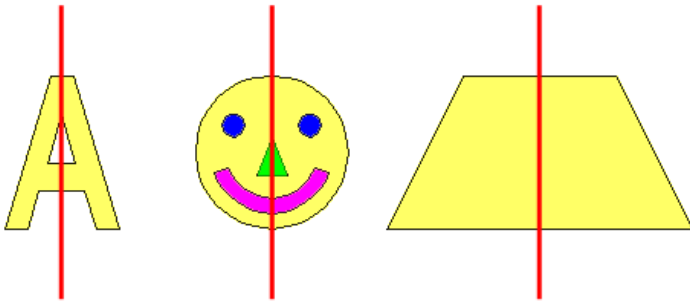


Simmetrie e bellezze nel mondo vegetale

Antonella Canini

Dipartimento di Biologia, Università Tor Vergata



In natura sono molti gli esempi di perfezione delle forme.

Vinca minor L. – Pervinca



Helleborus niger L. – Rosa di Natale



Molti di essi si basano sul principio della simmetria proprio perchè la regolarità è sinonimo di armonia.

Il termine simmetria indica generalmente la presenza di alcune ripetizioni nella forma geometrica di un oggetto.

In matematica, una simmetria è generalmente un'operazione che muove o trasforma un oggetto lasciandone però inalterato l'aspetto. L'oggetto può essere ad esempio una figura geometrica o un'equazione.

L'asse di simmetria può essere:

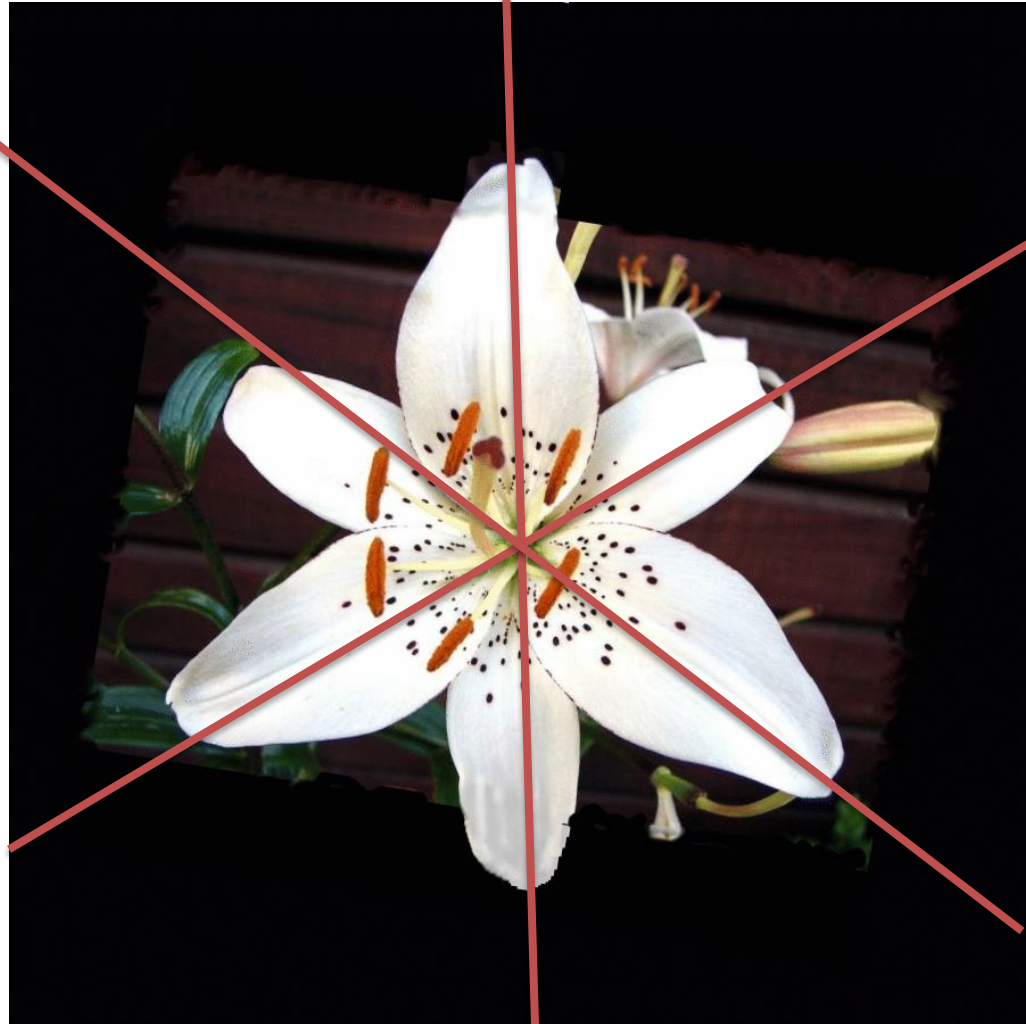
- binario
- ternario
- quaternario
- quinario
- senario

Salvia nemorosa L.– Salvia



© - josef hlasek
www.hlasek.com
Salvia nemorosa ab6159

Lilium candidum L. - Giglio di S. Antonio



Eruca vesicaria L. – Rucola



Hepatica nobilis Schereb – Erba trinità



Viola biflora L. – Violetta a due fiori

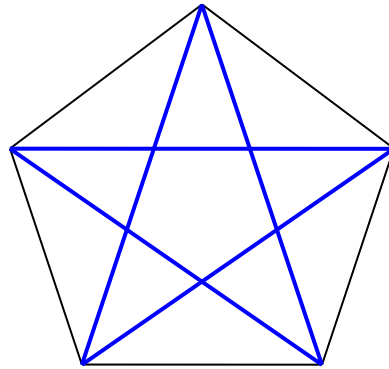




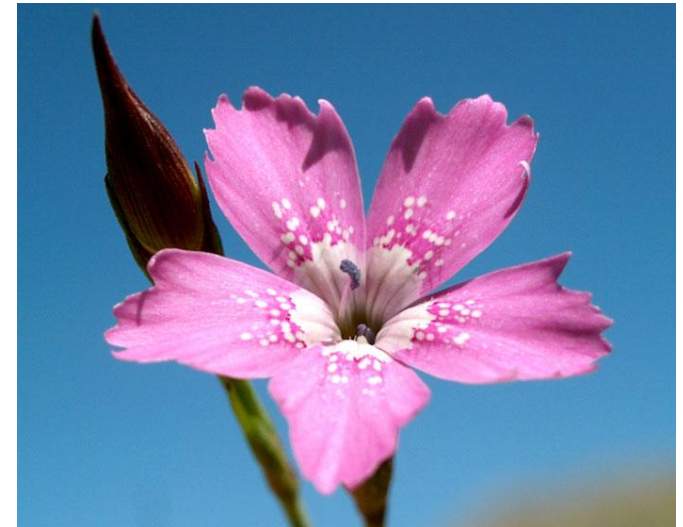
Dianthus sylvestris Wulfen –
Garofano selvatico

È da notare che il *Dianthus* si scosta molto da una simmetria ideale, eppure noi a primo impatto vediamo ugualmente la simmetria. Del resto le simmetrie perfette in natura non esistono: è una caratteristica notevole della nostra mente questa capacità di vedere e astrarre delle regole ideali da situazioni reali che non le rappresentano esattamente.

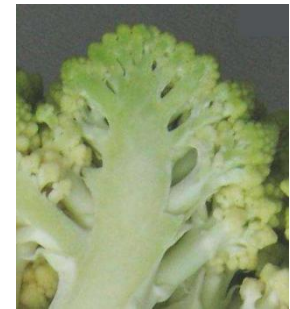
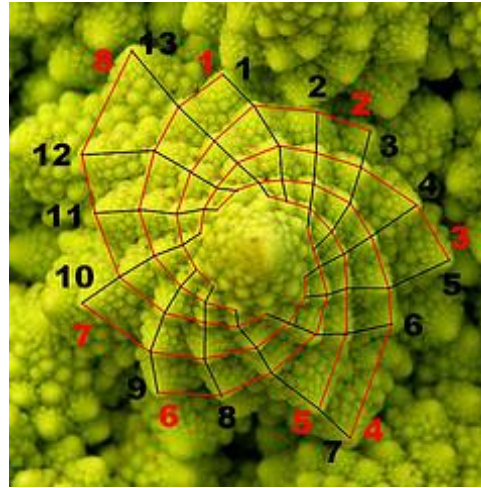
I pitagorici hanno da subito apprezzato ed appreso la magia del numero 5, tanto che, come segno di riconoscimento utilizzavano la stella a 5 punte tatuata sul palmo della mano. La stella a 5 punte dei pitagorici è quella che nasce dalle diagonali del pentagono regolare, come illustrato nella figura seguente:



In botanica la simmetria del pentagono e della stella a 5 punte è molto frequente.



Frattale: ogni ramo dell'infiorescenza di questo cavolo è a sua volta ramificato in modo simile all'oggetto intero.



Brassica oleracea italica L. – Cavolo broccolo

Quelli che si trovano in natura sono frattali soltanto approssimati: in un vero frattale la ramificazione continuerebbe all'infinito.

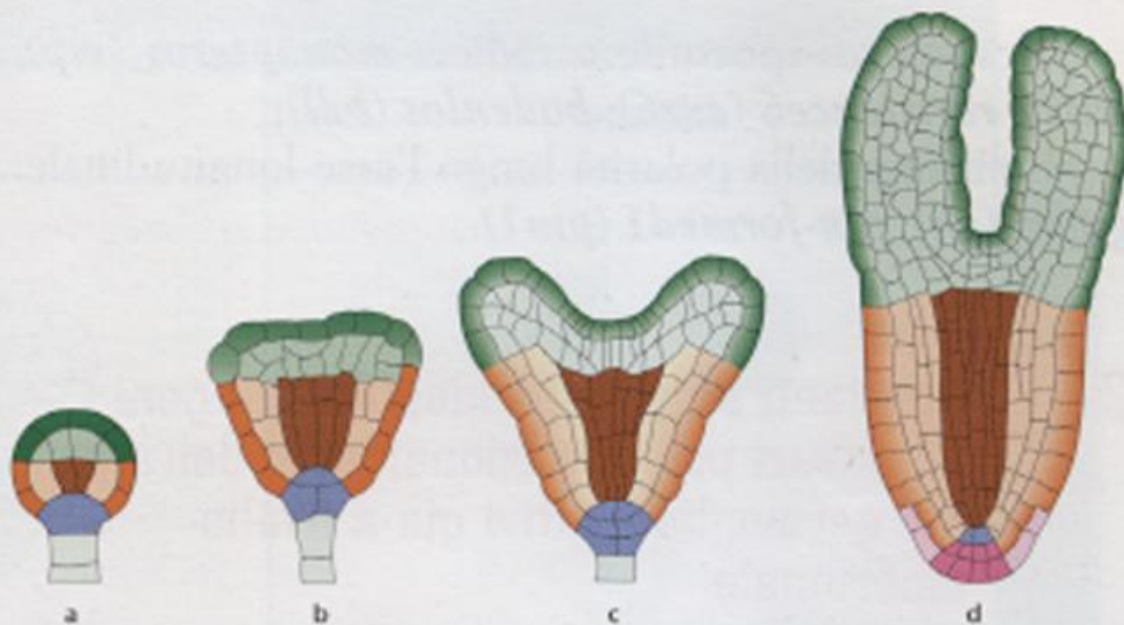


Fig. 2.7 →¹ Dettagli degli stadi di sviluppo dell'embrione di *Arabidopsis thaliana* (a-d). La porzione superiore dell'embrione allo stadio di torpedine, comprendente i due cotiledoni, la zona fra i due cotiledoni che darà origine al meristema caulinare, e la zona immediatamente sottostante (d, in verde) deriva dalla porzione superiore dell'embrione globulare (a); ipocotile e radice embrionale (d, in rosso) derivano invece dalla porzione inferiore dell'embrione globulare, ad eccezione di parte del meristema apicale della radice e della columella (d, rispettivamente in blu e fucsia), che derivano da divisioni dell'ipofisi (a, b e c). Gli elementi fondamentali del pattern radiale, ovvero il protoderma (lo strato più esterno), il meristema fondamentale (in arancione chiaro) e il procambio (in marrone) sono già determinati in stadi precoci di sviluppo (a).

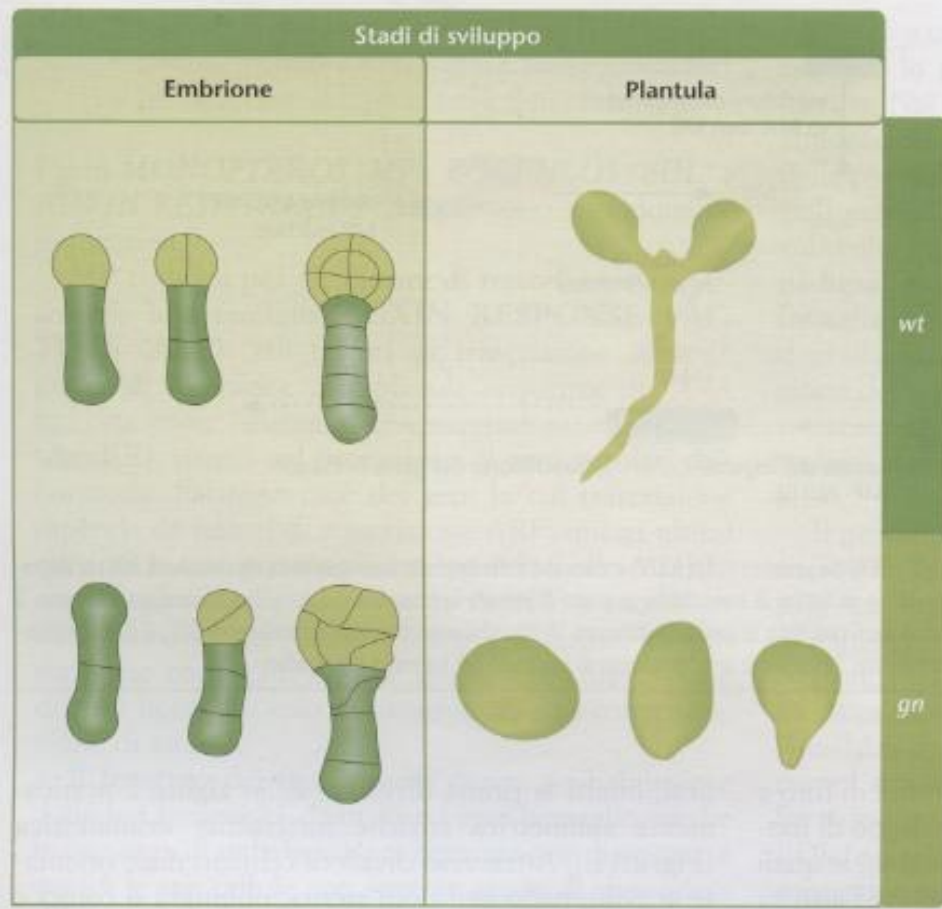


Fig. 2.11 → Il mutante *gnom*. Stadi di sviluppo (embrioni e plantula) di *Arabidopsis thaliana* wild type e del mutante (*gn*).

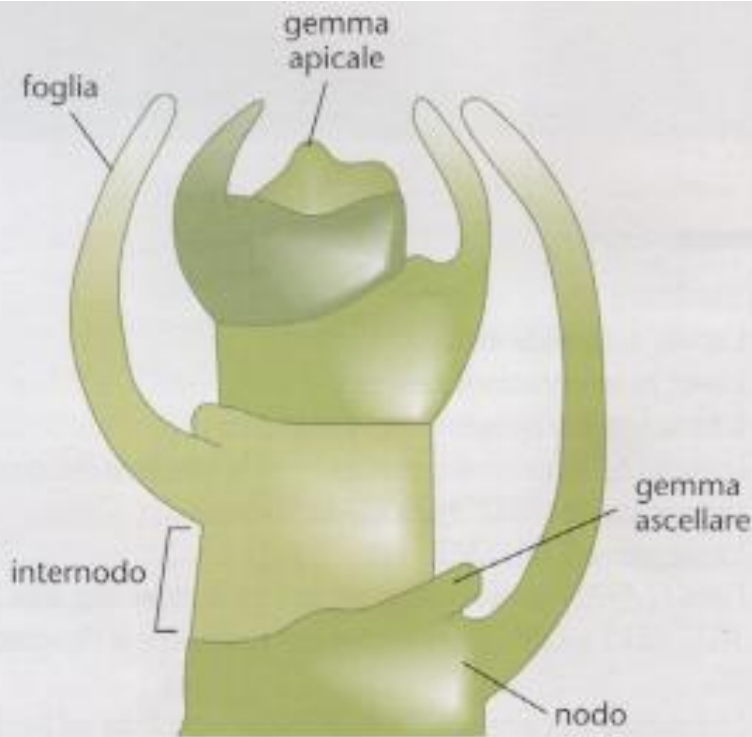


Fig. 5.2 → Rappresentazione schematica della crescita modulare del germoglio. L'unità strutturale di base (modulo), detto anche fitomero, è formato da un nodo, una foglia, una gemma ascellare e un internodo (porzione di fusto tra due nodi successivi). Le dimensioni, e il tipo di organo (foglia o fiore) di ciascun fitomero può variare secondo lo stadio di sviluppo e la posizione che occupa sulla pianta. Il germoglio aumenta di dimensioni grazie all'aggiunta di nuovi fitomeri dovuta all'attività del meristema caulinare apicale, all'allungamento degli internodi, all'espansione della lamina fogliare ed, eventualmente, allo sviluppo delle gemme ascellari in rami.

Alla **germinazione**, l'apice del germoglio emerge dai **tegumenti** seminali dopo la radice e produce le **foglie** (in alcuni casi lo fa già entro il **seme**, vedi Cap. 2). I **cotiledoni**, prima di appassire, possono svolgere attività fotosintetica sostenendo le prime fasi di crescita autotrofa della plantula, oppure questa è svolta esclusivamente dalle foglie; la regione assiale, compresa fra i cotiledoni e l'**apice del germoglio** (detto **caulinare** o **vegetativo**), costituisce l'**epicotile**, il "primo fusto" (Fig. 5.1).

L'accrescimento delle piante avviene in **maniera modulare**: l'unità strutturale di base (modulo) della porzione aerea consiste in una porzione di fusto nota come **internodo**, una **foglia**, inserita nel fusto in un punto denominato **nodo**, e una **gemma ascellare** (dalla quale può svilupparsi un **ramo** laterale) posta nell'angolo (ascella) tra la foglia e il fusto. Questo modulo si ripete numerose volte nella costruzione della pianta ed è talvolta chiamato **fitomero** (Fig. 5.2).

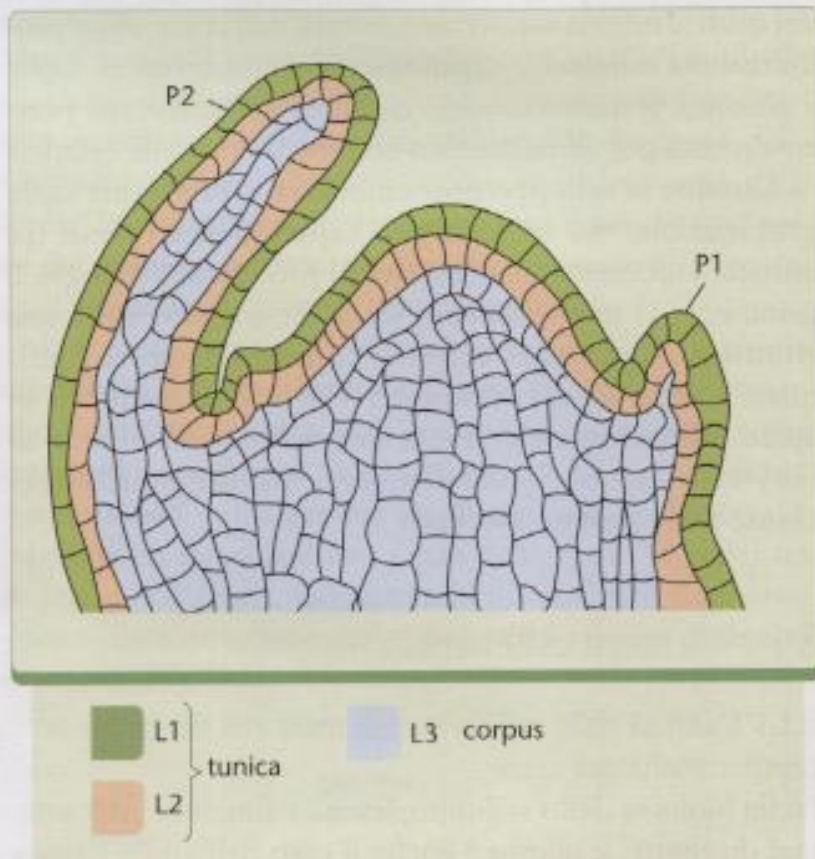


Fig. 5.4 → Schema di una sezione longitudinale mediana del doma di *Arabidopsis* con i due strati della tunica (L1 e L2) in cui il piano di divisione delle cellule è solamente anticlinale, e lo strato L3, o corpus, in cui le cellule si dividono in tutte le direzioni. Ai lati del doma sono mostrati due primordi fogliari, P1 (il più giovane) a destra, P2 a sinistra.

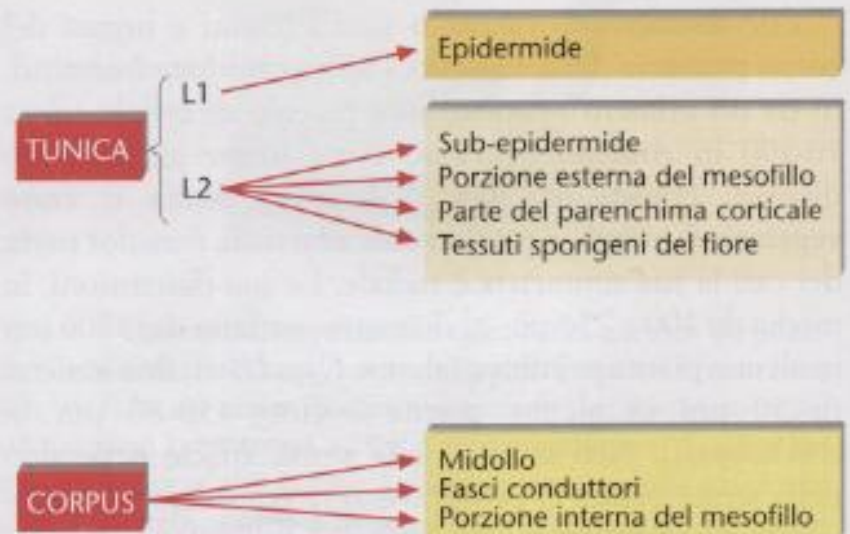


Fig. 5.5 → Schema dei tessuti originati dagli strati L1, L2 ed L3 del doma di *Arabidopsis*.

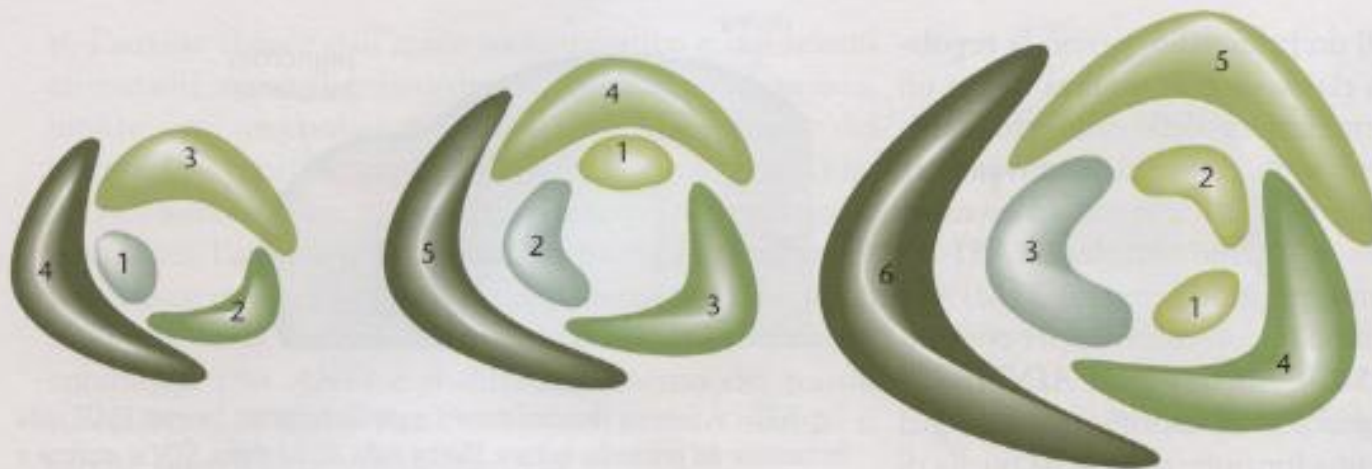


Fig. 5.18 → Nelle piante con disposizione delle foglie a spirale, i primordi fogliari si originano in sequenza ai fianchi del doma caulinare secondo un ordine ben preciso. Nello schema sono mostrati primordi in ordine crescente d'età (1 è il più giovane, 6 il più vecchio).

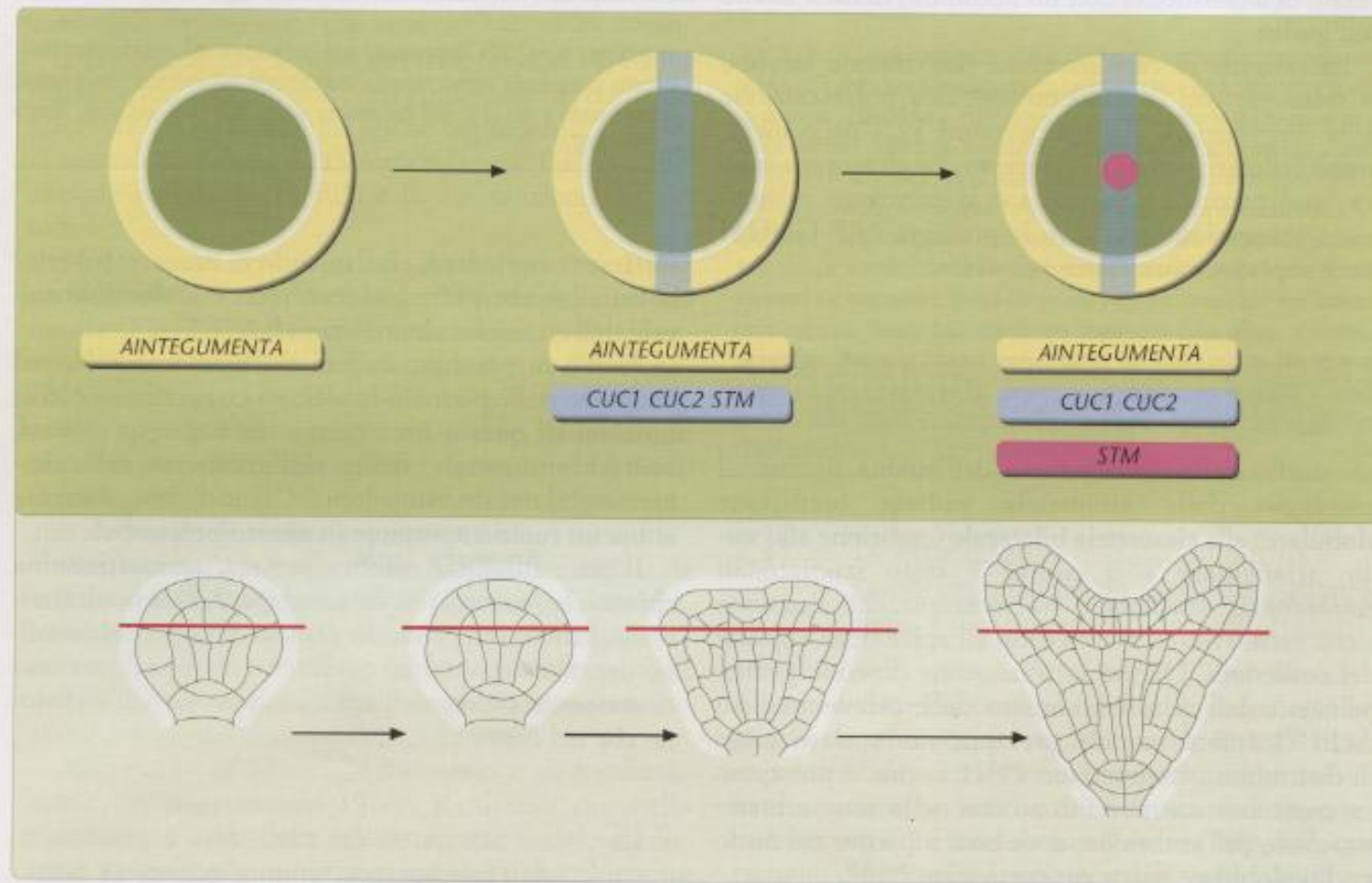


Fig. 2.20 → Espressione dei geni *ANT*, *CUC1*, *CUC2* e *STM* durante vari stadi di embriogenesi in *Arabidopsis thaliana*. In alto, espressione dei diversi geni è rappresentata con vari colori, in una sezione trasversale della porzione superiore dell'embrione; in basso sono indicati i vari stadi di sviluppo embrionale corrispondenti, e la linea orizzontale che taglia l'embrione indica il livello al quale è presa la sezione. Il gene *ANT* viene espresso per la prima volta in un anello periferico di cellule (in giallo) nella porzione superiore dell'embrione allo stadio globulare; durante il passaggio da stadio globulare a stadio triangolare, compare anche, espressione dei geni *CUC1*, *CUC2* e *STM* (in azzurro), in una striscia mediana di cellule posta fra i due futuri cotiledoni. Successivamente, le zone di espressione di *STM* (fucsia) e *CUC1-CUC2* (azzurro) diventano complementari.

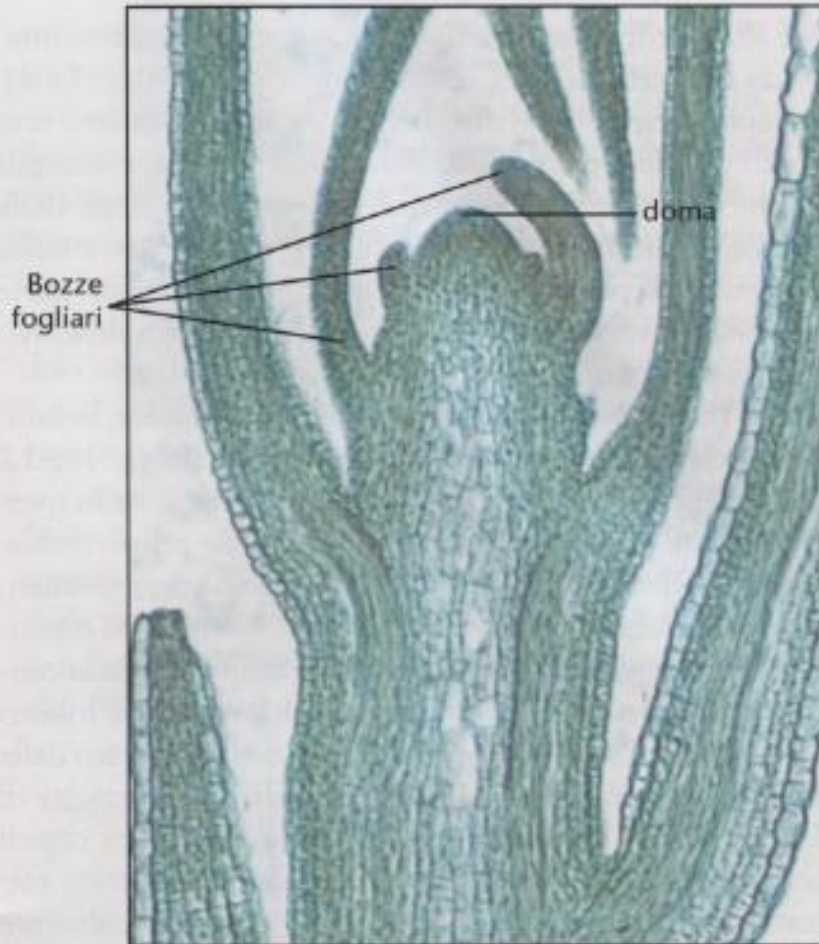


Fig. 5.3 → Sezione longitudinale di un **apice vegetativo** del germoglio di *Linum*. Sono visibili il **doma** (meristema apicale caulinare), e alcune bozze (primordi) fogliari a diversi stadi di sviluppo.

Nella biologia dello sviluppo, forma e funzione non sono mai disgiunte, e questo è anche il caso dell'apice, capace di garantire, contemporaneamente, il mantenimento e la proliferazione di una popolazione di cellule indifferenziate e **pluripotenti**, dette **cellule iniziali** (o **staminali**), durante tutto il corso della crescita vegetativa della pianta, nonché la **formazione di organi** (rami, foglie e fiori) secondo un piano di sviluppo altamente regolato nel tempo e nello spazio e caratteristico della specie (**fillotassi**, vedi Sez. 5.3).

Pur essendo all'origine di tutti i tessuti e organi del corpo primario del germoglio, l'apice caulinare è costituito da un numero relativamente piccolo di cellule (circa 70-100 in *Arabidopsis*). Può avere forme geometriche diverse, conica (da cui il termine **doma** o **cono vegetativo**), piatta, e persino concava; nella maggior parte dei casi la sua simmetria è radiale. Le sue dimensioni, in media da 100 a 250 μm in diametro, variano dai 3500 μm in alcune piante primitive (alcune *Cycadales*), fino a meno di 50 μm in alcune piante a fiore (50-80 μm in *Arabidopsis*). Nell'ambito della stessa specie o persino della stessa pianta ci possono essere considerevoli variazioni nelle dimensioni e nella forma dell'apice in funzione dell'età dell'individuo, della stagione dell'anno, e del grado di coinvolgimento del **doma** nella formazione di primordi fogliari.

Taraxacum officinale Weber ex F.H.Wigg. – *Dente di leone*



Angelica sylvestris L. – Angelica



© - josef hlasek
www.hlasek.com
Angelica sylvestris a4636

Centaurea cyanus L. – Fiordaliso



© - josef hlasek
www.hlasek.com
Centaurea cyanus a148



Helianthus tuberosus L. –
Topinambur

Tutti questi fiori non hanno simmetria visibile perchè in realtà non sono fiori bensì infiorescenze.

Abbiamo dunque il problema: come si dispongono gli elementi di un'infiorescenza?

Di questo problema si occupa la *fillotassi*: lo studio della disposizione di elementi simili (foglie, rami, petali ...) nell'accrescimento di una pianta.

Nella **fillotassi decussata** (incrociata) le foglie sono disposte in quattro file; in questo caso sono sempre foglie opposte, quindi due per nodo, ma sono orientate perpendicolarmente (a croce) rispetto alla coppia di foglie del nodo sovrastante e sottostante. Quindi il numero delle ortostiche è il doppio del numero di foglie per nodo. Questa tipologia di fillotassi caratterizza le piante appartenenti alla famiglia delle Lamiaceae (salvia, menta, *Coleus*), oltre ad *Antirrhinum*, *Hypericum*, *Vinca* e *Acer*. Infine, vi è la **fillotassi spiralata o dispersa** con foglie alternate in cui la posizione delle foglie nei nodi successivi forma un'elica.

Le foglie verticillate formano fra loro angoli uguali, ad esempio 180° se sono due, 120° se sono tre. Questa è la **regola dell'equidistanza**. Inoltre, le foglie inserite sul nodo immediatamente superiore e inferiore sono orientate lungo le bisettrici di questi angoli e questa costituisce la **regola dell'alternanza**. Ne deriva che il valore dell'**angolo di divergenza** tra due foglie consecutive, appartenenti a verticilli successivi, è di 90° e 60° rispettivamente, e che le foglie si sovrappongono esattamente ogni due nodi.

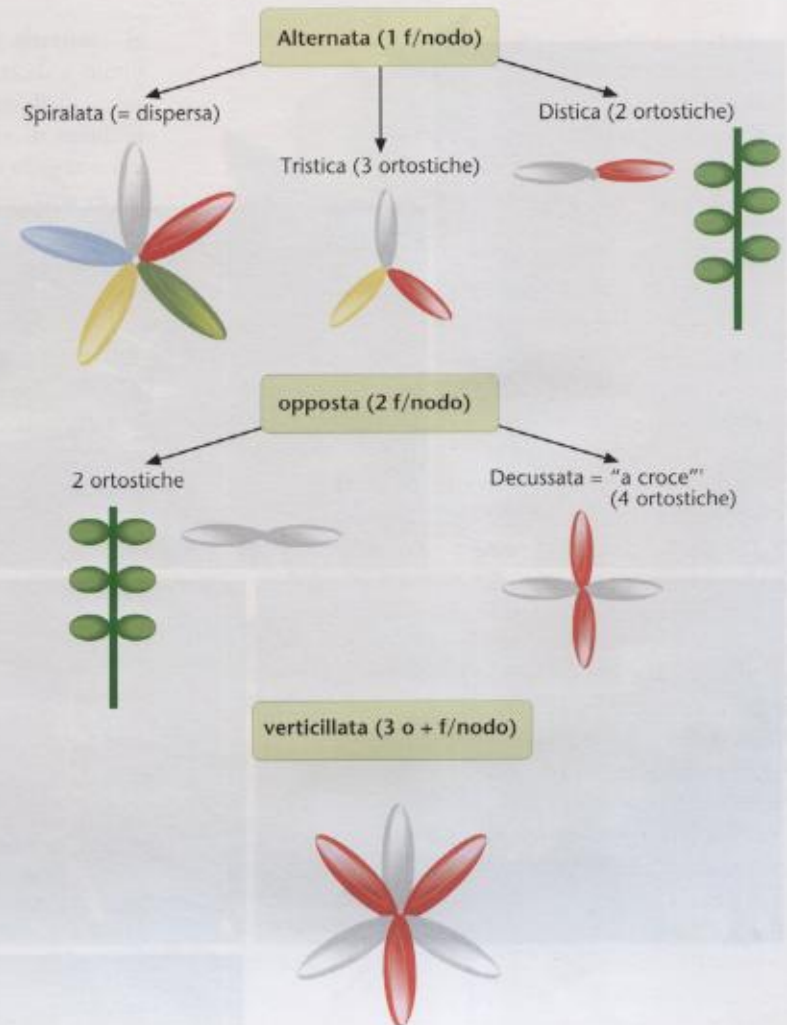
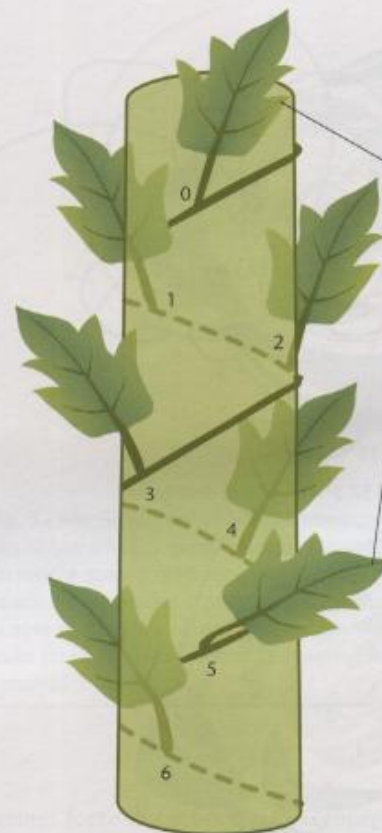


Fig. 5.23 → Lo schema riassume le differenti tipologie di fillotassi (le foglie di colore diverso sono inserite su nodi diversi).

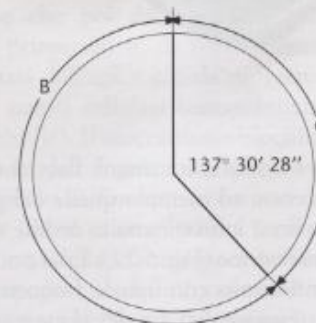
Nel caso in cui il fusto presenti **fillotassi alternata**, la regolarità con cui le foglie sono inserite ai nodi è meno evidente, ma le regole cui è sottoposta la loro disposizione sono molto più affascinanti. Per illustrare in maniera schematica questa tipologia di fillotassi si collegano fra loro con una linea immaginaria tutte le foglie, una dopo l'altra, partendo dalla più alta; questa linea forma una **spirale** che si avvolge attorno al fusto (Fig. 5.25). A questo punto, si considerano due foglie che si sovrappongono perfettamente (cioè che sono poste sulla stessa **ortostica**) e si conta il numero di giri di spirale compresi fra le due e il numero di foglie che si incontrano, escludendo quella di partenza e includendo quella di arrivo. Per una determinata specie, il numero di giri di spirale e il numero di foglie incontrate sono sempre gli stessi a prescindere dalla foglia da cui si parte. Essi sono usati per esprimere l'angolo di divergenza della specie con una **frazione** che ha al numeratore il numero di giri di spirale e al denominatore il numero di foglie incontrate. Moltiplicando questa frazione per 360° si ottiene una frazione d'angolo giro che equivale all'**angolo di divergenza**.

Fig. 5.26 → Gli antichi Greci sapevano che per disegnare un pentagramma occorre dividere ogni segmento secondo la regola della "sezione aurea": l'intero segmento è suddiviso in due parti diseguali tali per cui il rapporto tra il segmento e la parte più grande è uguale al rapporto tra le due parti. Applicando questa regola alla circonferenza di un cerchio si ottiene l'angolo aureo o angolo limite di divergenza ($137^\circ 30' 28''$) cui tende la fillotassi.



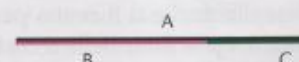
queste due foglie sono sovrapposte

Fig. 5.25 → Schema di fusto con fillotassi spiralata. Per collegare con una linea immaginaria due foglie che si trovano sulla stessa verticale (ad esempio la foglia 0 e la foglia 5), occorre fare due giri di spirale attorno al fusto e si incontrano 5 foglie (dalla numero 1 alla numero 5). Conseguentemente, l'angolo di divergenza tra due foglie su nodi successivi equivale a $2/5 \times 360^\circ = 144^\circ$.



$$A = B + C$$

$$A/B = B/C$$



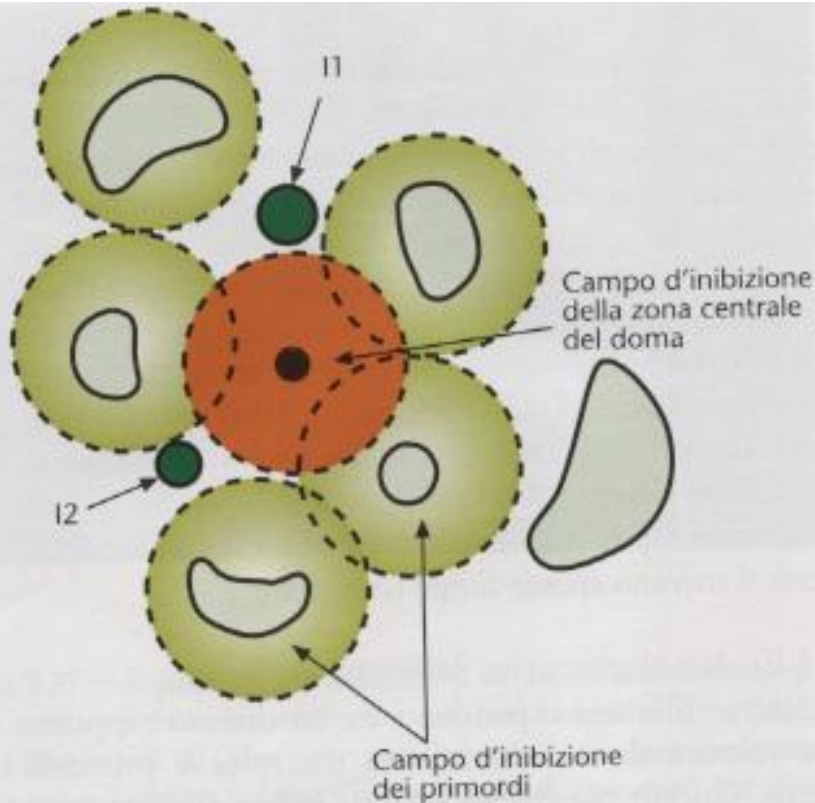


Fig. 5.30 → Rappresentazione schematica della teoria del campo negativo. Secondo questa teoria la zona centrale del doma caulinare e i primordi pre-esistenti producono degli inibitori dell'organogenesi, creando dei campi d'inibizione attorno a se stessi. 11 e 12 sono i siti, al di fuori del raggio d'azione dei campi d'inibizione, in cui si formeranno i prossimi primordi.

Meccanismi regolatori della fillotassi

Meccanismo biochimico

Sostenuto da modelli matematici, si basa sul concetto che sostanze chimiche si diffondono attraverso il doma e che la loro ineguale distribuzione crea dei campi a concentrazione minore in cui si forma il primordio.

creazione, da parte dei primordi pre-esistenti e della ZC, di un **campo negativo** dovuto alla produzione di un segnale capace di impedire, nell'ambito del suo raggio d'azione, la formazione di un nuovo primordio (Fig. 5.30). Ne consegue che un nuovo primordio si formerà nel punto più distante possibile dalla sorgente del segnale (zona di minore inibizione). L'ipotesi alternativa prevedeva che il segnale in questione fosse in grado di promuovere, anziché inibire, l'organogenesi ("**campo positivo**"), ma che la sua concentrazione fosse più bassa nelle cellule attorno ai primordi pre-esistenti. Secondo quest'ultima ipotesi, il nuovo primordio si origina laddove, a una certa distanza dagli altri primordi, la concentrazione del segnale supera una certa soglia.

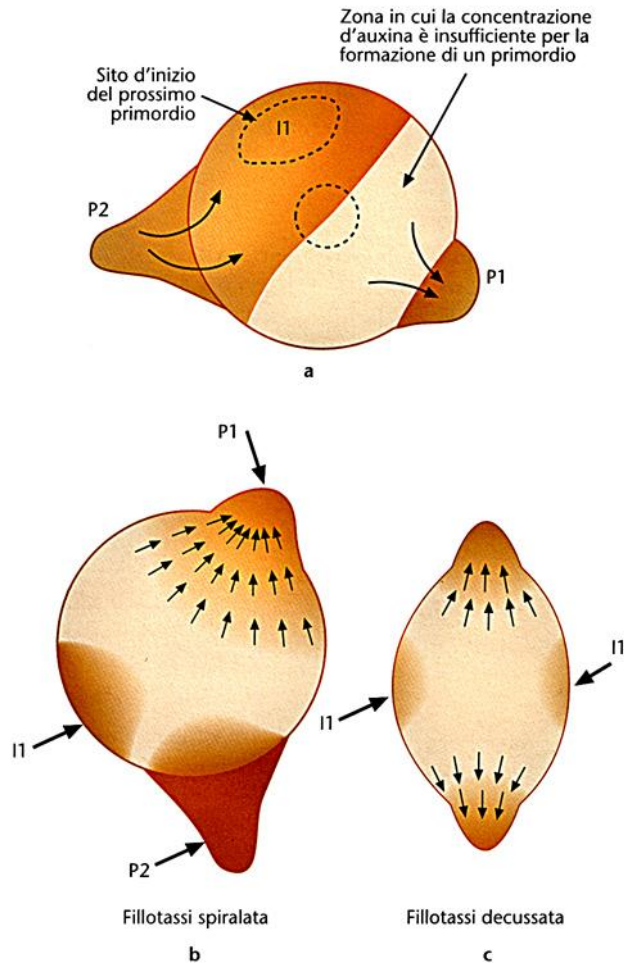


Fig. 5.32 → (a) Nell'apice caulinare il trasporto polare di auxina, mediato da PIN1, varia nelle diverse fasi di sviluppo dei primordi. L'auxina fluisce verso il giovane primordio (P1), mentre viene prodotta dal primordio più maturo e traslocata verso i lati del doma dove, una volta superata la concentrazione soglia, consente la creazione del sito d'inizio di un nuovo primordio (I1). Il trasporto dell'ormone nell'ambito del doma può quindi spiegare le diverse fillotassi riscontrate in natura. Secondo questo modello, se soltanto il primordio più giovane accumula auxina, le foglie si formeranno a 180° le une dalle altre, ciascuna su un nodo diverso (fillotassi distica). (b) Se i due primordi più giovani competono per l'auxina, ma la capacità di attrarre auxina diminuisce con l'età, allora il nuovo primordio si collocherà tra P1 e P2, ma più vicino a P2. Questo meccanismo produce una fillotassi spiralata. (c) Se il raggio d'azione del primordio è molto piccolo (scarsa capacità di rimozione dell'auxina), due primordi possono formarsi ai lati diametralmente opposti del meristema, formando un angolo di divergenza di 90° , e quindi una fillotassi decussata.

È interessante notare che, pur variando tra specie diverse, la frazione che esprime l'angolo di divergenza rientra sempre nell'ambito di una serie ben precisa: $1/2$, $1/3$, $2/5$, $3/8$, $5/13$, ecc.. In questa serie le frazioni sono legate assieme dalla seguente relazione: il numeratore e il denominatore costituiscono la **serie di Fibonacci** (matematico pisano del tredicesimo secolo) in cui ciascuno dei numeri è la somma dei due precedenti. La serie di Fibonacci è infinita e il valore della frazione tende a un valore limite che è $0,381966\dots$. Ne consegue che l'**angolo limite di divergenza** cui tende la fillofisi equivale a $0,381966\dots \times 360^\circ = 137^\circ 30' 28'' \dots$. Gli angoli di divergenza che si riscontrano in natura sono delle approssimazioni di questo "angolo ideale" in cui nessuna foglia sarebbe esattamente sovrapposta a un'altra. È in questo modo che le foglie si fanno meno ombra possibile tra loro.



1 petalo



2 petali



3 petali



5 petali



8 petali



13 petali



34 petali



55 petali...

- La passiflora : esempio splendido di come i numeri di Fibonacci ricorrono anche nei fiori...

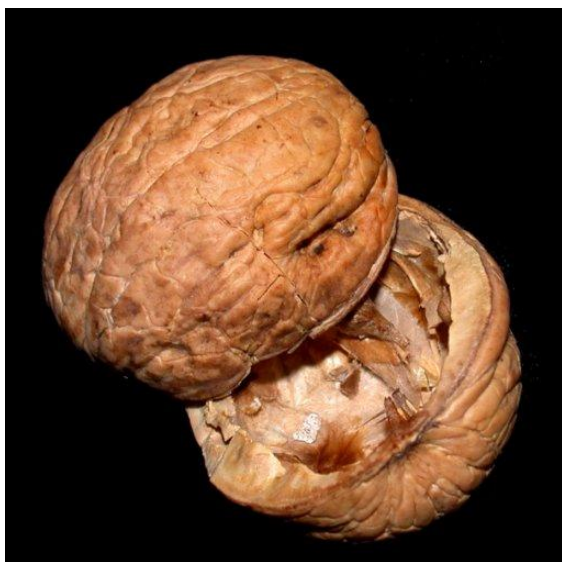


- 2 insiemi di 5 foglioline verdi
- Sopra i sottilissimi petali viola-bianchi un insieme di 5 stami a forma di T,



- e sopra ancora altri 3 a forma di chiodi
- 3 verdi foglioline che proteggono il germoglio

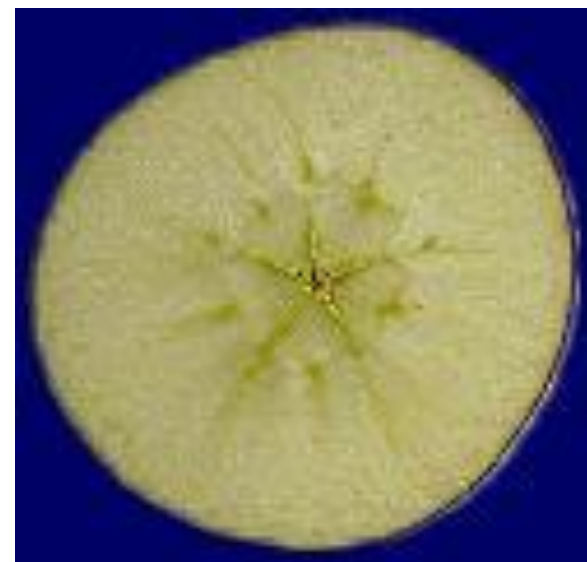
Non potevano mancare i numeri di Fibonacci nella frutta: sezionando trasversalmente una noce, una banana, una mela, una pera... si ottengono



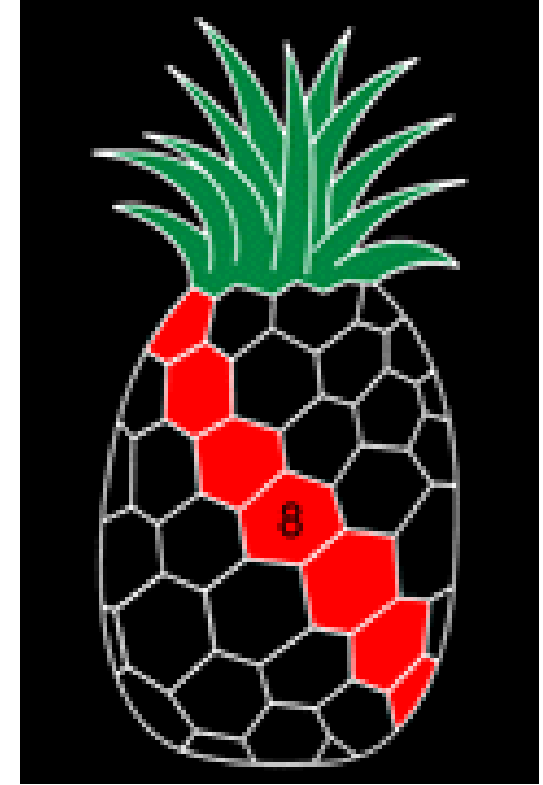
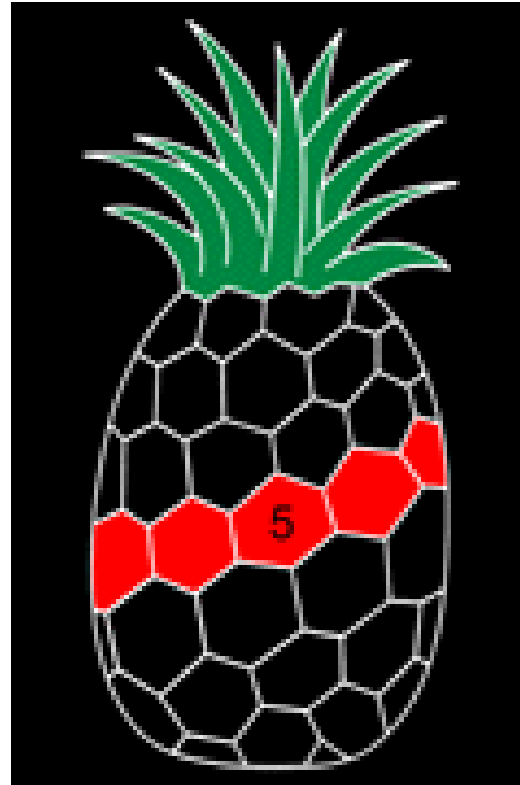
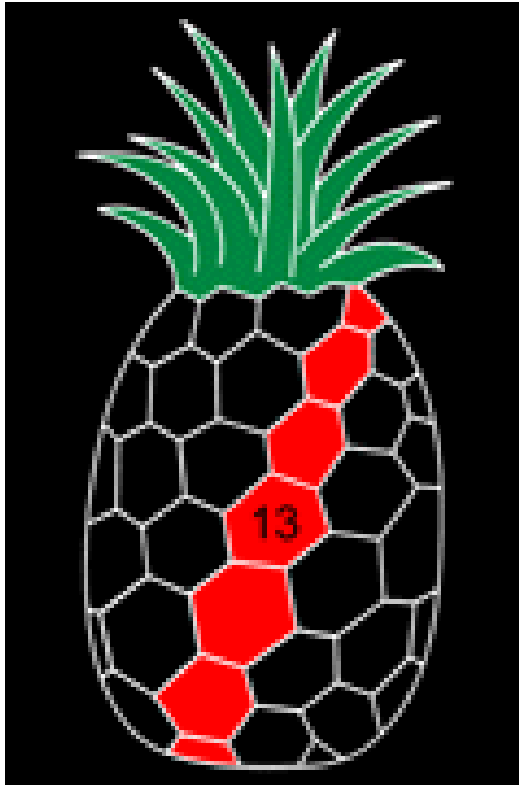
NOCE: 2 parti



BANANA: 3 parti



MELA: 5 parti



Osservando la buccia dell'ananas si possono notare che le placche esagonali formano tre diverse tipologie di spirali che, con diverse inclinazioni, dalla base risalgono il frutto (numeri di Fibonacci).

Ulteriore stupore desta il fatto che il valore 0,381966... è noto in matematica poiché rappresenta la radice dell'equazione della **sezione aurea**. Quest'equazione permette di dividere un segmento in due porzioni disuguali tali che il rapporto tra l'intero segmento e la porzione più grande è uguale al rapporto tra le due porzioni (Fig. 5.26). La sezione aurea, o meglio questo rapporto, si ritrova sia in natura (nel corpo umano) sia in molte opere d'arte (ad es. il Partenone di Atene).

Un'altra rappresentazione presente in natura della sezione aurea è appunto la spirale aurea. Questa spirale non è altro che una spirale logaritmica ottenuta attraverso una costruzione Geometrica di quadrati i cui lati seguono la successione di Fibonacci.

La costruzione inizia con il disegno di due quadrati di lato unitario, poi si aggiunge di volta in volta un nuovo quadrato che con il suo lato deve coprire sempre il lato più lungo della costruzione:

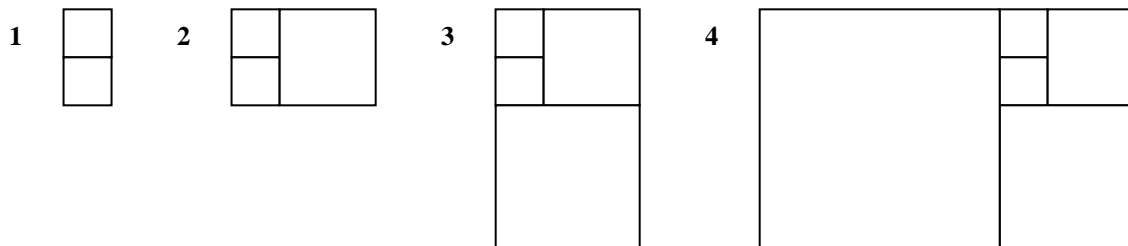


FIG. 4 – Costruzione della spirale aurea – Prima fase

Nella costruzione in figura 4, ci siamo fermati al quarto quadrato, ma si può procedere fino all'infinito. Una volta terminata la costruzione dei quadrati si traccia infine la spirale come illustrato nella figura seguente:

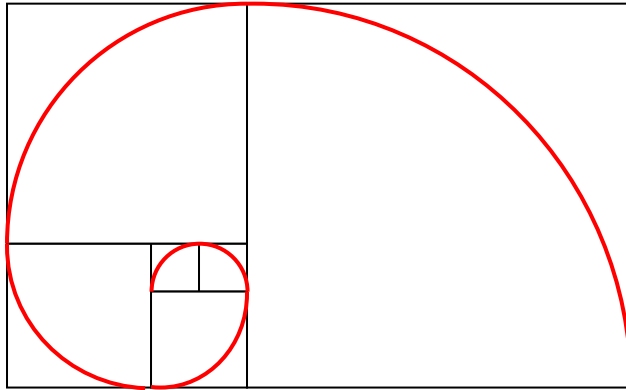
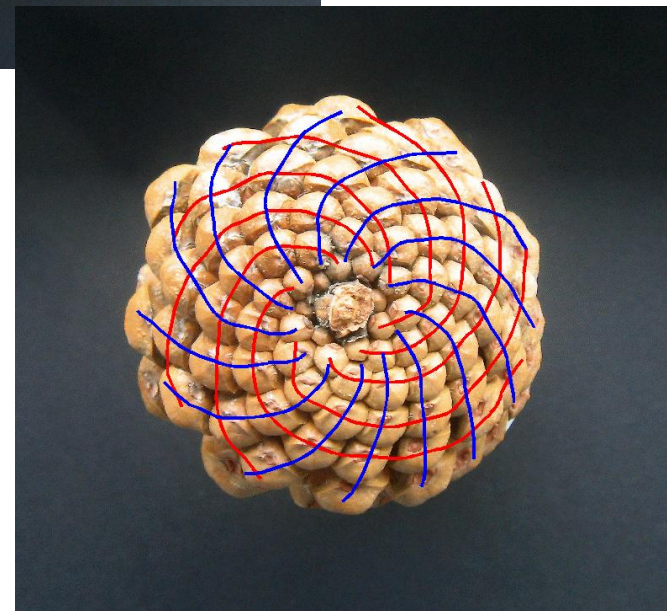
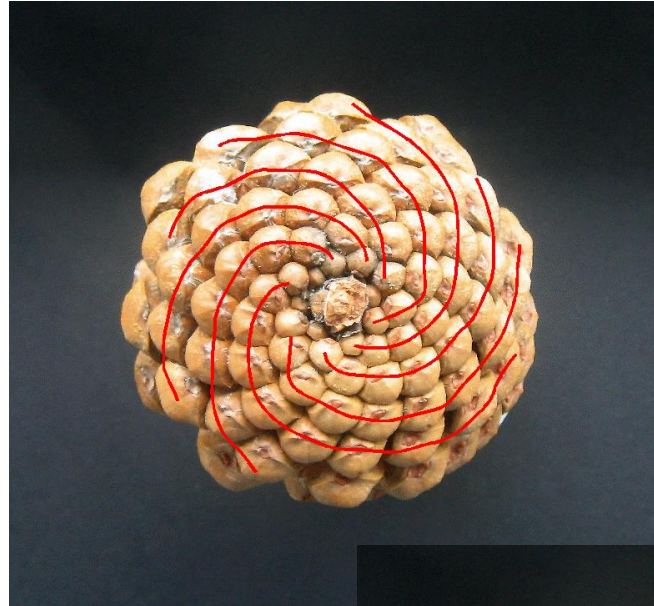


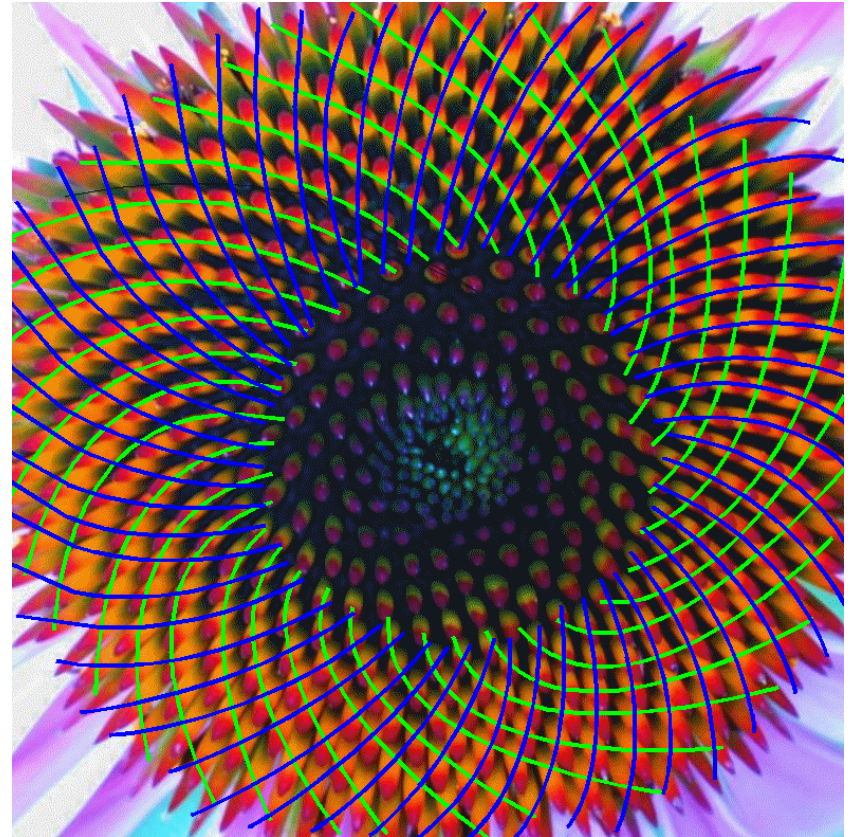
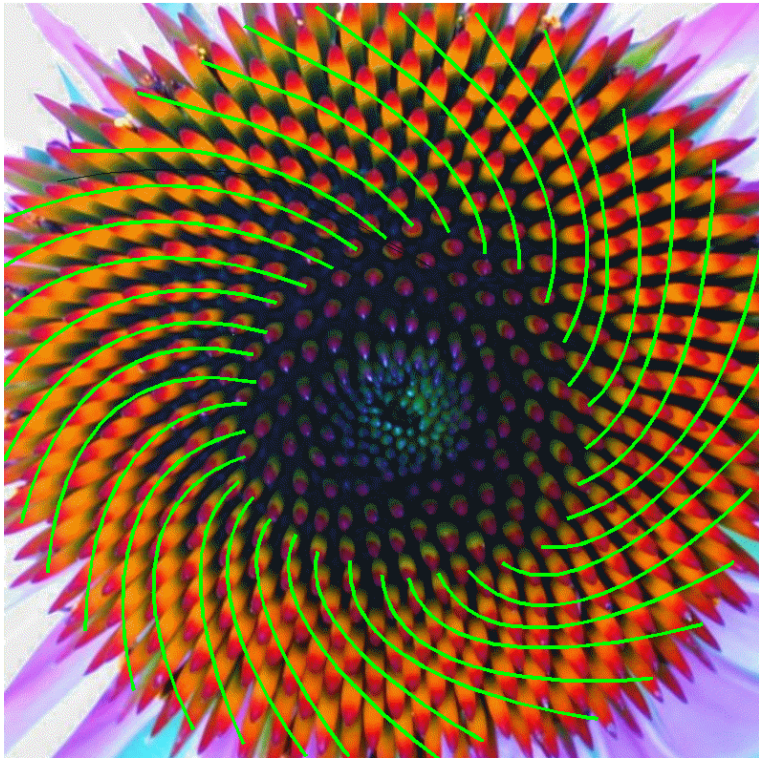
FIG. 5 – Costruzione della spirale aurea – Seconda fase

Se osserviamo bene la misura dei lati, a partire dai primi due quadrati che sono di lato 1, a seguire troviamo le seguenti lunghezze: 2, 3, 5 e 8, proprio i termini della successione di Fibonacci.

Infatti, in questa costruzione, il lato di ogni quadrato misura quanto la somma dei lati dei due quadrati precedenti.

In questi elementi è evidente un ordine, ma di un genere diverso. Si vedono delle spirali, che si sviluppano nei due versi: orario e antiorario.







Trycirtis hirta



Paris polyphylla



Tulipa liniifolia



Hoya carnosa

