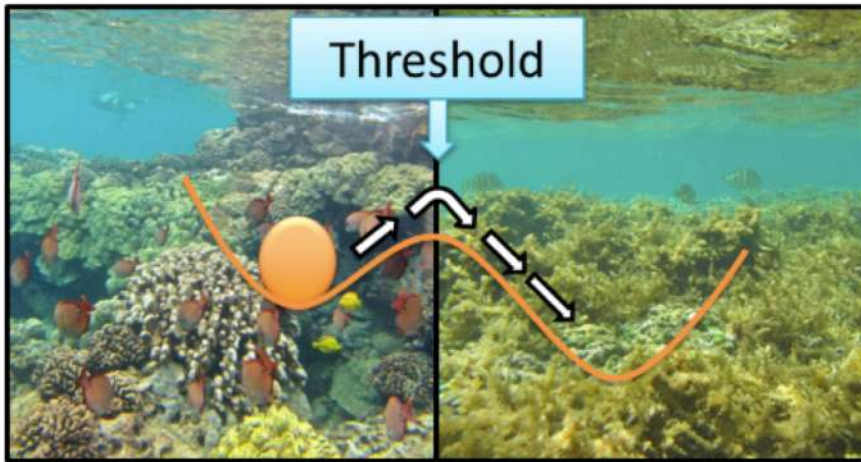
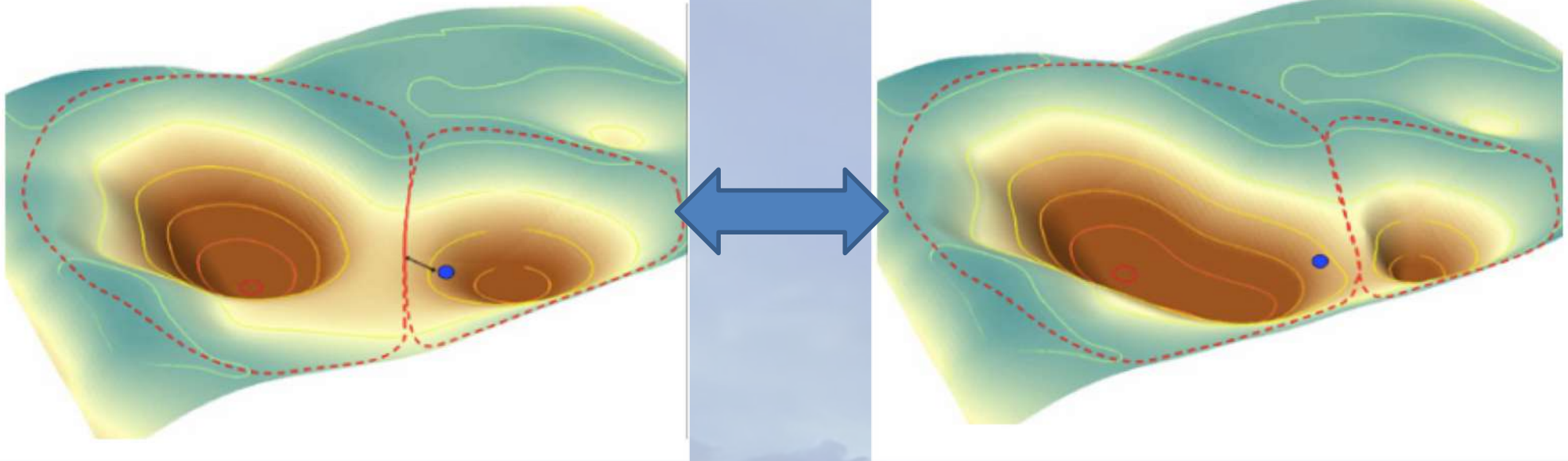
Cambiamenti di regime



Il cambiamento di stato può essere graduale, seguendo un andamento lineare o quasi-lineare al variare delle condizioni dell'ambiente. Oppure può attraversare una soglia, seguendo un andamento non lineare. In questo caso il cambiamento accelera in prossimità della soglia. In entrambi i casi l'andamento è continuo e non vi è isteresi.

In altri casi il cambiamento assume un andamento non lineare presentando **isteresi**. In pratica, il passaggio da uno stato all'altro segue conformazioni del sistema che non sono le stesse che si presentano durante il ritorno dallo stato post-perturbazione a quello pre-perturbazione. Questo succede quando per un dato insieme di condizioni esistono più stati possibili (*alternative stable states*).

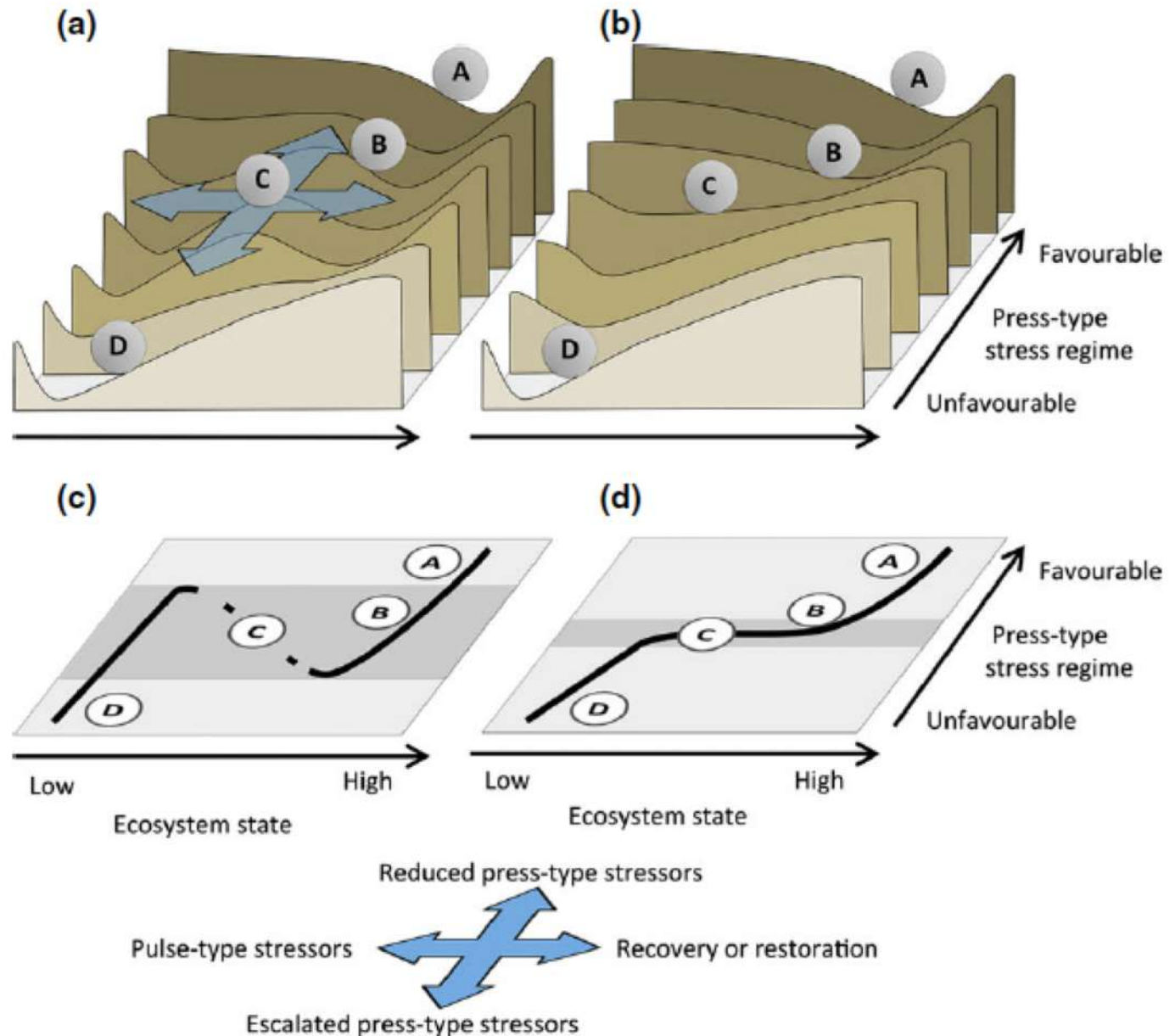
Cambiamenti di regime



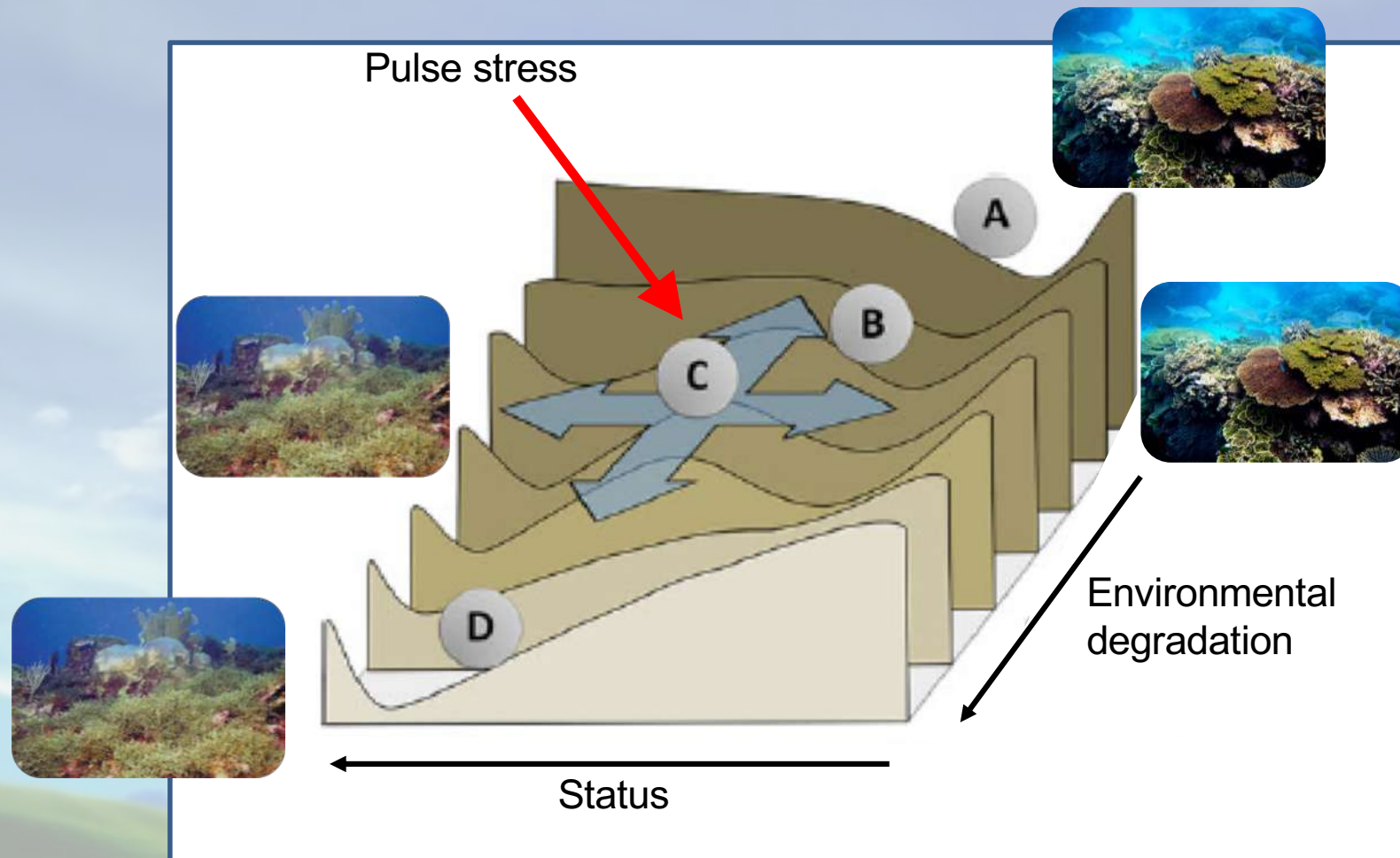
Variazioni nelle condizioni dell'ambiente possono portare a cambiamenti nel bacino d'attrazione, o modificare le soglie di transizione, rendendo il passaggio più probabile. Quando il potenziale di resilienza diminuisce, il sistema riuscirà a fatica a contrastare le perturbazioni e/o a recuperare, mentre il passaggio di stato sarà favorito.

Cambiamenti di regime

Due stati alternativi esistono. Lo stato A (buono) e D (degradato). Il deterioramento delle condizioni porta ad un equilibrio fragile in cui anche una piccola perturbazione può determinare uno shift. La biforcazione può mancare, e il sistema può gradualmente cambiare.

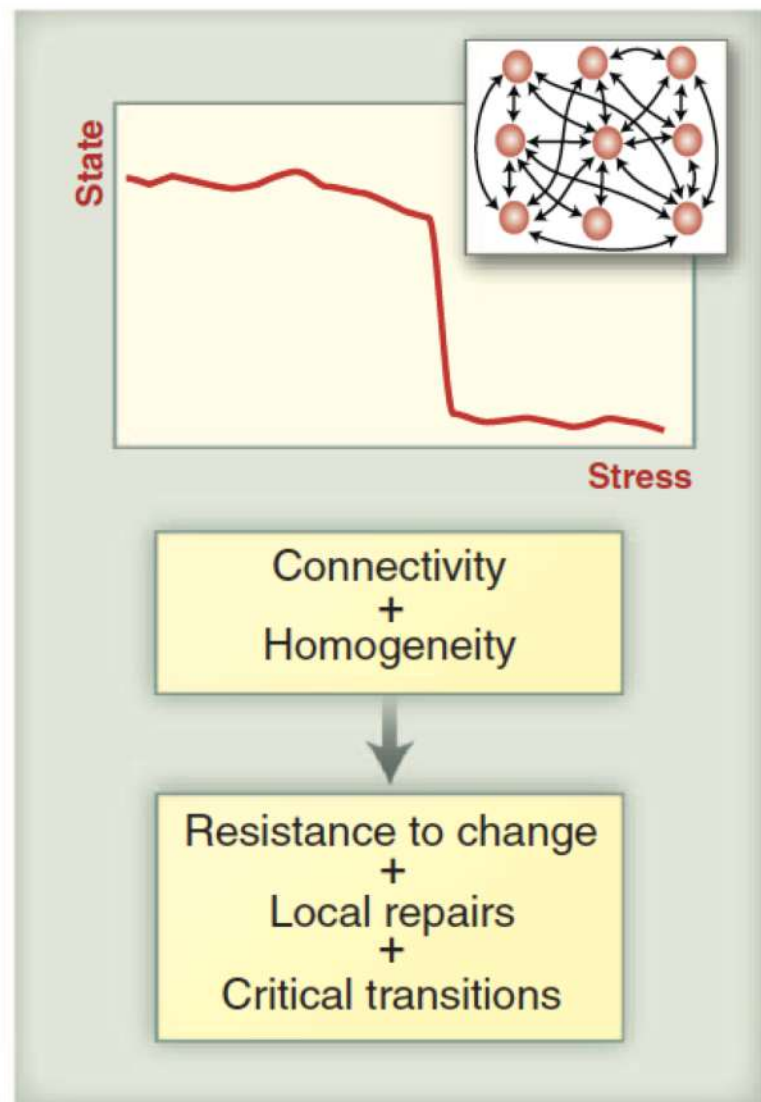
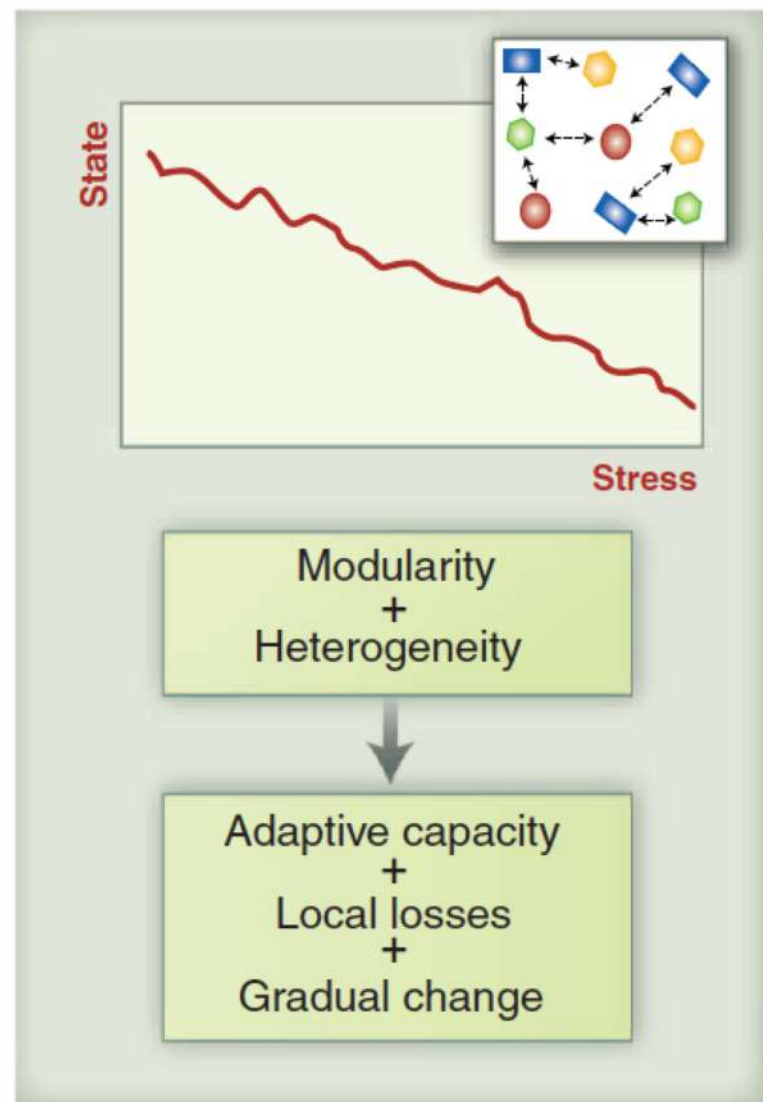


Regime shift



Se le condizioni per l'esistenza di un sistema in un determinato stato diventano sfavorevoli, il suo potenziale di resilienza viene compromesso. Per un certo range di condizioni, il sistema può esistere in stati alternativi stabili. Anche un evento perturbativo, che normalmente sarebbe assorbito, può causare uno shift del sistema in uno stato alternativo. Cessato l'evento, il sistema potrebbe non tornare allo stato originario (isteresi).

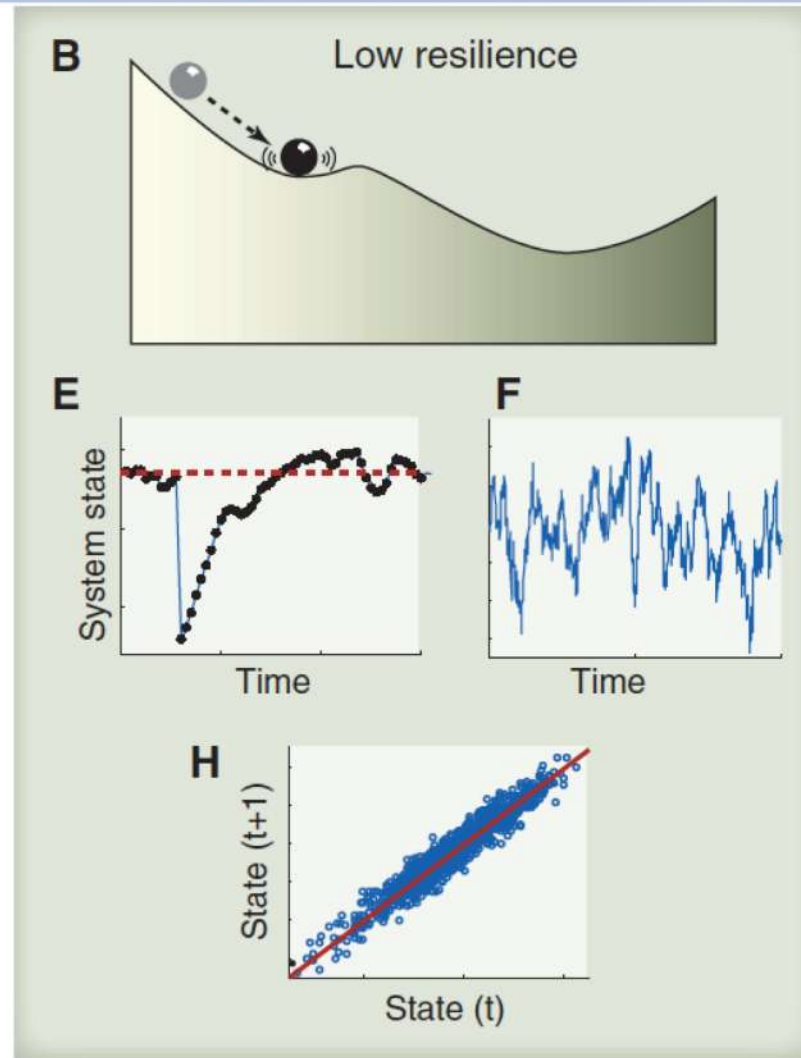
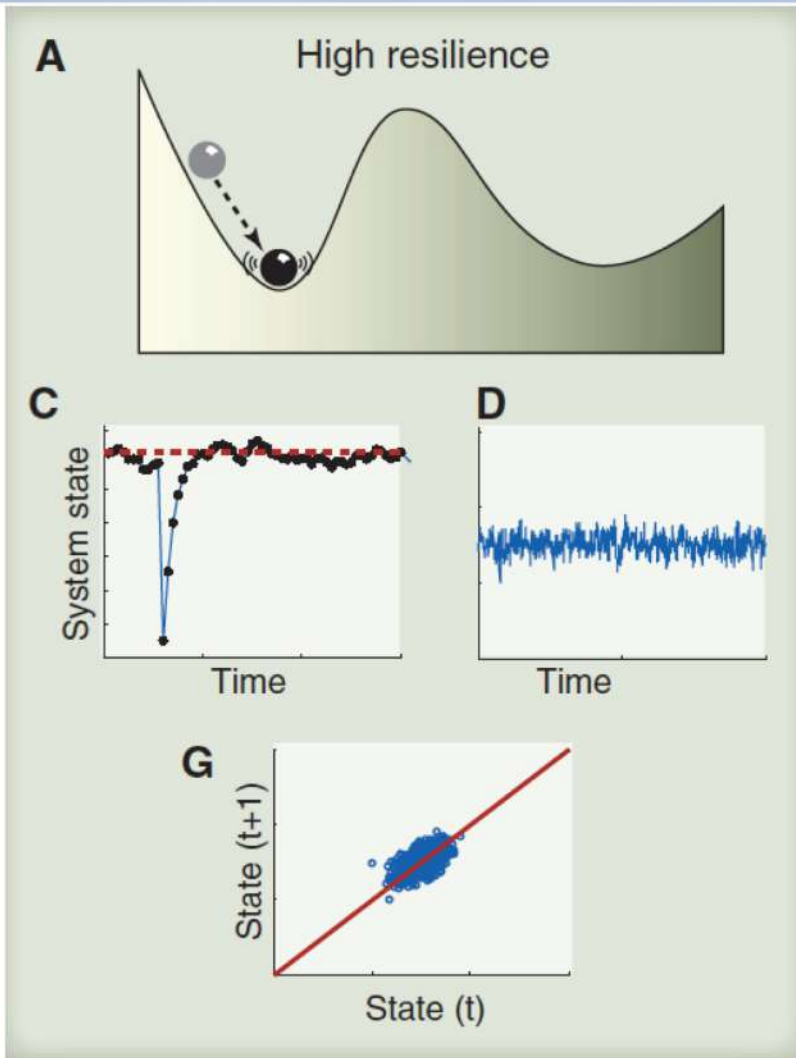
Fragilità



L'omogeneità interna del sistema e il grado di relazione tra le componenti determina il suo comportamento nei confronti delle perturbazioni. Sistemi in cui le componenti sono eterogenee e strutturate in compartimenti tendono ad adattarsi al gradualmente al cambiamento.

Al contrario, sistemi omogenei con un alto grado di interconnessione tra le componenti sono in grado di fronteggiare rapidamente le perturbazioni entro certi limiti, oltre i quali collassano.

Segnali che anticipano la transizione



Scheffer et al 2012

Rallentamento del recupero

Autocorrelazione

Aumento della varianza

Flickering

Regime shifts: Archipelago delle Aleutine



Kelp forest



Barrens



Periodo di riscaldamento alla fine degli anni 70. Diminuzione della produzione fitoplanctonica e, di conseguenza, della produzione zooplanctonica. Conseguenze (bottom-up) sulle aringhe e altri pesci planctonofagi. Riduzione dei leoni marini dovuta alla diminuzione delle risorse ittiche. Sovrappesca contribuisce a ridurre gli stock ittici, depauperando ancora di più le risorse per i leoni marini e foche. Riduzione quindi delle prede preferenziali delle orche, che si spingono sotto costa cominciando a predare le lontre marine. Rilascio predatorio sulle popolazioni di ricci (top-down) che aumentano sproporzionatamente, con conseguente aumento della pressione di pascolo sulle foreste di kelp, che infine collassano.

Regime shifts: Lago d'Aral



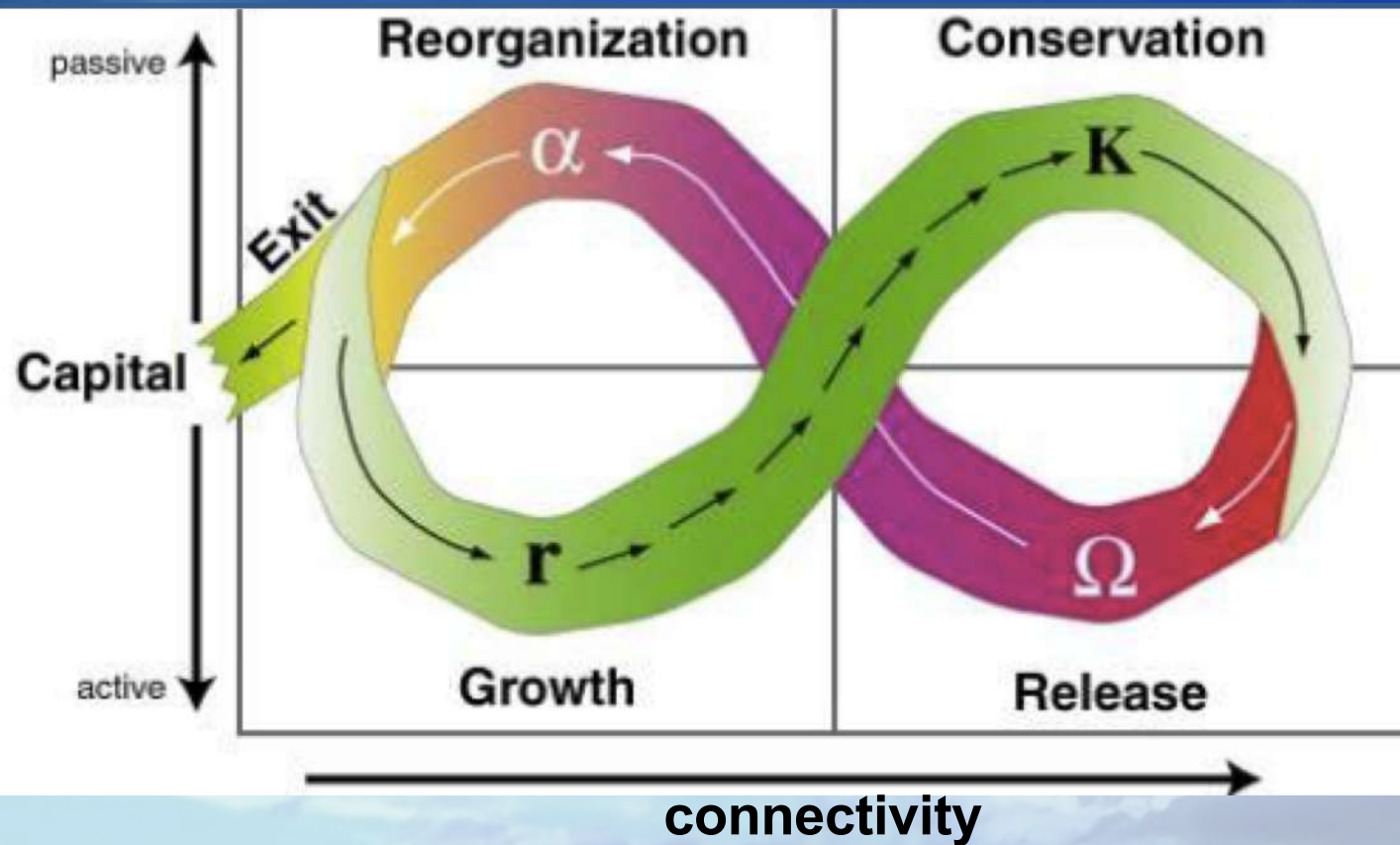
Il lago d'Aral, situato a ovest del Mar Caspio, era il quarto lago più grande del pianeta.

A partire dagli anni '60, la deviazione e prelievo di acqua dai fiumi immissari, e l'intenso utilizzo di acqua per le coltivazioni ha portato alla diminuzione crescente del rifornimento idrico al lago.



Questo, unito al riscaldamento globale ha portato ad un riduzione drastica del livello d'acqua nel lago, incremento della salinità, e conseguente collasso dell'ecosistema lacustre e di tutte le attività socio-economiche associate (pesca, trasporto, turismo). Tentativi di ripristino sono in atto, ma il ritorno alle condizioni precedenti potrebbe essere difficilmente attuabile.

Ciclo di Holling

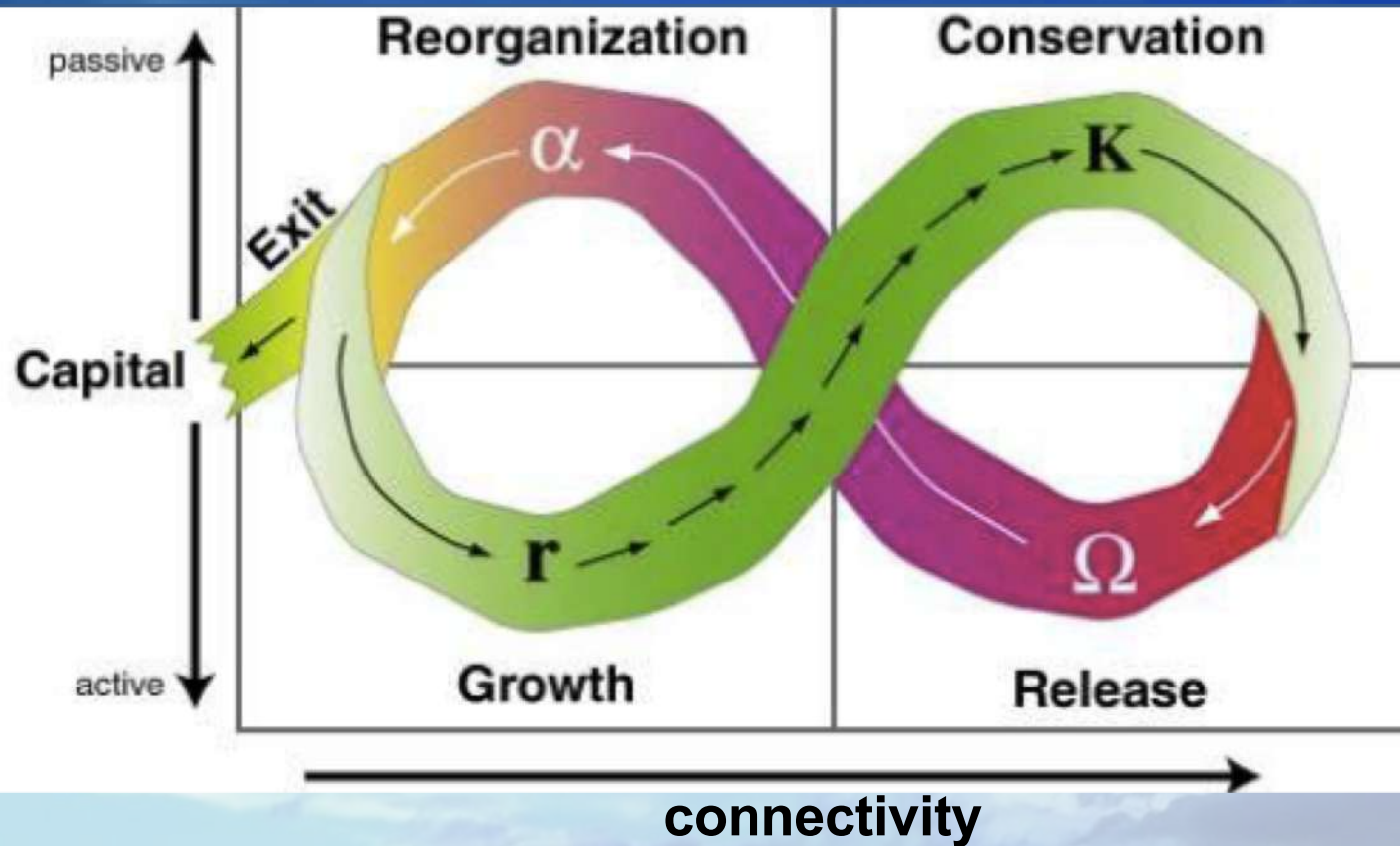


Gunderson e Holling, 2002

Schematizza il ciclo adattativo di un sistema all'interno del bacino di attrazione

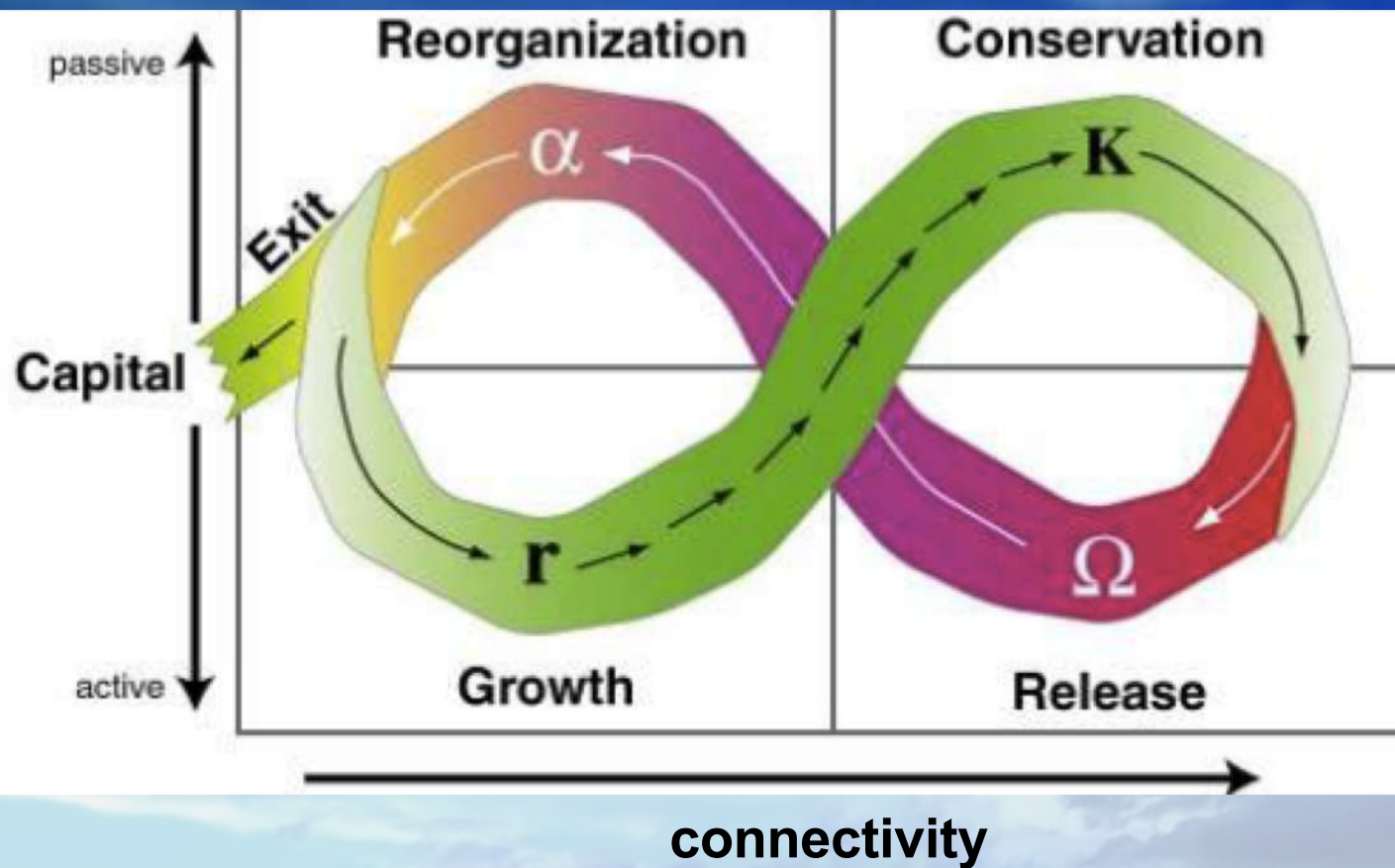
1. Fase di crescita
2. Fase di conservazione
3. Fase di rilascio
4. Fase di riorganizzazione

Crescita



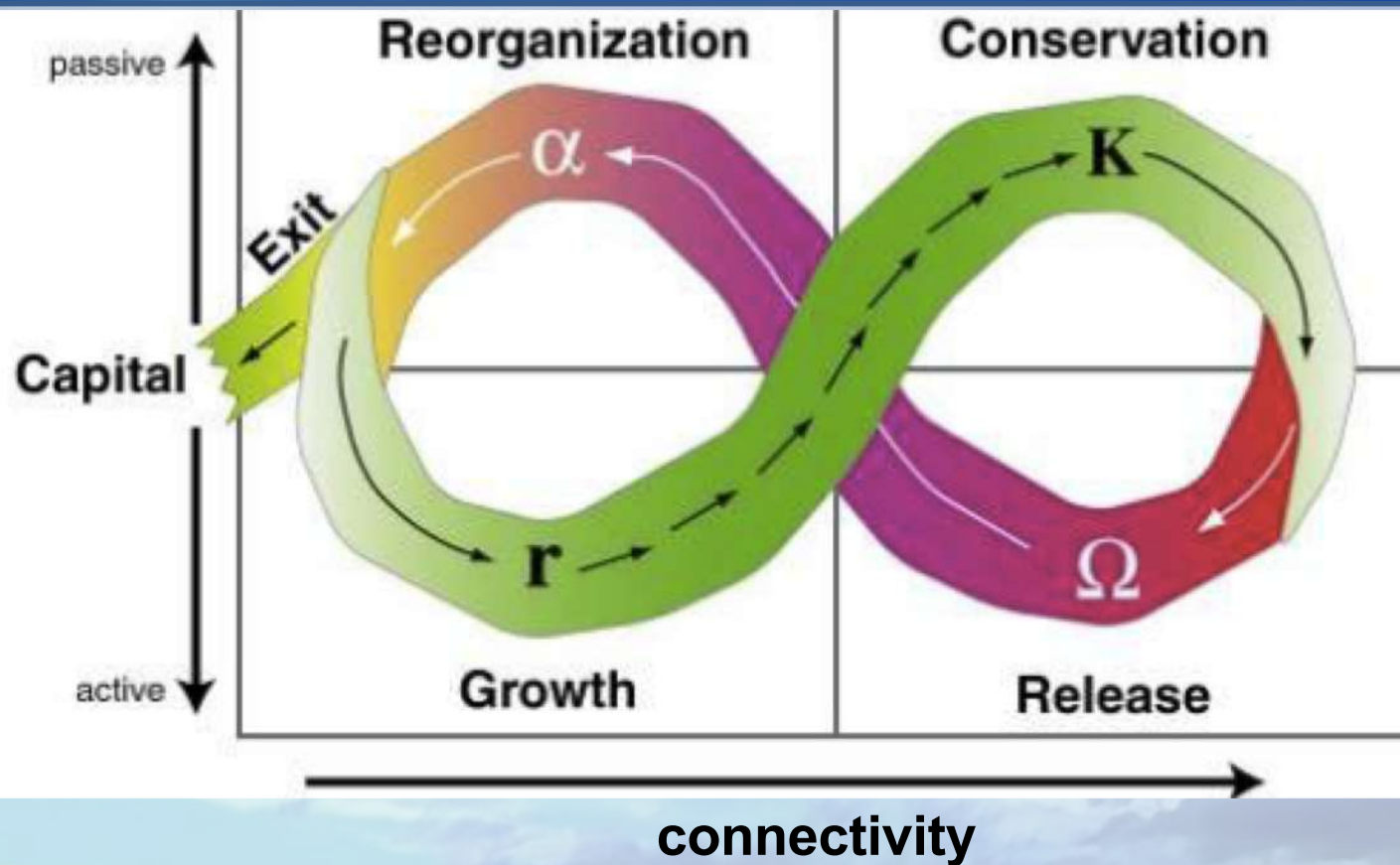
Crescita rapida caratterizzata da specie r , le risorse in questa fase sono scarsamente capitalizzate e disponibili per l'espansione. Le relazioni tra specie sono limitate. In questa fase il sistema si forma e si struttura.

Conservazione



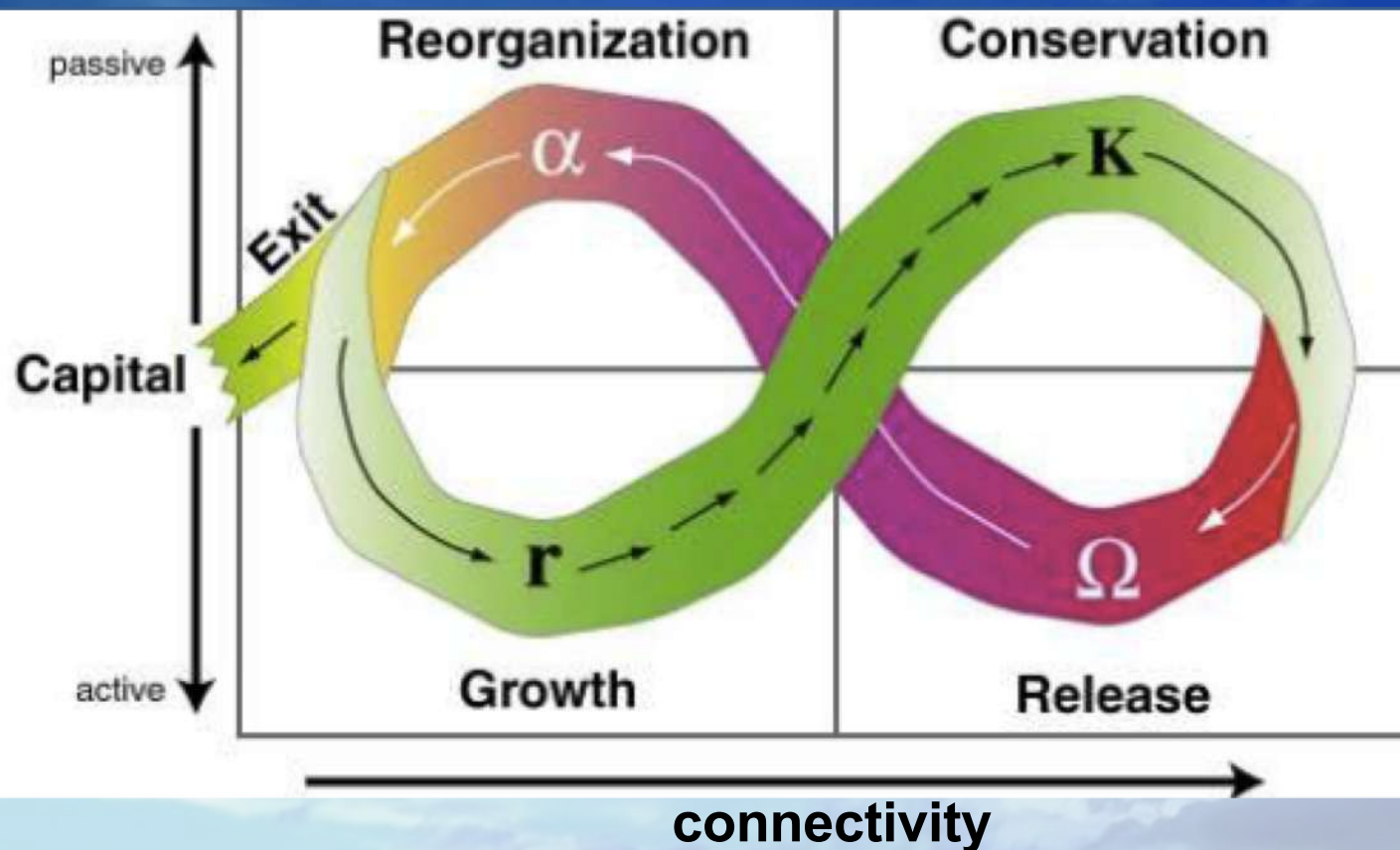
Fase di conservazione dello stato, caratterizzata da specie k . Le risorse sono capitalizzate nella struttura. Le relazioni tra le specie sono strette e ben strutturate. Elevata specializzazione e tendenza alla conservazione delle funzioni.

Rilascio



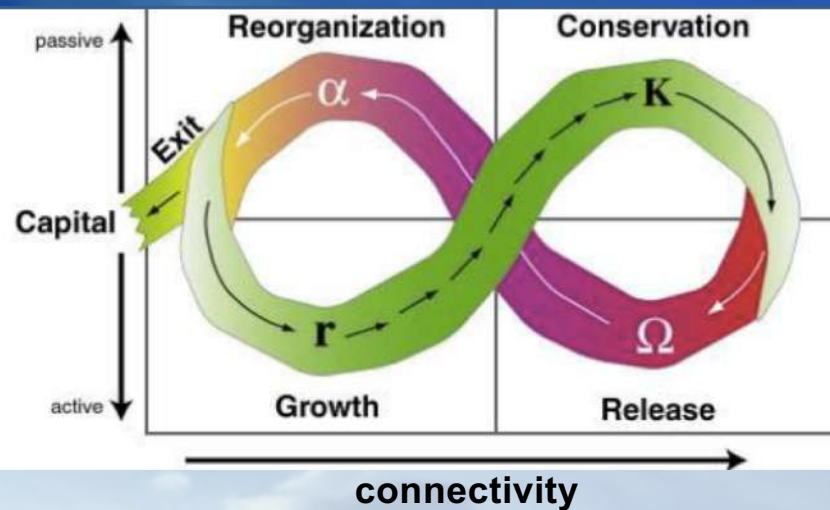
In seguito ad una perturbazione il sistema viene destabilizzato. Le risorse vengono rilasciate e rese nuovamente disponibili. Le connessioni tra le specie cominciano a sfaldarsi.

Riorganizzazione



Le risorse sono disponibili per riorganizzare il sistema e per recuperare la struttura e il funzionamento originari passando attraverso una nuova fase di crescita. Se la perturbazione è stata tale da cambiare drasticamente il sistema esso può transitare verso un nuovo stato.

Ciclo di Holling



Una perturbazione sposta il sistema all'interno del bacino di attrazione (omega). Dopo l'evento, le risorse, nuovamente disponibili, sono riutilizzate dal sistema per riorganizzarsi e recuperare il regime dinamico originario (alfa).

Il sistema evolve ricostituendosi (r) verso lo stato precedente stabile (K).

Se la perturbazione (o la variazione nelle condizioni) è drastica il sistema può transitare in un nuovo bacino di attrazione e ricominciare il ciclo

