



L'intelligenza biologica

Copyright N.A. Borghese Università di Milano 19/03/2003

<http://homes.dsi.unimi.it/~borghese>



Brains cause minds (J. Searle)

Copyright N.A. Borghese Università di Milano 19/03/2003

<http://homes.dsi.unimi.it/~borghese>

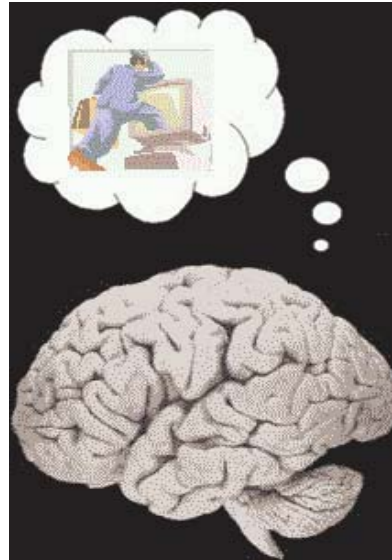


L'intelligenza biologica



Connessionismo cellulare (K. Wernicke and R. Cajal, fine 1800)

- I neuroni sono connessi tra loro in gruppi funzionali.
- Le connessioni sono in numero definito.
- Gruppi funzionali diversi danno origine a funzioni intellettive diverse.



Copyright N.A. Borghese Università di Milano 19/03/2003

<http://homes.dsi.unimi.it/~borghese>



Sommario



Il neurone, modelli di neurone ed i frattali.
Modelli connessionisti di neuroni e le reti neurali.
L'apprendimento con rinforzo.
Mappe e clustering.
Reti neurali con neuroni a base radiale.

La corteccia e le funzioni cognitive.
Il linguaggio.

Copyright N.A. Borghese Università di Milano 19/03/2003

<http://homes.dsi.unimi.it/~borghese>

Il neurone

Neurone piramidale CA1 Ippocampo

Neurone granulare Ippocampo

100 µm

100 µm

- Stazione elementare di elaborazione dell'informazione.
- Trasmissione di un segnale elettrico, originato da squilibri chimici controllati tra interno ed esterno.

Copyright N.A. Borghese Università di Milano 19/03/2003 <http://homes.dsi.unimi.it/~borghese>

Il neurone (modello funzionale)

Morfologicamente molto diversi, funzionalmente simili.

Nucleo

Sinapsi

Soma

Assone

Dendriti

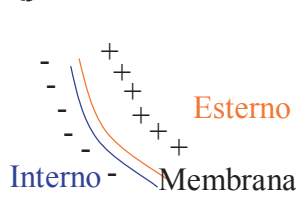
Colle dell'Assone

Dendriti: molti – input (da altri neuroni o recettori)
 Assone: singolo, si diparte dal colle dell'assone – output (verso altri neuroni o effettori)

Copyright N.A. Borghese Università di Milano 19/03/2003 <http://homes.dsi.unimi.it/~borghese>



L'informazione neurale



Ioni principali:

Na⁺ esterno >> Na⁺ interno

K⁺ esterno << K⁺ interno

Cl⁻ esterno >> Cl⁻ interno

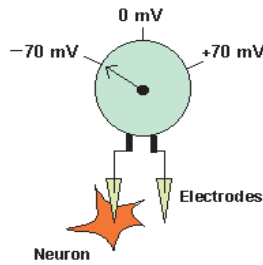
Due forze:

Diffusione (uguali concentrazioni)

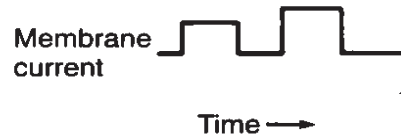
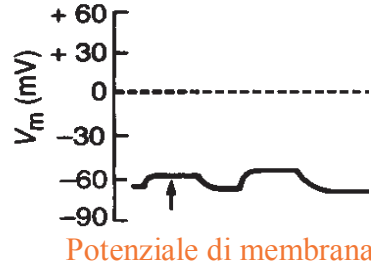
Potenziale (imposto esterno)

Canali con permeabilità diversa.

Copyright N.A. Borghese Università di Milano 19/03/2003



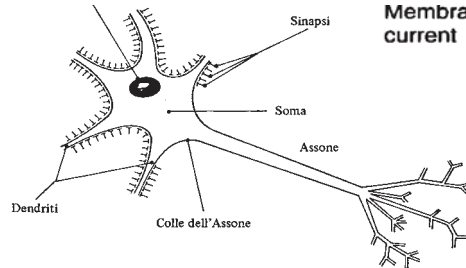
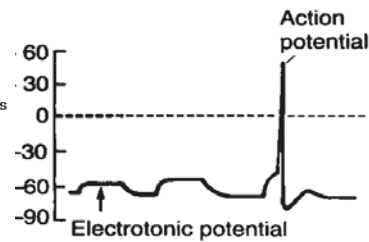
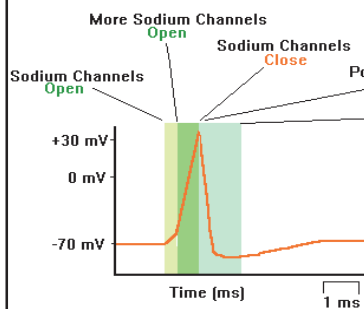
$$E_k = \frac{RT}{ZF} \ln \frac{[K^+]_o}{[K^+]_i}$$



iese



Il potenziale d'azione

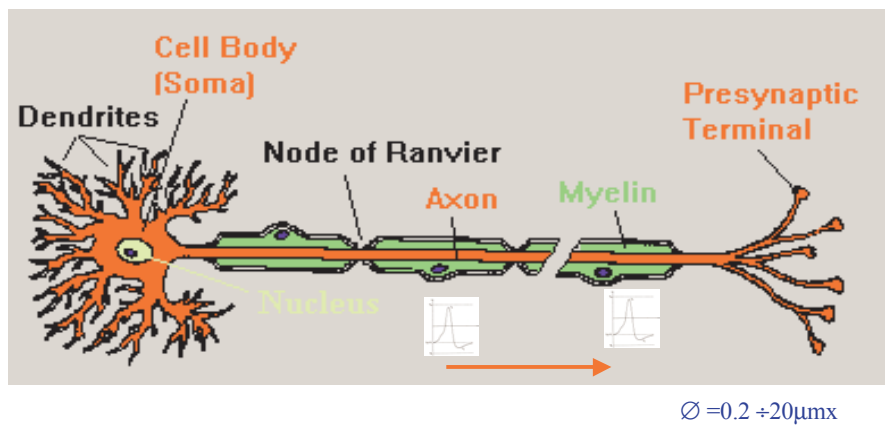


Copyright N.A. Borghese Università di Milano 19/03/2003

<http://homes.dsi.unimi.it/~borghese>



Propagazione del segnale neurale



Ripetizione del segnale ad ogni Nodo di Ranvier.

Copyright N.A. Borghese Università di Milano 19/03/2003

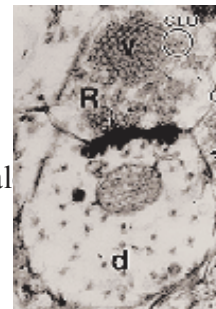
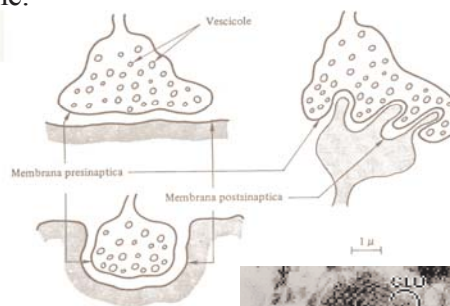
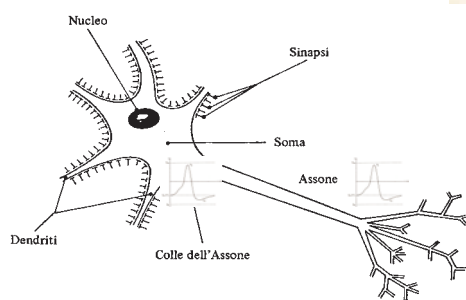
<http://homes.dsi.unimi.it/~borghese>



Le sinapsi



Sono l'interfaccia, la porta di I/O del neurone.



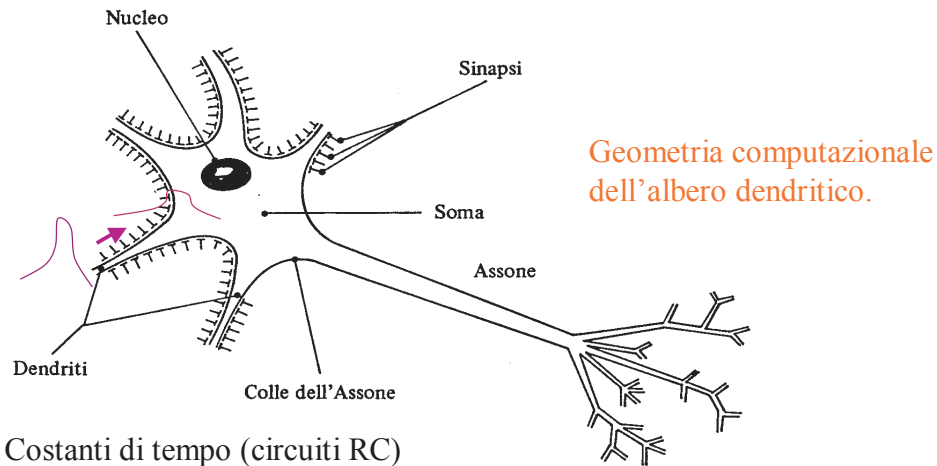
- Lo spike genera il rilascio di mediatori chimici.
- I mediatori chimici provocano una variazione di potenziale nella membrana post-sinaptica (variazione continua).
- Tempo di propagazione finito (0.5-1ms).

Copyright N.A. Borghese Università di Milano 19/03/2003

<http://homes.dsi.unimi.it/~borghese>



L'integrazione nel corpo cellulare



Costanti di tempo (circuiti RC)
Interazioni non-lineari
Sinapsi eccitatorie ed inibitorie

Integrazione spatio-temporale

Copyright N.A. Borghese Università di Milano 19/03/2003

<http://homes.dsi.unimi.it/~borghese>



Le cellule gliali



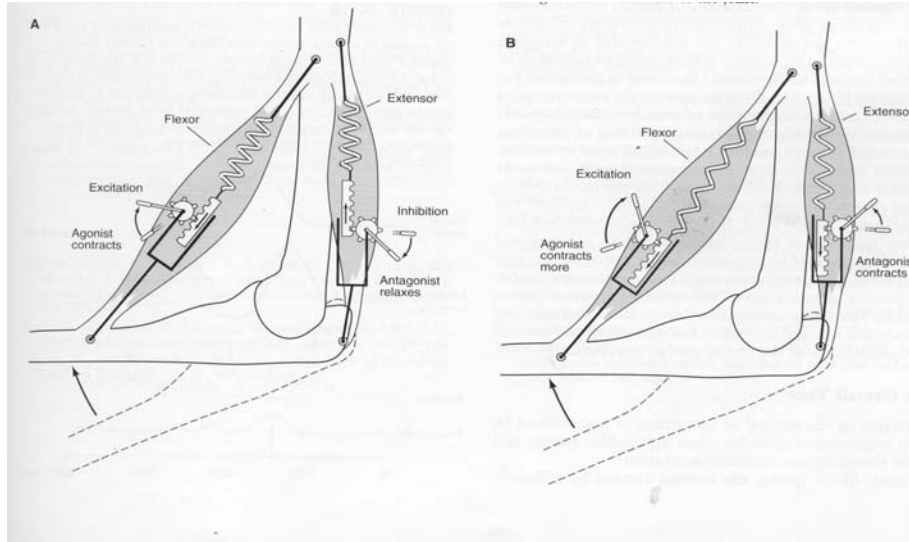
- Sono più rigide. Servono da elementi di supporto, da impalcatura, per posizionare neuroni ed assoni.
- Guidano la crescita dei neuroni durante lo sviluppo.
- Le cellule di Schwann (periferia) e gli oligodendrociti (cervello) formano la mielina.
- Alcune cellule gliali servono per mantenere la pulizia, ad esempio in seguito a fuoriuscita di materiale.

Copyright N.A. Borghese Università di Milano 19/03/2003

<http://homes.dsi.unimi.it/~borghese>



Muscoli antagonisti



Reciprocal innervation

Co-contraction

Copyright N.A. Borghese Università di Milano 19/03/2003

<http://homes.dsi.unimi.it/~borghese>



Esempio: il riflesso patellare

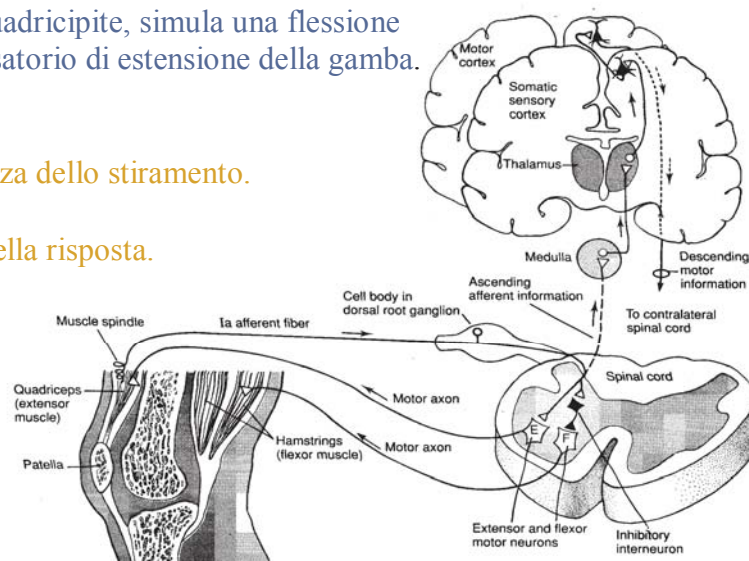


Stiramento del quadricipite, simula una flessione
Riflesso compensatorio di estensione della gamba.

Velocità e ampiezza dello stiramento.

Risposta motoria.

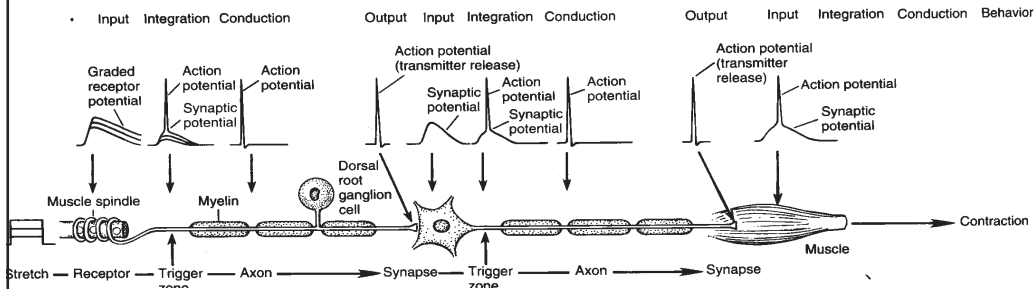
Coordinamento della risposta.



Copyright N.A.



Il segnale neurale nel riflesso patellare



1. Potenziale recettoriale. Graduato nello spazio e nel tempo.
2. Potenziale d'azione generabile al primo nodo di Ranvier.
3. Propagazione attiva dello spike.
4. Generazione di un potenziale post-sinaptico (graduato in spazio/tempo)
5. Generazione di uno spike nell'assone del neurone motorio.
6. Trasformazione dello spike in contrazione muscolare.

Copyright N.A. Borghese Università di Milano 19/03/2003

<http://homes.dsi.unimi.it/~borghese>



Caratteristiche del segnale neurale



Caratteristica	Potenziale recettoriale	Potenziale sinaptico	Potenziale d'azione (spike)
Ampiezza	Piccola (0.1-10mV)	Piccola (0.1-10mV)	Grande (70-110mV)
Durata	Breve (5-100ms)	Variabile (5ms-20m)	Breve (1-10ms)
Somma	Graduata	Graduata	Tutto/nulla
Segnale	Depolarizzazione o Iperpolarizzazione	Depolarizzazione o Iperpolarizzazione	Depolarizzazione
Propagazione	Passiva	Passiva	Attiva

Copyright N.A. Borghese Università di Milano 19/03/2003

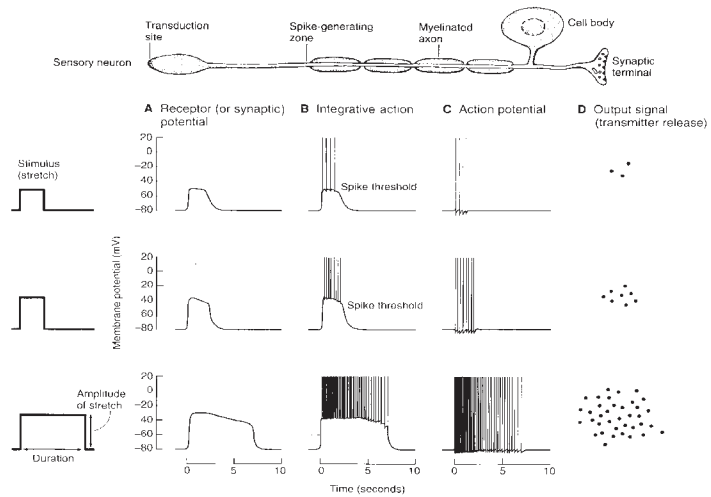
<http://homes.dsi.unimi.it/~borghese>



Aspetto temporale dell'attivazione neurale



La quantità di neurotrasmettitore dipende dallo "stato" dei due neuroni coinvolti.



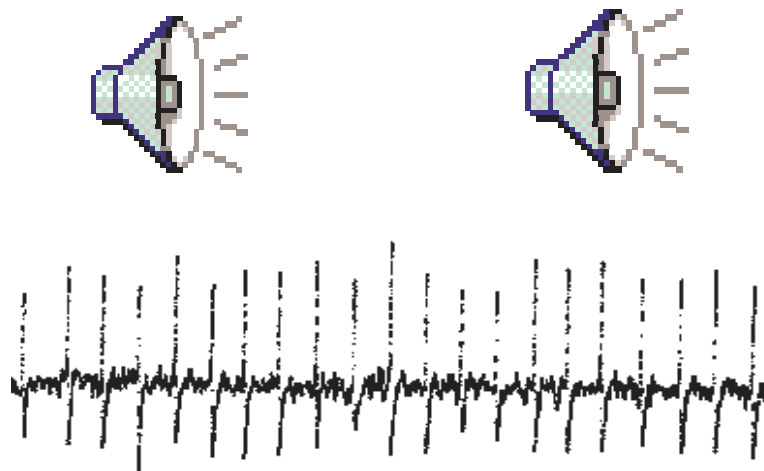
Frequenza di spike (spike/s) è la misura dell'attività di un neurone.

Copyright N.A. Borghese Università di Milano 19/03/2003

<http://homes.dsi.unimi.it/~borghese>



Il suono del neurone



Copyright N.A. Borghese Università di Milano 19/03/2003

<http://homes.dsi.unimi.it/~borghese>



Significato del segnale neurale



“... all impulses are very much alike, whether the message is destined to arouse the sensation of light, of touch, or of pain; if they are crowded together, the sensation is intense, if they are separated by long intervals, the sensation is correspondingly feeble” (Edgar Adrian, 1920).

Se i meccanismi di trasmissione sono stereotipati e quindi non riflettono le caratteristiche dello stimolo, come possono essere associati ad un significato particolare?

Il significato è determinato unicamente dalla posizione e dal cammino del segnale nei neuroni.



Il neurone: riassunto



- Il neurone è l'elemento di base del nostro SNC.
- E' costituito da un corpo cellulare, un assone ed albero di dendriti.
- Le connessioni tra un assone ed i dendriti sono le sinapsi.
- L'output di un neurone è un segnale elettrico tutto/niente (potenziale d'azione).
- Il potenziale d'azione provoca il rilascio di mediatori chimici (acetilcolina) nelle vescicole pre-sinaptiche.
- Queste provocano una variazione di potenziale nella membrana post-sinaptica.
- Le variazioni di potenziale di tutte le sinapsi di un dendrita vengono integrate (nello spazio-tempo).
- Se il risultante potenziale supera la soglia si genera un potenziale d'azione.
- L'informazione fornita dal neurone è nella frequenza degli spike.



Possibili approfondimenti



Elaborato su reti di spiking neurons:
capacità di calcolo ed applicazioni

Copyright N.A. Borghese Università di Milano 19/03/2003

<http://homes.dsi.unimi.it/~borghese>



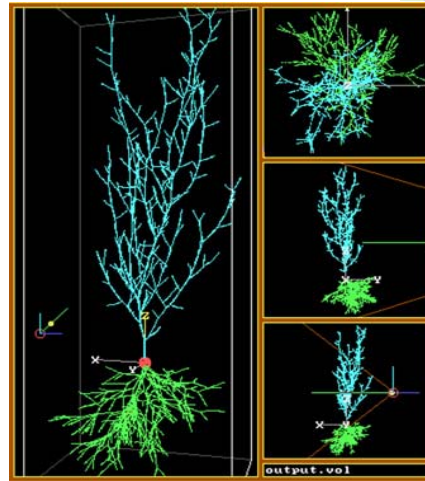
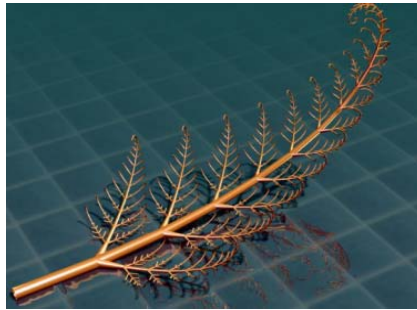
Modellazione dei neuroni

Copyright N.A. Borghese Università di Milano 19/03/2003

<http://homes.dsi.unimi.it/~borghese>



Modelli geometrici di neurone



L-systems (Aristid Lindenmayer, 1971).
Sono insieme di regole e simboli (chiamati anche “grammatica formale”) che modellizzano i processi di crescita.



Gli L-system (da D.G. Green)



Java applet: <http://www.cs.bgu.ac.il/~sipper/lsys/>

Tutorial sui frattali: <http://life.csu.edu.au/complex/tutorials/tutorial3.html>

Costituenti di un L-system:

1. **VARIABILI** sono simboli che indicano elementi che possono essere sostituiti.
2. **COSTANTI** sono simboli che indicano elementi che rimangono fissi (nell'espressione: <soggetto><verbo><predicato>, i 3 elementi possono venire sostituiti da costanti, in modo da formare ad esempio la frase: <Il gatto><salta><sulla tavola>).
3. **REGOLE** (“sintassi”) definisce come le variabili possono essere sostituite da costanti o altre variabili (<soggetto> \Rightarrow <il gatto> è una regola).
4. **START** Insieme di parole ed espressioni che definiscono come il sistema debba iniziare (<frase>).



Esempio 1: Fibonacci



Considerate la semplice grammatica, definita come:

Variabili : A B
Costanti : nessuna
Start : A
Regole: A -> B B -> AB

Questo L-system produce la sequenza di stringhe seguente:

Stage 0 : A
Stage 1 : B
Stage 2 : A B
Stage 3 : B AB
Stage 4 : AB B AB
Stage 5 : B AB AB B AB
Stage 6 : AB B AB B AB AB B AB
Stage 7 : B AB AB B AB AB B AB B AB AB B AB

Contando la lunghezza delle stringhe, otteniamo la serie di Fibonacci: 1 1 2 3 5 8 13 21 34

Copyright N.A. Borghese Università di Milano 19/03/2003

<http://homes.dsi.unimi.it/~borghese>



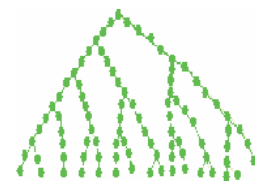
Esempio 2: Crescita di un'alga



Variabili : A B C D E
Costanti : nessuna
Start : A
Regole: A -> DB (a 45 gradi)
B -> C C -> D D -> E E -> A (tutte sulla verticale)

Questo L-system produce la sequenza di stringhe seguente:

Stage 0 : A
Stage 1 : D B
Stage 2 : E C
Stage 3 : A D E
Stage 4 : D B E A
Stage 5 : E C A
Stage 6 : A D D B D B E
Stage 7 : D B E E C E C A
Stage 8 : E C A A D A D D B
Stage 9 : A D D B D B E
Stage 10 : D B E E C E C A
Stage 11 : E C A A D A D D B



Chetomorpha linum

Copyright N.A. Borghese Università di Milano 19/03/2003

<http://homes.dsi.unimi.it/~borghese>



Esempio 3 - Turtle graphics (grafica tartaruga)



Simboli come comandi (Seymour Papert)

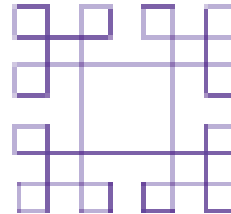
Variabili : {<Path>, <Design>, <Arm>, <Corner>, <Turn>}

Costanti : {nF, nB, nR, nL, Stop}

Start : <Path>

Regole:

- <Path> -> <Design> stop
- <Design> -> 4 <Arm>
- <Arm> -> 4F 3<Corner> 1F
- <Corner> -> 2F 3<Turn>
- <Turn> -> 90R F



Con altre regole si possono disegnare altri disegni.

Copyright N.A. Borghese Università di Milano 19/03/2003

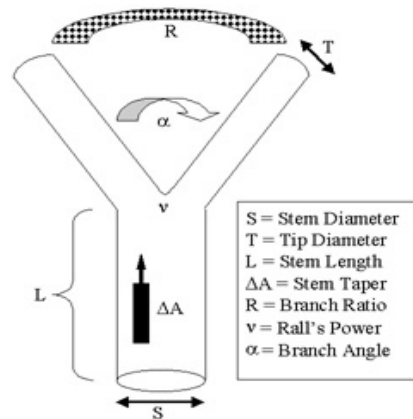
<http://homes.dsi.unimi.it/~borghese>



Applicazione ai neuroni



Le variabili di un L-system per la generazione di neuroni possono essere:



Ascoli and Krichmar. L-Neuron: A Modeling Tool for the Efficient Generation and Parsimonious Description of Dendritic Morphology, Neurocomputing, 32-33, pp. 1003-1011, 2000.

Copyright N.A. Borghese Università di Milano 19/03/2003

<http://homes.dsi.unimi.it/~borghese>



Scala e dimensione



$S=3, L<2$



$S=2, L=3$

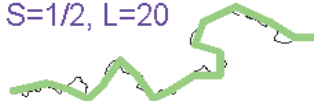


La lunghezza, L , cresce con il
decretere della scala, S .

$S=1, L=7$



$S=1/2, L=20$



Przemyslaw Prusinkiewicz, Lars Muendermann, Radoslaw Karwowski,
and Brendan Lane. The use of positional information in the modeling of
plants. Proceedings of SIGGRAPH 2001 (Los Angeles, California, August
12-17, 2001), pp. 289-300

Copyright N.A. Borghese Università di Milano 19/03/2003

<http://homes.dsi.unimi.it/~borghese>



I frattali



Fractal: acronimo di fractional dimension (Mandelbrot, 1975).
Una curva o many-fold che è indipendente dalla scala (self-similarity).



*I frattali sono caratterizzati dal modo in cui la loro rappresentazione varia
con la scala.*

Copyright N.A. Borghese Università di Milano 19/03/2003

<http://homes.dsi.unimi.it/~borghese>



La dimensione frattale



Misura che tiene conto del grado di frastagliamento della curva o superficie.

$$D = \frac{\log(L_2 / L_1)}{\log(S_1 / S_2)}$$

L_1 e L_2 lunghezze alle due scale: S_1 e S_2 .

Cosa possiamo dire di D per curve o superficie frattali?

Zone di transizione: discontinuità tra range di scale diverse:

Copyright N.A. Borghese Università di Milano 19/03/2003

<http://homes.dsi.unimi.it/~borghese>



Esempio - La costa



$S=3, L<2$



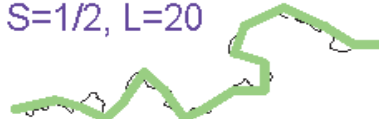
$S=2, L=3$



$S=1, L=7$



$S=1/2, L=20$



$S=1$ e $S=1/2 \Rightarrow L=7$ and $L=20, \rightarrow D = \log(20/7)/\log(2) = 1.51$

$S=1$ e $S=2 \rightarrow D = 1.22$

$S=2$ e $S=3, \rightarrow D \sim 1.13$

Copyright N.A. Borghese Università di Milano 19/03/2003

<http://homes.dsi.unimi.it/~borghese>



Generazione di un frattale



Random iteration algorithm. Trasformazione affine con parametri estratti da una popolazione statistica.

Trasformazione affine: scala + traslazione + rotazione:

$$x' = ax + by + e$$

$$y' = cx + dy + f$$

a, b, c, d, e, f hanno una distribuzione statistica.



Esempio I - una foglia di felce



Parametro	a	b	c	d	e	f	p
Felce	0.0	0.0	0.0	0.16	0.0	0.0	0.10
	0.2	-0.26	0.23	0.22	0.0	1.6	0.08
	-0.15	0.28	0.26	0.24	0.0	0.44	0.08
	0.75	0.04	-0.04	0.85	0.0	1.6	0.74
Erba	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.15
	0.02	-0.28	0.15	0.2	0.0	1.5	0.10
	0.02	0.28	0.15	0.2	0.0	1.5	0.10
	0.75	0.0	0.0	0.5	0.0	4.6	0.65





Esempio II - il moto browniano



Direzione e distanza sono variabili random nello spazio N-dimensionale.
Dimensionalità frattale: $N+1$.

Si possono generare anche strutture cristalline

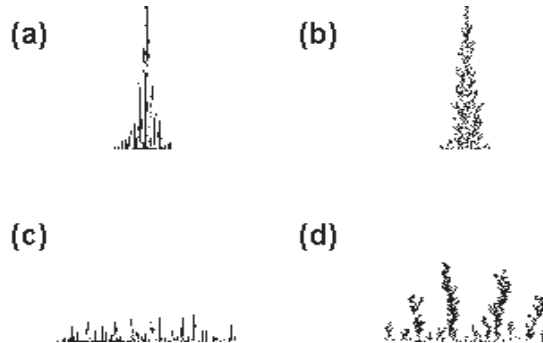
- h , spostamento orizzontale.
- p , grado di "viscosità" delle particelle.

(a) $h=1, p=0$;

(b) $h=1, p=1$;

(c) $h=10, p=0$;

(d) $h=10, p=1$.

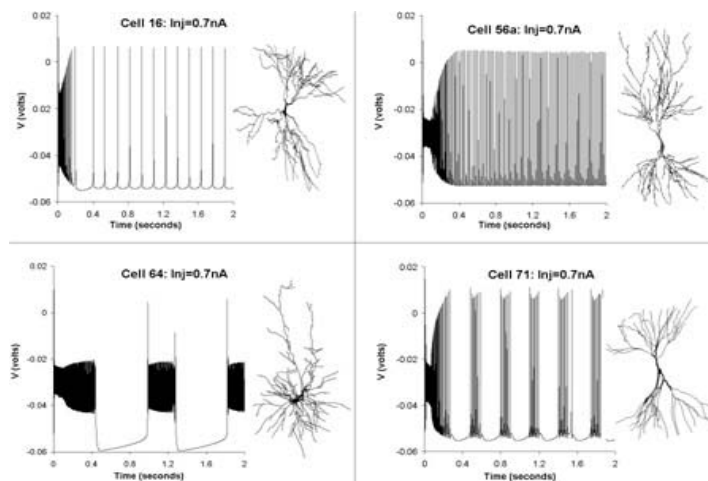


Copyright N.A. Borghese Università di Milano 19/03/2003

<http://homes.dsi.unimi.it/~borghese>



Morfologia e funzionamento del neurone



Il pattern di attivazione dipende dalla topologia dell'albero dendritico.

Qual è la relazione tra deformazione del neurone e patologia?

Copyright N.A. Borghese Università di Milano 19/03/2003

<http://homes.dsi.unimi.it/~borghese>



Riassunto



Il dendrita di un neurone può essere rappresentato come un arborescenza.

Descrizione tramite L-system o frattali.

La distribuzione ed il tipo di neuroni determina la risposta in termini di frequenza e pattern di scarica.