

Frattali in Natura

Un frattale è una figura che replica se stessa su scale di grandezza diverse, ma che presa singolarmente presenta una struttura del tutto simile alla figura originale.

Sono frattali molte strutture biologiche che troviamo in natura, nelle quali anche la più minuscola parte di esse assomiglia al tutto. Vale a dire che ciascuna di queste parti riproduce in miniatura la struttura 'in toto' sia nella morfologia che nella funzione.

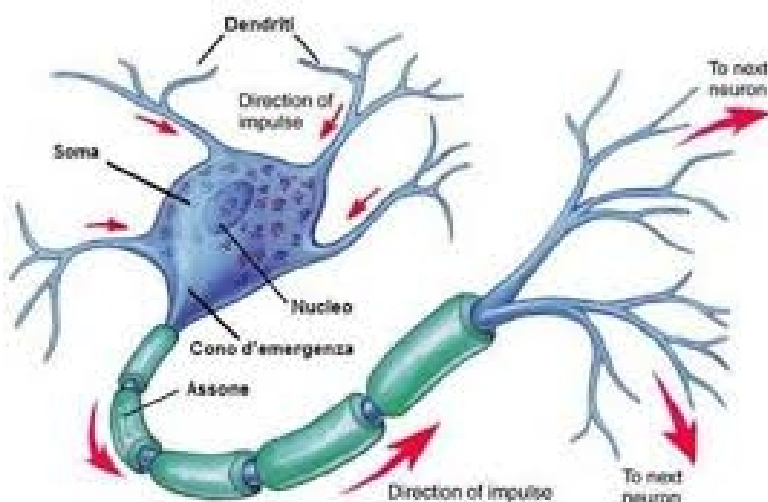
Questo tipo di architettura è evolutivamente vantaggiosa perché consente di i) assemblare le infinite parti della struttura in un volume compatto ii) di trasferire gas, liquidi e segnali nervosi in modo rapido ed efficiente iii) di permettere che una struttura possa continuare a funzionare anche quando è in parte danneggiata.

In Biologia, la complessità frattale rappresenta la capacità di un sistema biologico di adattarsi ai più diversi stimoli sia interni che esterni, e la riduzione di questa capacità può essere associata a stati patologici di quel sistema. Qualche esempio. La frequenza cardiaca ha un suo range di variabilità, cioè un suo pattern frattale, la cui riduzione riflette la disfunzione del cuore come pompa (è il caso delle aritmie).

Così anche per la frequenza del respiro, la riduzione della complessità nei pattern respiratori riflette uno stato di insufficienza respiratoria. Per il Sistema Nervoso, la riduzione della complessità frattale dei segnali EEG (elettroencefalogramma) rappresenta un indice di disfunzione dei segnali nervosi, come nel caso dell'epilessia, della demenza o della Malattia di Alzheimer. Infine, una graduale ma significativa perdita di complessità frattale dei segnali cardiaci, respiratori e cerebrali si accompagna normalmente all'invecchiamento.

Questa 'complessità frattale' è ampiamente rappresentata nella struttura dei principali organi e sistemi che costituiscono il nostro organismo.

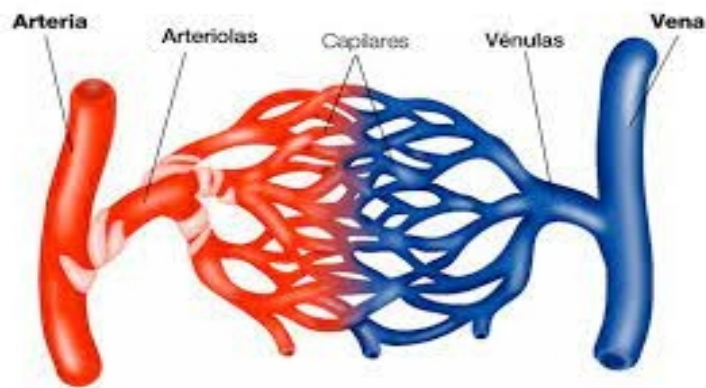
Sistema Nervoso



Il neurone con le sue ramificazioni rappresenta l'unità funzionale del Sistema Nervoso. E' costituito da un corpo cellulare (soma) e da due tipi di prolungamenti, i dendriti attraverso cui arriva lo stimolo al neurone e l'assone da cui parte lo stimolo nervoso che viene trasmesso ad altri neuroni attraverso particolari giunzioni chiamate sinapsi. La complessità di questa arborizzazione possiede caratteristiche frattali critiche per un efficiente generazione e trasmissione dell'impulso nervoso. Nel neurone le dimensioni sia del corpo

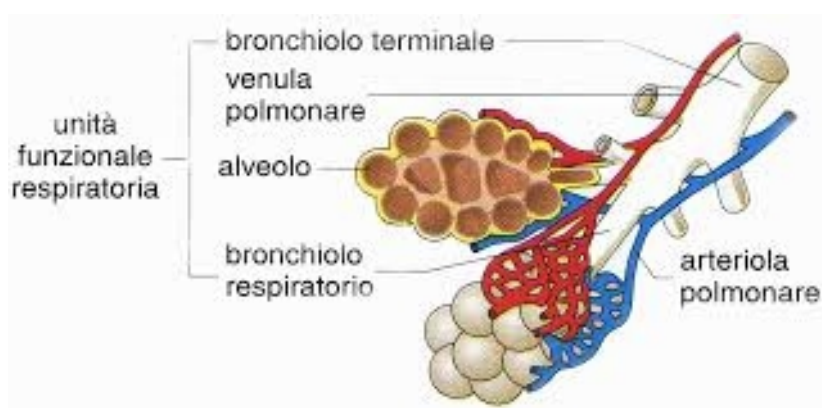
cellulare che dell'assone sono ampiamente variabili, dai 4 ai 100 micron (μm) per il soma e da qualche millimetro (mm) a più di un metro per l'assone. Come è il caso del nervo sciatico che dal midollo arriva ad innervare i muscoli del piede e, nel caso della giraffa, la lunghezza degli assoni può raggiungere i 4,5 metri. Il numero di neuroni contenuti nel cervello dell'uomo va dagli 85 ai 90 miliardi. A questi se ne aggiungono altrettanti del Sistema Nervoso Periferico e altri 100 milioni circa che risiedono nell'intestino e costituiscono il Sistema Nervoso Enterico.

Apparato circolatorio



L'apparato circolatorio è un sistema di vasi sanguigni in cui il sangue circola grazie alla spinta impartita dal cuore, distribuendo ossigeno e nutrienti alle singole cellule dell'organismo e asportandone anidride carbonica e cataboliti. A seconda dell'organo, l'architettura della rete di vasi che lo perfore può essere diversa, mentre si ripete sempre uguale il modello di ramificazione frattale che si realizza, dalle grandi arterie alle reti capillari, dove si attua di fatto la funzione di scambio. La ramificazione frattale è costituita da un vaso sanguigno molto piccolo (0.2 mm di diametro), l'arteriola, che si dirama da un'arteria più grande, per risolversi poi nella rete capillare arteriosa (in rosso). Questa a sua volta si continua con la rete capillare venosa (in blu) che confluisce in una venula e quindi in una vena.

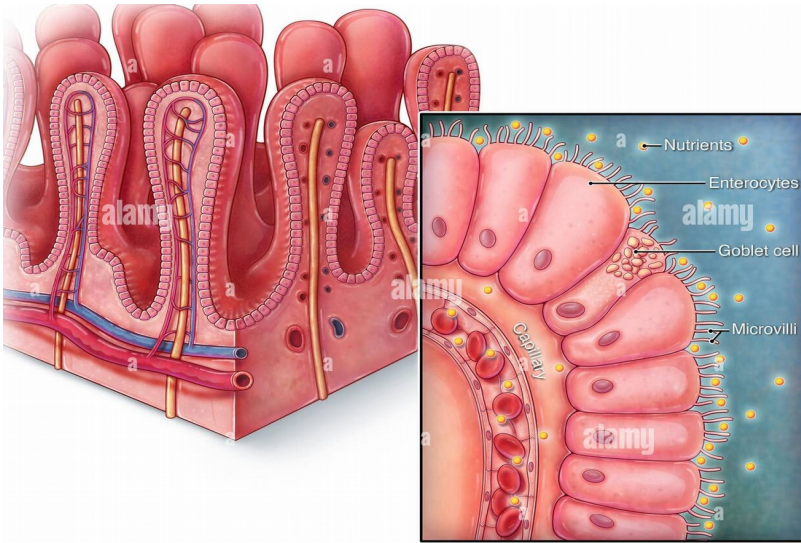
Apparato respiratorio



L'unità funzionale respiratoria è costituita dal segmento terminale dei bronchioli (le ramificazioni più fini dei bronchi) e dai minuscoli sacchetti, gli alveoli polmonari, in cui i bronchioli si continuano. La ramificazione dei bronchi e dei bronchioli è tipicamente un modello di ramificazione frattale. Negli alveoli: l'ossigeno dell'aria inspirata viene trasferito al sangue, e l'anidride carbonica passa dal sangue

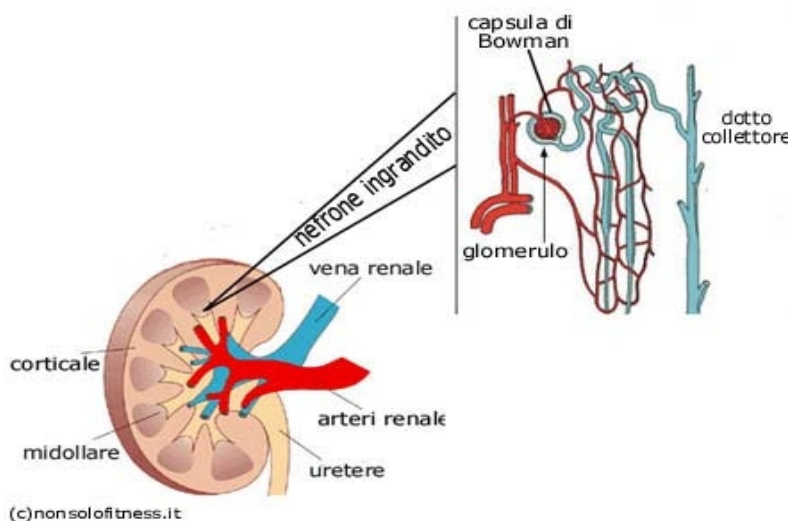
agli alveoli per essere espirata. Si stima che nell'uomo ci siano dai 300 ai 500 milioni di alveoli, la cui superficie totale può raggiungere le dimensioni di un campo da tennis.

Apparato intestinale



Villi e microvilli sono l'unità funzionale che permette di ottimizzare l'efficienza dell'assorbimento dei nutrienti da parte dell'intestino tenue. La natura frattale di questa struttura viene realizzata attraverso ramificazioni su diverse scale, dalle pieghe della parete intestinale ai villi che protrudono come dita, alle minuscole sporgenze sulla parete dei villi che sono i microvilli, il cui risultato finale consiste in un aumento della superficie di assorbimento. Si calcola che nell'intestino tenue umano ci siano 40 milioni di villi, la cui estensione corrisponde approssimativamente alla superficie di due campi da tennis.

Apparato escretore (Rene)



La struttura interna del rene consiste in unità funzionali chiamate nefroni che si ripetono in parallelo secondo una tipica organizzazione frattale. Il nefrone consiste di una parte vascolare (in rosso) comprendente vasi e gomitoli di capillari (glomeruli) nei quali il sangue transita e viene filtrato, e una parte di tubuli ad U (azzurri) nei quali si attua il riassorbimento. Questa architettura del nefrone fa sì che i nostri reni, con i loro 2 milioni di nefroni, possano filtrare 180 litri di sangue nelle 24 h, riassorbire gran parte del filtrato e produrre infine una media di 1,5 litri di urina al giorno.