

## UN DIFFICILE COMPITO



*La mia collezione è di gran lunga superiore sia in numero che in bellezza e potrei aggiungere interesse a quella di qualsiasi altra collezione al mondo ...*

*Wilson A. Bentley*

*Egregio Signore,*

*Ho raccolto fotografie di cristalli di neve negli ultimi 20 anni e ora ne ho una che conta oltre 1100 esemplari non due uguali. È stato quasi un lavoro da una vita con me, e condotto interamente a mie spese. Oltre alle foto dei cristalli di neve, mi sono assicurato altre 150 fotografie di brina e cristallizzazione del ghiaccio, di*

*grande bellezza e interesse. La mia raccolta di fotografie di gelo e cristalli di neve è ciascuna nella sua classe...*

*Lettera di Wilson A. Bentley - 15 dicembre 1904*

### **D: Come si formano i fiocchi di neve?**

Un fiocco di neve inizia a formarsi quando una goccia d'acqua estremamente fredda si congela su una particella di polline o polvere nel cielo. Questo crea un cristallo di ghiaccio. Quando il cristallo di ghiaccio cade a terra, il vapore acqueo si congela sul cristallo primario, costruendo nuovi cristalli: le sei braccia del fiocco di neve.

Questa è la risposta breve.

### **Una spiegazione più dettagliata è la seguente:**

I cristalli di ghiaccio che compongono i fiocchi di neve sono simmetrici (o modellati) perché riflettono l'ordine interno delle molecole d'acqua del cristallo mentre si dispongono in spazi predeterminati (noti come 'cristallizzazione') per formare un fiocco di neve a sei facce.

In definitiva, è la temperatura alla quale si forma un cristallo - e in misura minore l'umidità dell'aria - che determina la forma di base del cristallo di ghiaccio. Quindi, vediamo lunghi cristalli aghiformi a 23 gradi F e cristalli molto piatti simili a lastre a 5 gradi F.

La forma intricata di un singolo braccio del fiocco di neve è determinata dalle condizioni atmosferiche sperimentate dall'intero cristallo di ghiaccio mentre cade. Un cristallo potrebbe iniziare a crescere le braccia in un modo, e poi minuti o anche secondi dopo, lievi cambiamenti nella temperatura o nell'umidità circostante fanno crescere il cristallo in un altro modo. Sebbene la

forma a sei facce sia sempre mantenuta, il cristallo di ghiaccio (e le sue sei braccia) può diramarsi in nuove direzioni. Poiché ogni braccio sperimenta le stesse condizioni atmosferiche, le braccia sembrano identiche.

**D: Allora, perché non ci sono due fiocchi di neve esattamente uguali?**

Beh, questo perché i singoli fiocchi di neve seguono tutti percorsi leggermente diversi dal cielo al suolo, e quindi incontrano condizioni atmosferiche leggermente diverse lungo il percorso. Pertanto, tendono tutti a sembrare unici, assomigliando a tutto, dai prismi e gli aghi al familiare motivo di pizzo.

*Di gran lunga superiore sia per numero che per bellezza e potrei aggiungere interesse a quello di qualsiasi altra collezione al mondo, e, immagino, abbastanza completa nelle forme cristalline dell'acqua raffigurata. La grande maggioranza di questi negativi è in mio possesso e nessuna copia, tranne che su carta; (e alcuni scivoli di lanterne, in varie istituzioni,) sono conservati ovunque negli edifici a prova di incendio. Ho sentito fortemente per alcuni anni che qualche istituzione, e specialmente la Smithsonian Institution, dovrebbe possedere copie permanenti indistruttibili su vetro, almeno delle fotografie scelte della mia collezione. Il pericolo di incendi, fulmini o incidenti qui a casa mia non deve essere ignorato e mi ha causato molta ansia. Mi sembra che una collezione come la mia debba essere messa al di là delle possibilità*

*Lettera di Wilson A. Bentley - 15 dicembre 1904*

**Le regioni criosferiche**, o regioni in cui l'acqua si trova in forma solida, ci forniscono una prova visiva diretta dei cambiamenti di temperatura. A differenza di altre sostanze trovate sulla Terra, il ghiaccio e la neve esistono relativamente vicino al loro punto di fusione e possono cambiare frequentemente fase da solido a liquido e viceversa. Di conseguenza, tendenze al

riscaldamento coerenti e prolungate dovrebbero comportare cambiamenti osservabili nella criosfera terrestre.

Il passaggio dell'acqua da solido a liquido e viceversa spesso si traduce in drammatici cambiamenti visivi in tutto il paesaggio quando varie masse di neve e ghiaccio si restringono o crescono.

Quali sono alcuni esempi di queste masse di neve e ghiaccio, come monitoriamo le loro condizioni e cosa mostrano i risultati?

Nello stato della *criosfera* vengono discussi il manto nevoso, i ghiacciai, il permafrost, il ghiaccio marino, le piattaforme di ghiaccio, le calotte di ghiaccio e il relativo parametro del livello del mare. In tutti i casi, gli scienziati tentano di monitorare sia l'estensione dell'area che la massa di questi corpi di neve e ghiaccio. L'estensione dell'area è più facile da determinare della massa. Varie forme di telerilevamento, sia da aereo che da satellite, ci consentono di guardare in basso su superfici a scale spaziali variabili e nel tempo per determinare se l'area coperta di neve o ghiaccio si sta espandendo o contraendo. Il monitoraggio a lungo termine comprende l'analisi dell'estensione areale del manto nevoso e del ghiaccio marino, nonché i cambiamenti nell'area e la massa dei ghiacciai di montagna.

*Ho fatto tante spese per la mia collezione; molto più di quanto potessi permettermi, che non mi sento nemmeno di poter fare il lavoro fotografico, sviluppando, scambiando ecc. gratis sempre gratis, ma lo farei volentieri a salari molto bassi, anzi. La spesa per realizzare i negativi dipenderà dal fatto che la copia desiderata fosse positiva, (prima copia) o negativa, (seconda copia), e nel caso del positivo, penso che la spesa non supererebbe i 15 cent ciascuno, per i negativi 25 cent ciascuno, o forse 30 centesimi. Se solo 500 dei miei migliori esempi venissero copiati in questo modo, sarebbe*

*un grande sollievo per me, getterei solo circa \$ 80,00 per i positivi e circa \$ 150,00 per i negativi.*

*Se tu, attraverso la tua grande influenza, riuscissi a realizzare il desiderio che ho nutrito così a lungo, te ne sarò profondamente grato, e se desiderassi pubblicare una monografia, o un articolo riguardante la neve o i cristalli di gelo, nel numero trimestrale di le pubblicazioni Smithsonian, scriverò volentieri o fornirò dati per questo fine. (Penso che tu abbia accennato al desiderio di un simile articolo, in una lettera al Prof. [Cleveland] Abbe.)*

*Cordiali saluti,*

*WA Bentley*

I benefici che derivano dall'affrontare i cambiamenti climatici saranno tanto maggiori quanto più le azioni saranno tempestive e ambiziose, con iniziative, integrate, multidisciplinari e capaci di guardare a lunghi orizzonti temporali. Scienziati italiani analizzano il Rapporto Speciale IPCC su Oceano e Criosfera in un clima che cambia.

Il messaggio arriva in maniera estremamente diretta dall'ultimo rapporto dell'IPCC, che ha visto oltre cento scienziati ed esperti di tutto il mondo confrontarsi con la più recente letteratura scientifica in tema di oceano, criosfera e cambiamenti climatici.

Il Report, i cui approfondimenti sono disponibili sul sito dell'IPCC Focal Point per l'Italia (con il comunicato stampa in italiano, domande e risposte sui principali contenuti ad opera di esperti italiani, video, dati e altro), si concentra sul mare e sulle aree ghiacciate del pianeta, e su come il loro rapporto con i cambiamenti climatici sia estremamente importante sia per le popolazioni che vivono in queste aree (670 milioni di persone nelle regioni di alta montagna, 680 milioni di persone nelle zone, 4 milioni di persone che vivono permanentemente

nella regione artica, e i 65 milioni di abitanti degli stati in via di sviluppo delle piccole isole), sia anche per gli equilibri degli ecosistemi marini e costieri, per la disponibilità delle risorse idriche, per gli eventi estremi, per la sicurezza alimentare e per molti settori produttivi e culturali.

‘Il messaggio del report è molto chiaro: la Terra si sta scaldando e produce impatti indiscutibili sulla *criosfera*, che si sta gradualmente riducendo, e sull’oceano che si scalda molto più velocemente di quanto non sia accaduto in passato, con un conseguente innalzamento del livello del mare’,

commenta Dorotea Iovino, responsabile scientifica della ricerca su oceano globale e ghiaccio marino della Fondazione CMCC.

‘Gli scenari mostrano un oceano sottoposto a riscaldamento e aumento del livello marino per tutto il XXI secolo, perdita di ossigeno, maggiore acidificazione, ondate di calore marine sempre più frequenti e più intense’,

osserva Simona Masina, direttrice della divisione di ricerca Ocean Modeling and Data Assimilation del CMCC, studiosa del ruolo dell’oceano nel sistema climatico globale.

‘Senza l’adozione di strategie e misure di adattamento, assisteremo ad un aumento dei rischi di inondazione ed eventi estremi per le comunità costiere, ad un aumento degli impatti negativi sulla biodiversità marina, ad una riduzione del potenziale di pesca e delle risorse marine in generale con conseguenze negative per la sicurezza alimentare, il turismo, l’economia e la salute’.

‘Il rapporto è un’opera fondamentale per capire l’entità del cambiamento climatico in atto e la sua evoluzione a seconda dei diversi scenari climatici’,

...sottolinea Carlo Barbante, professore ordinario all'Università Ca' Foscari Venezia e ricercatore presso l'Istituto di Scienze Polari del CNR.

‘In particolare, quest’ultimo lavoro dell’IPCC permette di apprezzare la stretta relazione che sussiste tra comparti ambientali, quali oceani e criosfera, e le attività umane. Un legame che parte dalla fusione dei ghiacciai polari, si traduce in un aumento del livello dei mari e si conclude con possibili gravi conseguenze per più di 680 milioni di persone’.

‘Il rapporto – continua Barbante – evidenzia il preoccupante stato di salute dei ghiacciai, non solo polari, ma anche alle più basse latitudini, la cui massa complessiva potrà diminuire fino all’80% da qui al 2100. A questo si accompagna anche una riduzione della copertura nevosa che, nel ventennio 2081-2100, potrebbe ridursi fino al 90%. Le conseguenze spazierebbero da una maggiore difficoltà di approvvigionamento di acqua potabile fino alle attività ricreative invernali che potrebbero essere fortemente compromesse, in caso di un riscaldamento superiore ai 2°C’.

Il modo in cui il riscaldamento globale e gli impatti generati porteranno radicali cambiamenti alle condizioni di vita sul pianeta è uno degli aspetti messi in evidenza dal Rapporto e sono commentati da Momme Butenschön, ricercatore nel campo delle scienze del mare al CMCC dove è responsabile scientifico della ricerca sulla modellistica del sistema Terra.

‘L’innalzamento delle temperature – sottolinea Butenschön – mette alcune specie a rischio di estinzione, soprattutto dove sono costrette da limiti topografici, e ne spinge altre a migrare verso ambienti più freddi e latitudini più alte, cambiando così radicalmente la distribuzione degli ecosistemi a livello globale. Inoltre, il

riscaldamento globale e l'acidificazione del mare creano',  
– continua Butenschön – 'pressioni e stress sugli organismi che producono strutture o gusci di calcio, come coralli o conchiglie, ne modificano il metabolismo e ne bloccano la rigenerazione dei componenti di calcio'.

'Dall'azione combinata di questi fattori nasce una riduzione della biodiversità che aumenta la vulnerabilità degli ecosistemi, limitandone la produttività e la resilienza. Una situazione che ha ripercussioni anche sulle persone e sulle comunità umane, soprattutto quelle che vivono nelle aree costiere'.

Conclude Butenschön:

'La perdita di zone costiere a causa dell'innalzamento del livello del mare, la distruzione degli ecosistemi che contribuiscono alla loro protezione, l'assottigliamento delle risorse alimentari che possiamo estrarre dal mare; il degrado e la distruzione di ecosistemi che riducono i nostri spazi per attività di turismo e ricreative. Questi sono alcuni degli impatti dei cambiamenti climatici sugli ecosistemi marini e costieri e la loro influenza sulla vita delle persone. Non dobbiamo poi dimenticare di menzionare gli impatti indiretti che riguardano, ad esempio, il potenziale aumento dei conflitti, le migrazioni e un accresciuto divario tra ricchi e poveri, soprattutto dovuto al fatto che i paesi più sviluppati sono anche dotati di maggiori capacità di adattamento'.

Tutti gli esperti sono d'accordo nell'affermare che la ricerca di soluzioni efficaci richieda un approccio integrato e innovativo.

'Per affrontare questi e altri problemi legati al cambiamento climatico – spiega Carlo Barbante – devono essere superate la frammentarietà e la visione a breve termine delle iniziative politiche per creare sistemi integrati di monitoraggio e protezione degli ecosistemi con un ampio respiro temporale'.



‘Gli impatti dei cambiamenti climatici sull’oceano e sulla **criosfera** producono cambiamenti che riguardano i prossimi decenni e che in alcuni casi sono ormai irreversibili e inevitabili’,

...sottolinea Simona Masina.

‘L’intensità di questi eventi aumenterà in scenari ad elevate emissioni. È indispensabile prendere in considerazione soluzioni che affrontino una simile intensificazione, misure e iniziative capaci di facilitare la gestione di rischi connessi ad eventi quali alluvioni, inondazioni, siccità, incendi, impatti negativi sulla pesca, salute, e agri-/acquacoltura, turismo’.

‘Sono evidenti, nel report, i benefici che derivano dal limitare il riscaldamento globale a più bassi livelli possibili’,

...afferma Dorotea Iovino.

‘Il più importante messaggio che possiamo trarre da questo lavoro è che la conoscenza scientifica può essere, deve essere, insieme con la conoscenza locale, la guida per sviluppare progetti e investimenti in adeguate risposte nel campo dell’adattamento e della mitigazione, con l’obiettivo di gestire i rischi connessi ai cambiamenti climatici e favorire la resilienza’.

Mitigazione (tagliare le emissioni di gas serra) e adattamento: sempre più si prospetta un futuro imminente in cui questi due approcci devono andare di pari passo per limitare i cambiamenti climatici futuri ed essere capaci di affrontare quelli che non possiamo più evitare.

‘Queste ultime strategie – conclude Momme Butenschön – includono soluzioni che si ispirano agli stessi ecosistemi, in modo da portare a benefici

ecologici, economici e sociali. Alcuni esempi riguardano il ripristino di ecosistemi, come praterie marine o barriere coralline che possono proteggere la costa da erosione e inondazioni, ospitare la fauna con benefici anche per la pesca. Altri esempi si rivolgono alla conservazione degli ambienti per offrire rifugio a specie chiave dell'ecosistema e la gestione sostenibile delle risorse'.

## TRANSIZIONE DI FASE

**Il 9 di febbraio del 1865**, l'esercito di **Lee** stava evacuando Richmond mentre l'esercito di **Grant** si stava spostando verso sud per bloccare la ritirata. E quello stesso giorno, nel piccolo villaggio di **Gerico** nel **Vermont** settentrionale, nacque *Wilson Alwyn Bentley*.

Al momento della sua morte, 66 anni dopo, era noto a migliaia di persone in tutto il mondo come *l'uomo del fiocco di neve*. Le sue ricerche sui misteri della pioggia e della neve sono state discusse in oltre 100 articoli di giornali e riviste, in 10 articoli tecnici nel **Monthly Weather Review** e nel suo libro *'Snow Crystals'*.

La fattoria di **Jericho** è stata un punto di riferimento nella quale nacquero nuove idee circa la formazione delle precipitazioni che culmineranno con la pubblicazione di *First Cloud Physicist d'America*.

Un breve articolo del *New York Times* del 24 dicembre 1931 ci informa della fermata del **Tempo** al capolinea del terreno Viaggio di Wilson. Apprendiamo da un breve 'ricordo giornaliero' (assieme a numerosi altri nella stessa data) che *l'Inverno finito, o forse appena iniziato*.

Il ciclo della Stagione dell'«incompreso» [invisibile ed immateriale] Universo ha destinato a miglior *Viaggio* ricongiungendolo al segmento frazionato dell'Infinito in cui posto più elevato Disegno per ciò cui [*Wilson*] destinato nell'Architettura del Tempo studiato.

Tutte le volte che prevediamo pioggia vento e bufera, accompagnare ogni sorta di altro *Elemento* verso la

‘terrena avventura’, penseremo alla neve su incarico del gelo precedere o annunciare il calore della Vita.

Sono più che certo circa *Dio e la sua Natura* il quale li ha posti alle simmetriche condizioni del *Tempo*, perfezionando e evolvendo ogni impercettibile preziosa ‘reliquia’ conforme alla Vita, mortificata e costretta all’involuta e successiva opposta condizione per cui nata ed evoluta.

Comprenderemo dalla *Forma* incarnata di cui *l’Invisibile simmetria...* procedere (hora) confusa verso l’instabile imprevedibilità non conforme alla propria Natura (e Dio che così l’ha pur creata).

Così non ci dobbiamo o possiamo stupire come *pensa crea ed immagina* ogni Elemento il Dio pregato ‘*al di fuori*’ a cui costretto, se pur pregato al circoscritto profetico o prometeico altare dell’agnello sacrificato del *presunto Verbo*.

Sono più che certo di ogni *Elemento* raffigurato e rappresentato per conto del *Perfetto meccanismo* ed ingegno, anche quando deve incarnare lo *Spirito* posto all’Infinito del proprio imperscrutabile *Disegno*: ritornerà quale *Neve Vento ed ogni Elemento* incarnare l’umano intento posto alle condizioni del *Tempo* incompiuto ed incompreso...

Chi saprà leggerne e decifrarne il *Disegno* avrà colto *l’immateriale Spirito* volgere al proprio consolidamento procedere dal nucleo del fuoco al ghiaccio della crosta e viceversa con cui composta la Vita avvolta nella Spirale dell’Universo...

Chi saprà dedurne e comprenderne la *Forma Perfetta* avrà visto ed intuito l’intento e l’invisibile impalcatura di un più probabile Dio, con l’occhio profetico dell’Anima riflesso nel Suo Pensiero... ricostruirne a sua immagine il *Disegno*...

(Giuliano)

*Una simmetria perfetta può provocare disagio.*

*Occorre sempre che un elemento di rottura, anche nascosto, renda la simmetria più vicina alla vita. È riportato da molti autori e in diverse varianti l'idea che l'introduzione di elementi asimmetrici in arazzi o mosaici antichi sia stata fatta a bella posta per non suscitare l'ira degli Dei.*

*Thomas Mann, in un famoso passo della Montagna incantata, fa percepire al protagonista, perdutosi in una tormenta di neve qualcosa di mortale nella 'gelida regolarità', 'ostile alla vita', di ogni fiocco di neve, insieme alla gioia di inventare della natura, dal momento che ogni fiocco era diverso da un altro.*

*Pauli, al termine del suo lavoro su Keplero, osservava (eravamo nel 1952) che gli scienziati avevano perso l'immagine unitaria del mondo e si chiedeva se era possibile recuperarla. La condizione per il recupero era però che le scienze naturali accettassero di essere solo una parte di tale immagine.*

*“Non è che io sappia quanto voi amiate il Nulla, così mi è facile presumere che un regalo vi sarà tanto più gradito quanto più esso sia prossimo al Nulla.*

*Qualunque sia l'oggetto che vi aggradi come evocazione del Nulla, bisogna che esso sia di tenue importanza, di piccola misura, di prezzo minimo, e che non sia granché durevole, cioè che sia quasi Nulla.*

*Nella Natura, queste cose abbondano e una scelta si impone, ecco dunque una stenna d'elezione per un amatore del Nulla e degna d'esser offerta ad un matematico che non ha Nulla e non riceve Nulla, perché i fiocchi cadono dal cielo e sono simili alle stelle.*

*Vogliate ricevere in tutta serenità questa approssimazione del Nulla e, se Voi l'appreziate, trattenete il fiato, per paura di trovarvi con Nulla.*

*Ecco allora perché esaminare il motivo per cui le nevi alla loro prima caduta, prima di aggrovigliarsi in fiocchi più grossi, sono sempre esagonali, ed hanno, ogni volta, sei raggi vellutati come piccole piume...*

*(Keplero)*

Il filo conduttore di questa 'filosofica preghiera' si sviluppa intorno al dualismo *esagono-pentagono*, vale a dire sulla contrapposizione tra mosaici (tessellazioni oppure tassellazioni, pavimentazioni o tiling del piano) le cui tessere hanno la forma di esagoni regolari e mosaici più complessi formati da tessere di diverse forme, tra cui sono presenti pentagoni regolari.

*La simmetria esagonale*, che si manifesta in forma spettacolare nella struttura microscopica **di singoli fiocchi di neve** (cristalli di ghiaccio), può essere realizzata a livello macroscopico riproducendo in modo periodico piastrelle esagonali fino a ricoprire un pavimento di **estensione infinita**: qualsiasi sia il punto in cui ci soffermiamo, vediamo intorno a noi lo stesso tipo di configurazione infinitamente ripetuta e uguale a se stessa.

**Al contrario**, i tiling di *Penrose* non sono replicabili uniformemente in modo da ricoprire l'intero piano: esistono **regioni di estensione finita** che manifestano la simmetria pentagonale quasi ovunque, ma tale simmetria si perde al crescere dell'estensione della regione considerata, cioè spingendo lo sguardo sempre più lontano. Si potrebbe chiamare tale fenomeno **rottura di simmetria** (termine però utilizzato nella moderna fisica teorica in riferimento a simmetrie di origine dinamica).

La linea di ragionamento che seguirò si ispira alla monografia di *Marjorie Senechal* che tratta, in modo non troppo tecnico e permeabile a varie contaminazioni culturali e artistiche, la disciplina nota come *cristallografia matematica*, dalle sue origini ottocentesche agli anni '90 del Novecento. Nel libro si fa anche riferimento ai *quasi-cristalli*, la cui scoperta sperimentale, avvenuta nel 1982 ha portato nel 2011 all'assegnazione del premio Nobel per la Chimica a *Dan Shechtman*.

Il personaggio che ci farà da guida è **Johann Kepler** (1571– 1630), ricordato al giorno d'oggi principalmente per il suo contributo fondamentale all'astronomia. Nel libello *Strenasenu de nive sexangula* del 1611, 'dedicato ad un amico come regalo per il nuovo anno', *Keplero* fornisce un paio di spiegazioni sul motivo per cui i fiocchi di neve hanno forma esagonale.

Nei primi due capitoli del successivo trattato *Harmonices mundi* (1619) sono discusse le proprietà di congruenza delle figure piane e solide al fine di riconoscere la pervasiva presenza di **'proporzioni armoniche'**, che potremmo accostare se pure alla lontana con il concetto moderno di simmetria, inteso come gruppo delle trasformazioni rigide che lasciano una certa figura o configurazione geometrica invariata (isometrie).

La seconda parte di *Harmonices mundi* tratta dell'origine delle proporzioni armoniche nella musica, delle configurazioni armoniche in astrologia e infine delle armonie riscontrabili nel moto dei pianeti, proprietà formalizzate alla fine del trattato nella terza legge delle orbite che stabilisce che il cubo del semiasse maggiore dell'orbita ellittica di un pianeta proporzionale al quadrato del suo periodo di rivoluzione. (La prima e seconda legge erano state stabilite precedentemente nell'opera *Astronomia Nova*).

*Le basi filosofiche neopitagoriche e neoplatoniche* di *Kepler* si fonderanno successivamente in modo singolare nel suo tentativo (*Mysterium cosmographicum*, 1597) di legare le regolarità osservate nel nostro sistema planetario a precise proprietà dei cinque solidi platonici iscritti uno nell'altro.

E' proprio ragionando sulle proprietà morfologico – strutturali che *Roger Penrose*, matematico e fisico ancora vivente, ha introdotto a metà degli anni '70 il primo dei suoi tiling non periodici: il fenomeno della *rottura di simmetria* non comporta però una transizione a configurazioni completamente irregolari e caotiche: guardando e riguardando si scoprono infatti zone che presentano un certo grado di regolarità, anche se non riusciamo a formalizzare queste impressioni...

Esaminando *De nive sexangula* e grazie a tecniche fotografiche ultraraffinate possiamo apprezzare le immagini di miriadi di tipologie di cristalli di ghiaccio, e in effetti quello che colpisce `e la costante presenza *della simmetria esagonale*.

### **Quale è l'origine fisica di tale simmetria?**

Nelle opere sopra citate *Keplero* fornisce due spiegazioni: il fiocco di neve che si forma e si muove liberamente nel suo ambiente naturale (l'aria umida delle nuvole) avrebbe la forma di una stella le cui sei punte sono dirette verso i sei vertici di un ottaedro: cadendo al suolo si appiattisce assumendo una forma esagonale, *vale a dire mantenendo 'memoria' della sua simmetria originaria*.

Questa spiegazione, rifiutata da *Kepler* stesso, ci appare ancora oggi almeno verosimile, anche se l'eventualità che si formino in tal modo esagoni perfettamente regolari non può essere che un caso raro, in contrasto con l'osservata simmetria della stragrande maggioranza dei cristalli di neve.



*Inciso su Platone:* trovo curioso che il *neoplatonico Kepler* associ il fiocco di neve al solido platonico che rappresenta l'aria: forse aveva intuito che queste forme cristalline possono formarsi solo inglobando nelle gocce d'acqua ampie zone 'vuote', occupate appunto dall'aria. *Platone, nel Timeo*, associa il **tetraedro, l'ottaedro, il cubo, e l'icosaedro rispettivamente a quelli che erano allora ritenuti i quattro elementi fondamentali: fuoco, aria, terra, e acqua.**

**Il dodecaedro**, non realizzabile unendo opportunamente triangoli (come invece avviene per gli altri poliedri citati), **veniva invece associato all'immagine del cosmo intero**, realizzando la cosiddetta *quintessenza*.

La seconda spiegazione fornita in *Harmonices Mundi* contiene l'idea che i cristalli di neve siano originati da aggregazioni di gocce d'acqua sferiche, e che la loro struttura geometrica macroscopica rifletta quindi analoghe proprietà microscopiche.

*Robert Hooke* ha ripreso questa intuizione di *Kepler* circa 50 anni più tardi (*Micrographia* 1665), arricchendola di una più solida base fenomenologica dovuta all'utilizzo del microscopio. *Le intuizioni di Keplero e Hooke* sulla struttura modulare dei cristalli sono state formalizzate solo nel 1822 dall' abate francese *Rene Just Haüy*, il padre della cristallografia moderna.

**La risposta moderna alla domanda iniziale si basa su una serie di nozioni di chimica, fisica delle transizioni di fase e matematica delle strutture frattali.**

**Mi limiterò solo all'illustrazione di pochi concetti di base.**

L'origine di tutto è ovviamente nella formula chimica della molecola dell'acqua,  $H_2O$ , e nell'osservazione ovvia

che questa sostanza si presenta nella vita di tutti i giorni nei tre possibili stati (o fasi): stato gassoso (vapore acqueo), liquido e solido (ghiaccio).

Da notare che le 6 varie denominazioni dei fenomeni di **'passaggio tra stati'**, ad esempio la transizione tra stato liquido e stato gassoso si chiama **'vaporizzazione'**. La formazione di fiocchi di neve avviene sostanzialmente (ma non esclusivamente) attraverso la **'deposizione'** (chiamata anche in modo impreciso **'condensazione'**). Ci troviamo quindi a temperature inferiori a 0 °C, e il vapore acqueo presente nelle nubi solidifica in cristalli senza passare per lo stato liquido.

Il passo successivo consiste nel realizzare che il modo di cristallizzazione 'normale' per l'acqua è quello esagonale, questa forma corrisponde alla fase stabile del ghiaccio, che si manifesta a pressioni e temperature compatibili con i fenomeni naturali di cui stiamo parlando.

**La simmetria esagonale** nasce quindi da qui, ma questa spiegazione così semplice **non è sufficiente** per dar conto delle molteplici forme dei cristalli di neve che possono manifestare configurazioni stellate con ramificazioni varie delle punte ('dendriti') che rimandano a strutture frattali sovrapposte alla simmetria esagonale.

Possiamo altresì constatare una grande variabilità morfologica: strutture esagonali piatte più o meno compatte e suddivise in settori, prismi esagonali (solidi o vuoti all'interno), aghi...

**I cristalli** tendono a forme più semplici quando l'umidità (supersaturation) è bassa, **ma il meccanismo per cui le forme cambiano così marcatamente con la temperatura non è stato ancora spiegato.**

*Siamo in presenza infatti di processi di crescita molto complessi:*  
descrivere il modo in cui molecole di vapore acqueo

sono incorporate in un certo cristallo che si sta formando coinvolge un grande numero di parametri fisici e dipende anche dal modello fisico–matematico che descrive la dinamica di crescita.

In questi contesti così diversi viene disquisito come, dietro alla semplicità a un po' banale e monotona di un esagono regolare, si possano nascondere in realtà strutture altamente complesse sia da un punto di vista fenomenologico che dal punto di vista della modellizzazione matematica.

Un percorso mentale opposto, che parte dalla complessità per arrivare alla simmetria esagonale perfetta, si ritrova in un brano da *La Montagna Incantata* di Thomas Mann che descrive la passeggiata sugli sci del protagonista, Castorp, sotto una nevicata nelle campagne che circondano il sanatorio in cui è ricoverato.

Separo il testo in due parti: la prima trasmette il senso di meraviglia per la varietà e complessità di cui ho appena parlato...

*Castorp fece un passo avanti per far(ne) cadere alcuni fiocchi sulla manica e osservarli con la competenza dello studioso dilettante. Sembravano straccetti informi, ma più di una volta egli ne aveva visti attraverso la sua buona lente e sapeva benissimo di che gioielli graziosamente regolari erano composti, di oggetti preziosi, stelle cavalleresche, fermagli di brillanti, che più ricchi e minuziosi non avrebbe saputo creare neanche il più coscienzioso gioielliere,... anzi quel bianco polverio, lieve e soffice, che ammassato gravava sul bosco e copriva la landa, e sul quale lo portavano le sue assicelle, era pur diverso dalla natia rena marina, alla quale faceva pensare: questi non erano, si sa, granelli di sasso, bensì miriadi di particelle d'acqua congelate e variamente cristallizzate – particelle della sostanza inorganica che fa sbocciare anche il plasma della vita, il corpo dei vegetali e dell'uomo – e tra quelle miriadi di stelline magiche nella loro minuta e segreta magnificenza, inaccessibile e d'altronde neanche destinata al nudo occhio umano, non ce n'era una che fosse uguale all'altra; una*

*illimitata gioia d'inventare si manifestava nella variazione e nella finissima elaborazione di uno stesso invariabile schema, quello dell'esagono equilatero – equiangolo...*

...Mentre nella seconda parte si insinua la repulsione per l'eccessiva regolarità e monotonia, e prende voce l'angoscia del protagonista che comincia a presagire il suo destino...

*...Ma in se stesso ciascuno di quei freddi prodotti era di una simmetria assoluta, di una gelida regolarità, anzi questo era il loro lato inquietante, antiorganico, ostile alla vita; erano troppo regolari, la sostanza organizzata per vivere non lo è mai fino a tal punto, la vita aborre la precisione esatta, la considera letale, come l'enigma della morte stessa, e Castorp credette di intuire perché i costruttori di templi antichi abbiano introdotto di nascosto piccole divergenze nella simmetria dei loro ordini di colonne.*

Si potrebbe chiosare questa citazione in termini scientifici dicendo che i processi di evoluzione (non solo organica) sono prodotti da meccanismi dinamici di competizione tra ordine (simmetria) e 'divergenze nella simmetria'.

Si potrebbero poi anche riabilitare i fiocchi di neve osservando come oggi sia largamente accettata l'ipotesi avanzata dagli astrobiologi che la vita sulla terra abbia avuto origine grazie all'arrivo di molecole organiche intrappolate in cristalli di ghiaccio (non necessariamente H<sub>2</sub>O) diffusi dalle comete nello spazio interplanetario.

*(A. Marzuoli)*

Anche *Bentley*, paradossalmente, nella morte a causa di una polmonite dopo una passeggiata nella tempesta di neve, dimostrò (...pur non volendo ed immagino inconsapevolmente...) di essere simmetrico alla ricerca di una vita intera spesa per l'amore di un Elemento, e con lui i molteplici aspetti assunti in Natura. L'amore di una vita intera impone il ruolo di ricercatore e scienziato

autodidatta non meno di meteorologo; pur non dimenticando l'artista, consapevole o meno, circa la propria Arte adattata ai vari schemi della scienza, la quale scienza a sua volta appaga, oltre l'avventuroso spirito di ricerca anche il meno nobile scopo della ricchezza. Anche, se immagino, ogni sua lastra fotografica pari ad un quadro, nel quale l'artista scorge e cerca di far intendere ciò di cui capace la Natura nell'apparente Nulla di cui l'artista interprete e cantore al pari di ciò per cui (consapevolmente o non, inconsciamente o non...) simmetricamente motivato: una pioggia una nevicata un cielo carico di tesori distribuiti fra acqua gelo e neve.

L'occhio intuisce e vede, la mente dell'Anima traduce e ricerca quanto ci appartiene quale codice genetico simmetrico ed affine alla Natura... Un processo di reciproca trasmutazione scientifica del quale abbiamo già accennato, uguale allo Spirito interpretato circa la Natura studiata nelle vari fasi di transizione dall'immateriale alla materia incarnata. Il ciclo compie la propria Opera di morte e rinascita, se pur invisibile questo il rapporto che intercorre fra il soggetto e l'oggetto della propria ricerca quale dottrinale genesi riflessa nella 'materia'.

Le commoventi Lettere lo annoverano fra gli artisti mal corrisposti nel proprio genio (se pur celebrato come un 'fiocco di neve o meglio di cristallo'...).

Per questo motivo sono sicuro che taluni fenomeni non esattamente rivelati dalla scienza, così come il principio di cui la vita, presentano delle impossibili soluzioni per ciò concernente le certezze dedotte ed interpretate dalla materia, sia essa scientifica che dottrinale. Quindi solo con l'ausilio della metafisica possiamo accordare una più logica (illogica secondo taluni) spiegazione dell'immateriale al quale demandiamo al principio del Nulla di cui Kepler al pari di un artista ci fornisce nobile 'poetica'; in quanto se pur principio di Vita svelarne la progressiva evoluzione (proveniente da una meteora precipitata in Terra annunziare salvezza...)

comporta una paradossale condizione di opposta concretezza.

È plausibile ed ereticamente conseguibile, accettando anche ciò di cui un nesso ‘specifico e/o specificante’ può ricadere nell’apparente ‘casualità’ posta in ordine crescente per come dedotta (superando la fenditura di cui la particella o l’onda) e formulare, all’opposto, concreta certezza, più concreta certezza senza per questo ricadere nell’illogica spiritualità affine al Nulla...

...Giacché come più volte letto, un Nulla ampiamente specificato motivo dell’intero Creato, ed oltretutto anche perseguitato (come il Tomo in cui trascritto l’araldo della propria ed altrui radice, dalla Terra sino alla più alta foglia e ramo protesi nella volontà frutto della Vita, e successivamente corrisposti ed esposti all’umano proibito divieto ‘interpretativo’ di un più (in)certo Verbo e, di conseguenza, condotti al rogo di una più volgare e materiale concretezza affine alla seminata ignoranza di cui Roma signora indiscussa...).

*(Giuliano)*