



Le precipitazioni

I. Gallai, D. B. Giaiotti, F. Stel

*Arpa FVG – Centro Regionale di Modellistica Ambientale
Unione Meteorologica del Friuli Venezia Giulia - ONLUS*

***“Come puoi pretendere di guadagnare denaro
se non sai nulla di meteorologia”***

(da “Le Nuvole” di Aristofane ; 423 aC)



**Che età avevate quando avete visto
per la prima volta la pioggia?**

Boh!?

**Sembra strano, ma solo di recente (~1941)
si è iniziato ad avere un quadro abbastanza completo ed
esauriente sui meccanismi che portano alla pioggia.**



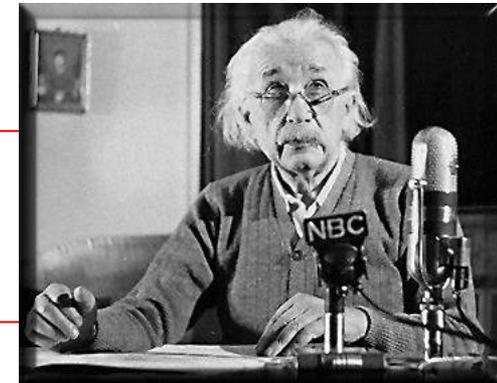
Galileo (1564-1642) non sapeva neanche come si formano le nuvole

Volta (1745-1827) sapeva come si formano le nuvole ma non come si formano le gocce di pioggia



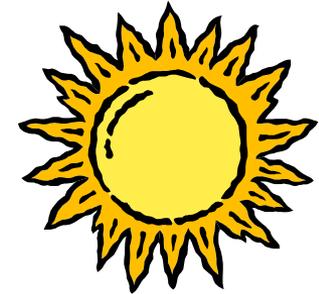
Newton (1642-1727) non sapeva neanche come si formano le nuvole

Einstein (~1905) sapeva come si formavano le nuvole, ma non come si formano le gocce di pioggia





Al principio c'è il sole, che con la sua energia fa evaporare l'acqua liquida trasformandola in vapore acqueo



Se il riscaldamento trasforma l'acqua liquida in vapore, allora il raffreddamento farà ritrasformare il vapore in acqua liquida

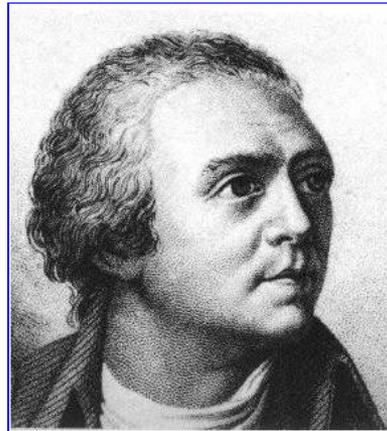




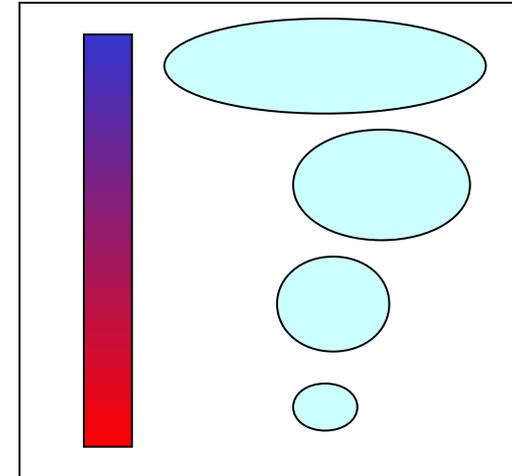
Cosa causa il raffreddamento?



**Von Guericke
~1638**

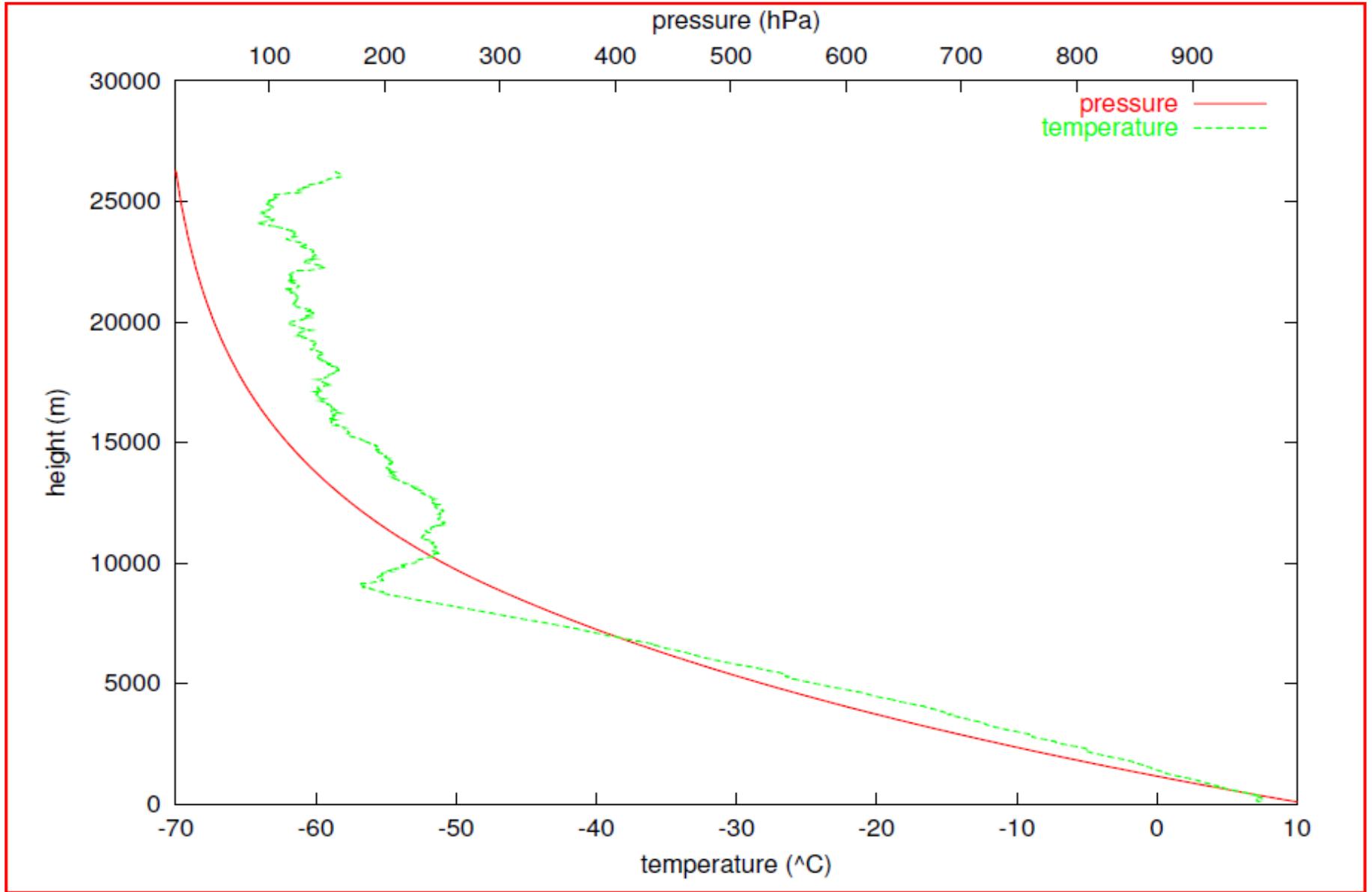


**De Saussure
(~1783)**



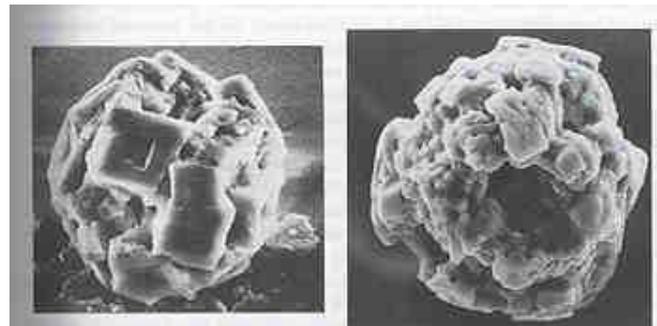
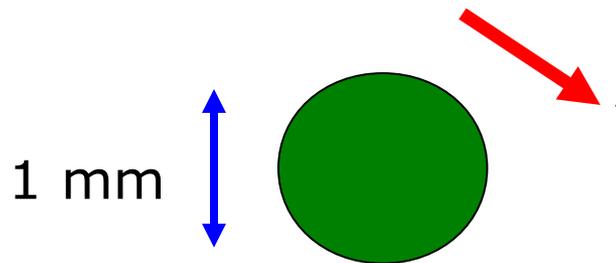
**L'idea giusta l'ebbe Erasmus Darwin (1788):
il sollevamento dell'aria
ne causa il raffreddamento.**





Ma il raffreddamento da solo non basta: l'acqua è pigra!

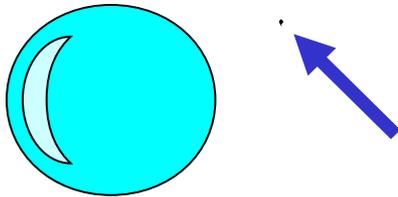
Coulier (~1875) e Aitken (~1878) mostrarono che senza le microscopiche particelle solide disperse nell'aria, la condensazione non potrebbe avvenire.





**Il raffreddamento è provocato dai moti verticali dell'aria;
la condensazione è provocata dalle particelle solide sospese;
abbiamo capito tutto?**

**Le gocce che così si formano sono di gran lunga troppo piccole
per poter rendere conto della pioggia**



**Goccioline così piccole impiegherebbero
troppo tempo per cadere al suolo (~varie ore)**



Le nubi sono piene di goccioline, ma troppo piccole (c'è troppa "sporczia" nell'aria). Bisogna trovare il modo di far crescere le goccioline d'acqua

Per fortuna c'è il ghiaccio



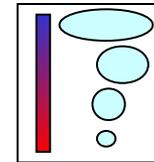
Wegener ~1911



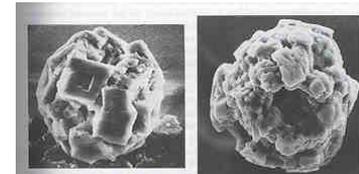


Bergeron (1933) e Findeisen (1938) formularono la prima teoria completa sulla formazione della pioggia

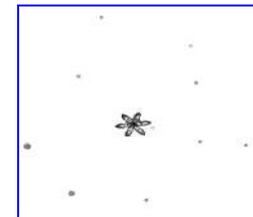
Il sollevamento dell'aria produce il raffreddamento



Le particelle solide disperse in aria danno origine alle goccioline e cioè alle nubi



I cristalli di ghiaccio, dopo essersi formati, crescono a scapito delle goccioline nelle nubi, formando cristalli sempre più grossi



I cristalli grossi, sciogliendo, producono la pioggia

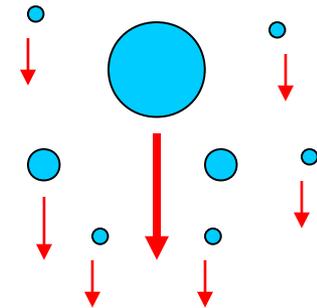
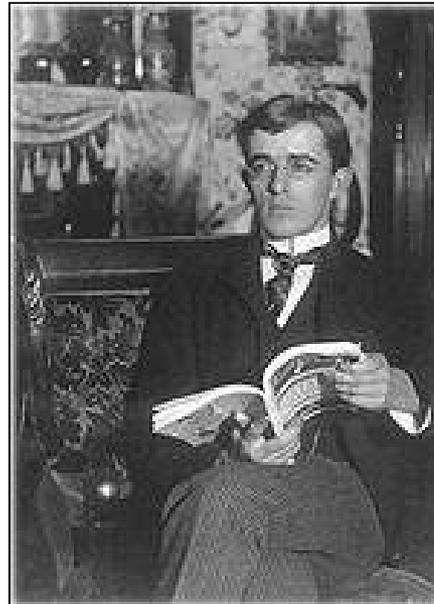


Unico problema in questa teoria è che le nubi devono avere almeno una parte " fredda" (temperatura inferiore a 0 °C)

Ci sono sempre di mezzo i militari!

Nel ~1940 alcuni piloti notarono che nubi calde producevano pioggia

Langmuir (~1945) propose la teoria della **coalescenza.**





Ma in definitiva: perché piove?

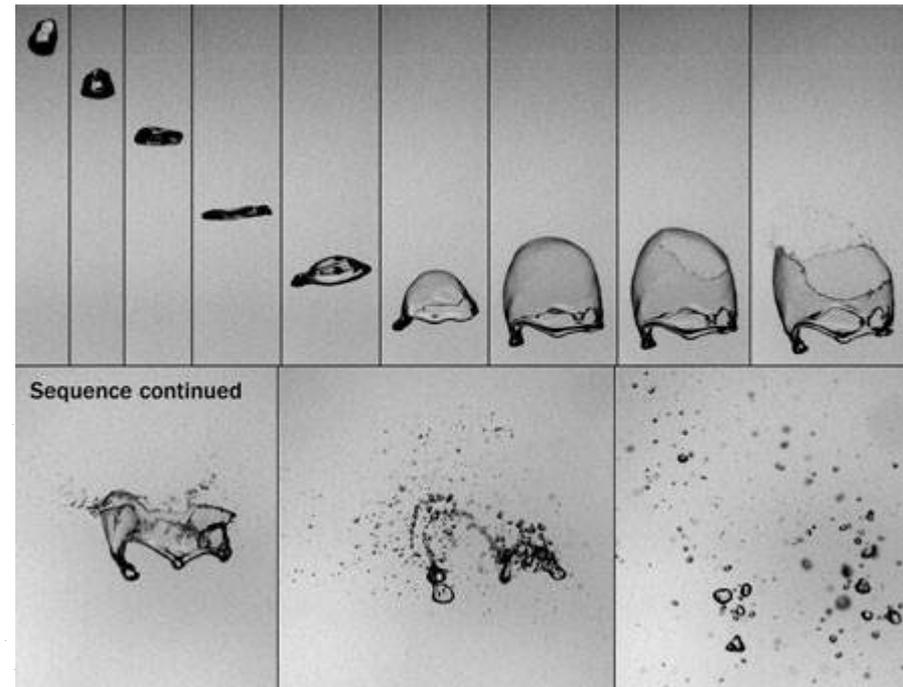
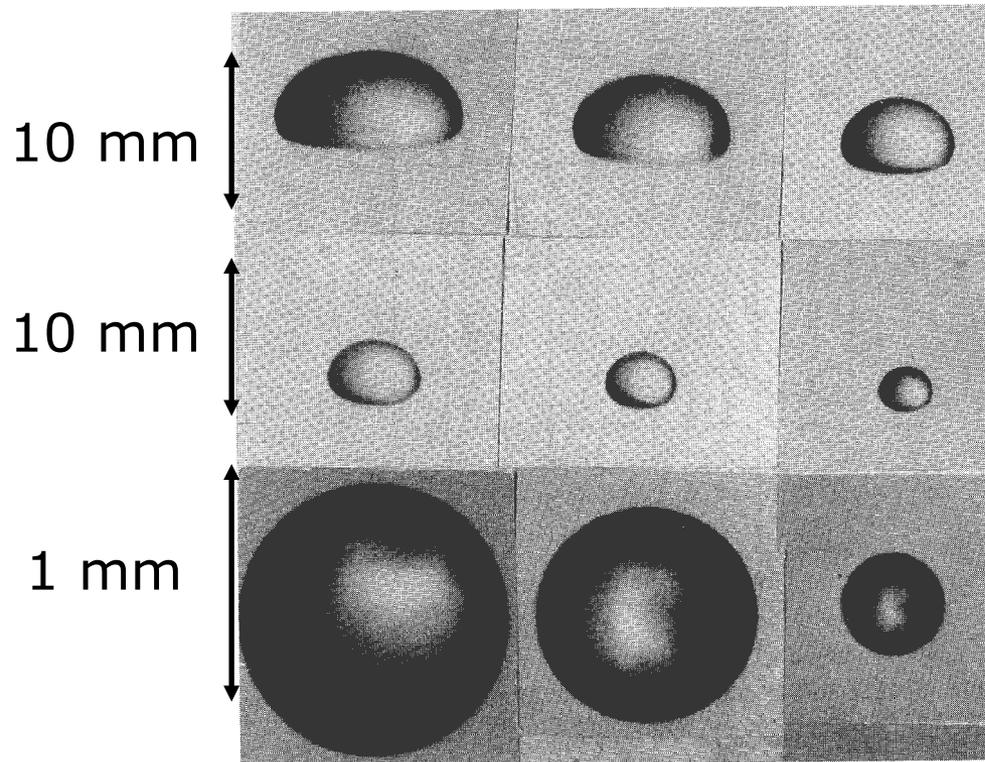
Sia la teoria di Wegener-Bergeron-Findeisen che della coalescenza sono **attualmente considerate "vere"**

Il meccanismo proposto da WBF è più efficiente nelle piogge autunnali e invernali e alle medie latitudini

Nelle regioni tropicali, le piogge sono principalmente prodotte per coalescenza

Nei temporali, anche alle nostre latitudini, la pioggia è prodotta sia per coalescenza che per WBF

Le gocce non hanno la forma di goccia!





Come si forma la grandine?

Il signore disse a Mosè: “Stendi la mano verso il cielo, vi sia grandine in tutto il paese di Egitto, sugli uomini, sulle bestie e su tutte le erbe dei campi nel paese di Egitto!”.

[...] Ci furono grandine e folgori in mezzo alla grandine.

[...] La grandine colpì tutta l'erba della campagna, e schiantò alberi [...] soltanto nel paese di Gosen, dove stavano gli Israeliti, non vi fu grandine.

(Esodo 22-26 ~1250 a.C.)

Che cosa è la grandine?

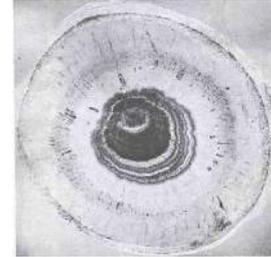
La grandine è definita come una precipitazione di ghiaccio solido i cui costituenti abbiamo un diametro superiore ai 0.5 cm

Se il ghiaccio è solido ma di dimensioni inferiori si parla di “graupel”, “proiettili di ghiaccio”, “sleet”, ...

*“Ogni temporale possiede al suo interno la grandine”
Charles Knight - NCAR*

*“La grandine, sebbene molto raramente, può essere prodotta anche da nubi NON temporalesche (cioè senza fulmini e tuoni)”
9 Dicembre 2007 (Cassacco UD)*

Da “www.fenomenitemporaleschi.it”

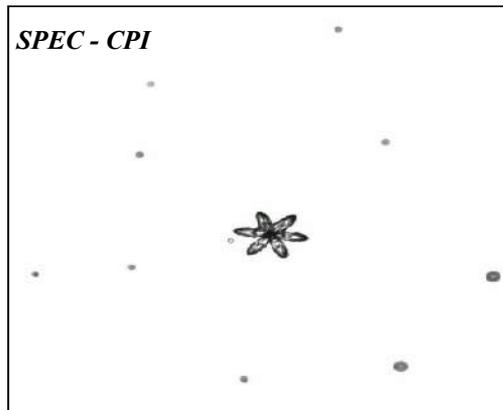


Che cosa è la grandine?

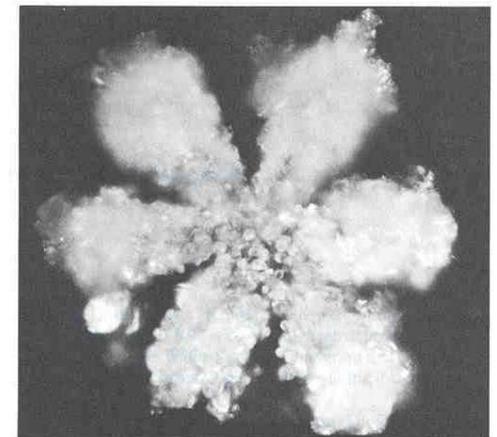
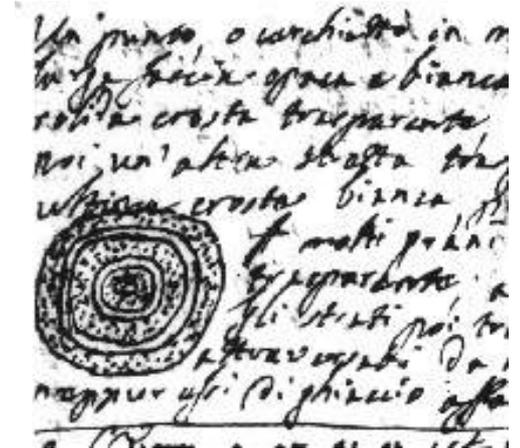
La grandine è essenzialmente un fenomeno legato alla **dinamica** delle nubi, cioè ai movimenti, soprattutto verticali (ma non solo), che in esse hanno luogo

I **meccanismi microfisici** svolgono comunque un ruolo fondamentale per permettere la formazione della grandine

SPEC - CPI



Alessandro Volta. 1806



Neve al suolo

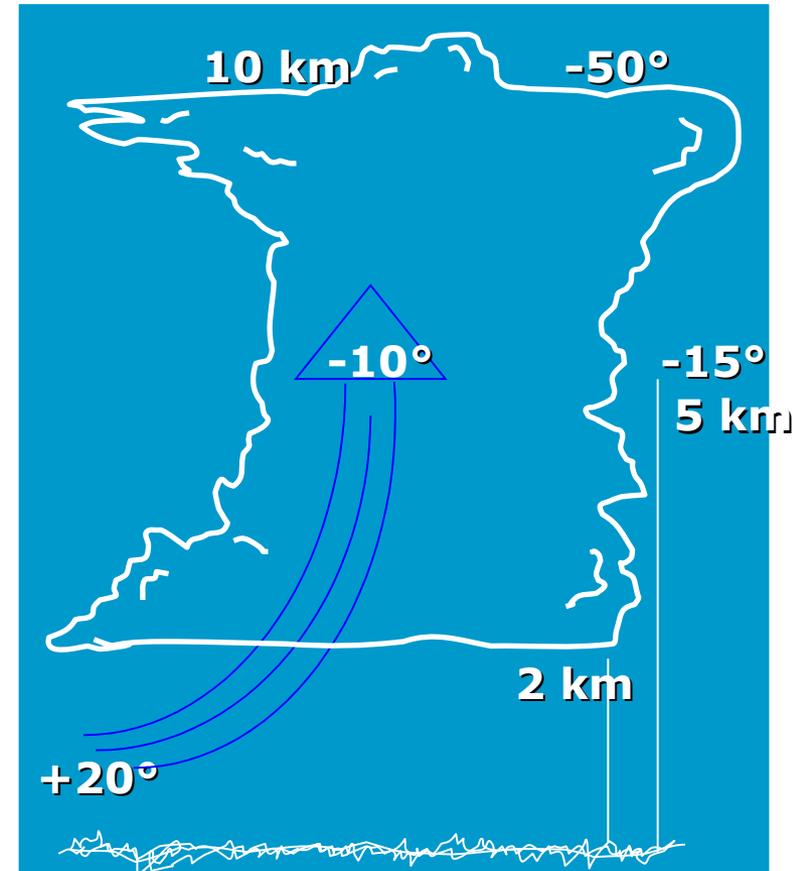
Come si forma la grandine?

Perché la grandine si formi è necessario avere:

- **Intensi moti ascendenti**
- **Tanto vapore acqueo nei bassi strati**

I **moti ascendenti** non devono essere “perfettamente verticali” ma inclinati (shear verticale del vento) per questo la grandine è un fenomeno tipico delle “medie latitudini”

Il **vapore acqueo** devono essere “confinato” nei bassi strati atmosferici (mix ratio > 6 g/kg)



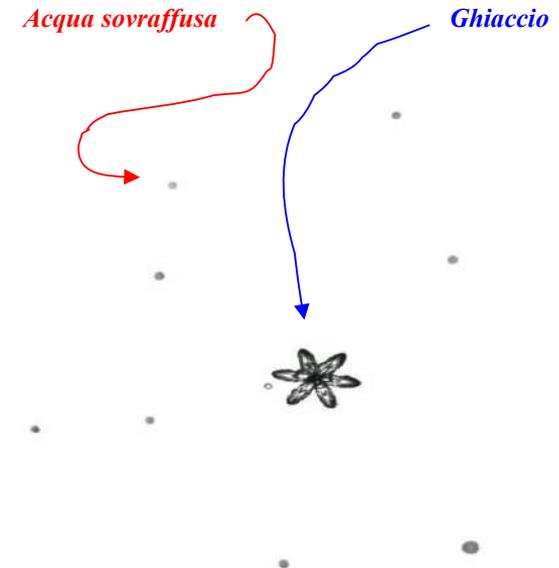
Come si forma la grandine?

Poiché l'acqua ha una **tensione superficiale** (relativamente) molto grande questo sfavorisce i suoi cambiamenti di stato

- Il vapore acqueo “fa fatica” a diventare liquido
- L'acqua liquida “fa fatica” a diventare **ghiaccio**

Nelle nubi è molto frequente trovare contemporaneamente acqua liquida e ghiaccio anche a **temperature di -10 o -15 °C**

L'acqua sovraraffusa è instabile: basta una minima sollecitazione per farla diventare rapidamente **ghiaccio** cosa che avviene accompagnata dal rilascio del **calore latente di solidificazione**



SPEC - CPI

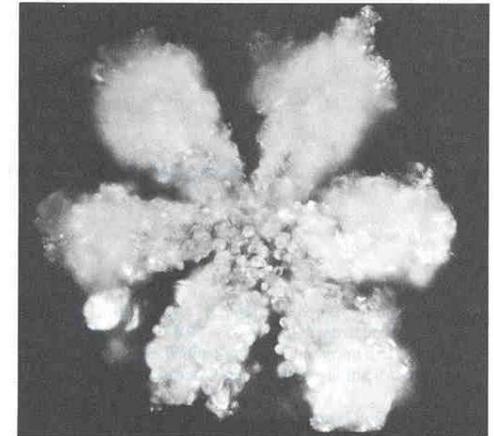
Come si forma la grandine?

Perché la grandine si formi è necessario avere:

- **Acqua sovraffusa (ancora liquida a $T > 0\text{ °C}$)**
- **Contemporanea presenza di ghiaccio**

I **moti ascendenti** (raffreddamento) favoriscono la “condensazione” del vapore (tante goccioline)

Il **ghiaccio** “raccolge” le goccioline d’acqua sovraffusa le quali “congelano” rapidamente rilasciando il calore latente di solidificazione

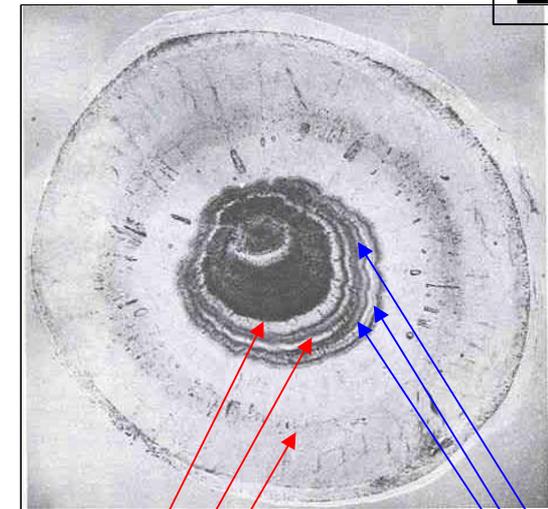


Come si forma la grandine?

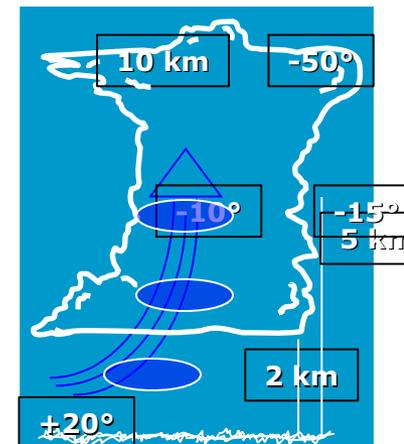
La formazione degli strati opachi e trasparenti:
Non è dovuta a ricircolo nella nube
Dovuta all'abbondanza di acqua sovraffusa

Tanta acqua sovraffusa rilascia molto calore latente e il **congelamento si ha lentamente e ordinatamente** (e.g., ghiaccioli in frigorifero)

Poca acqua sovraffusa rilascia poco calore latente. **Congelamento si ha velocemente e in maniera disordinata** (e.g., fiocchi di neve)

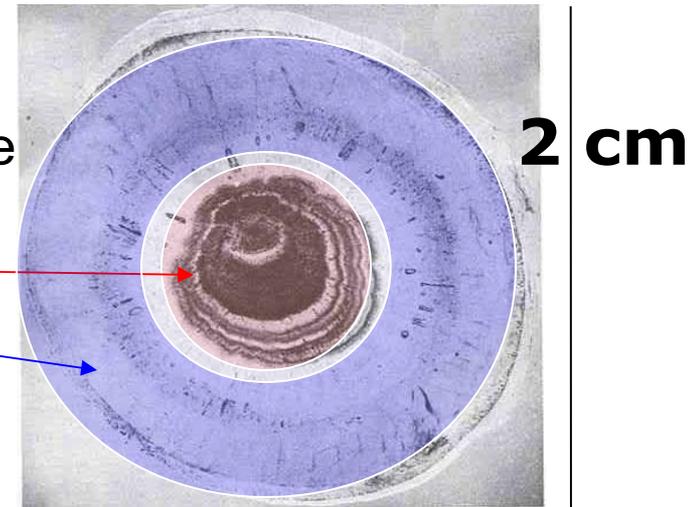


2 cm

*Tanta acqua sovraffusa**Poca acqua sovraffusa*

La formazione della grandine è molto rapida. In circa 20' dalla formazione della nube si può avere grandine al suolo.

- **Primo stadio (lento): formazione dell'embrione**
- **Secondo stadio (rapido): crescita del chicco**



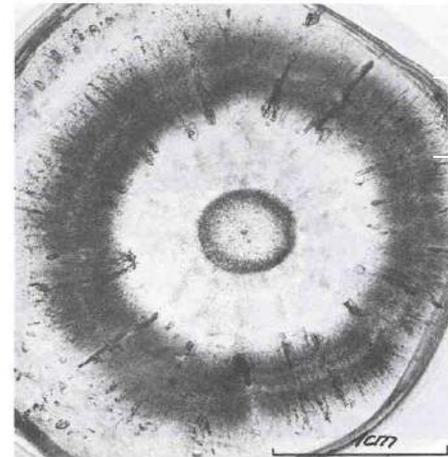
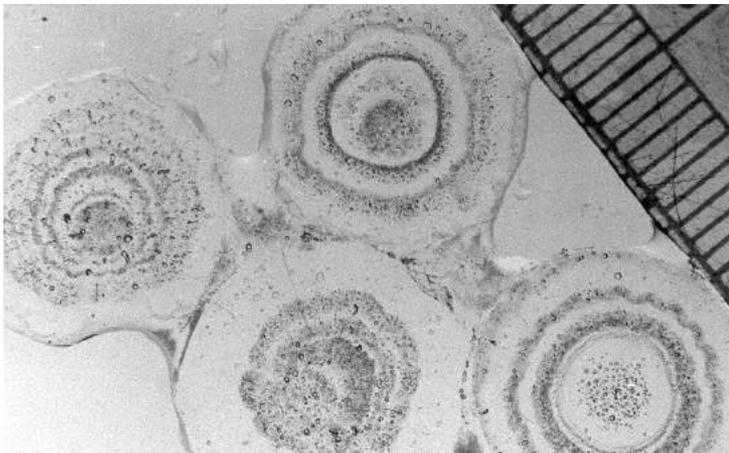
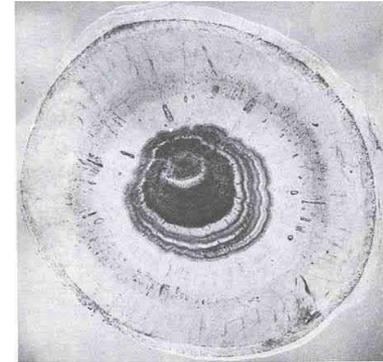
L'embrione, essendo piccolo (< 0.5 cm), può restare sospeso a lungo nelle nubi o passare da una nube all'altra

La crescita del chicco (che lo porterà al suolo) avviene quando l'embrione incontra molta acqua sovrassatura

Gli embrioni possono essere di vario tipo:

- **Graupel (o ghiaccio irregolare)**
- **Goccia congelata**

I diversi tipi di embrione caratterizzano un'area climatica (NE Italia sono tipicamente graupel)





I chicchi portano con se informazioni dell'ambiente ove sono cresciuti:

- Forma sferica indica rotazione del chicco
- I chicci più grossi sono generalmente irregolari
- I lobi indicano sovrabbondanza di acqua sov.

San Quirino (PN - Italia) 04 giugno 1999



Coffeyville (Kansas - USA) 03 settembre 1970



Aurora (Nebraska - USA) 22 giugno 2003

Povoletto (UD - Italia) 29 giugno 2005

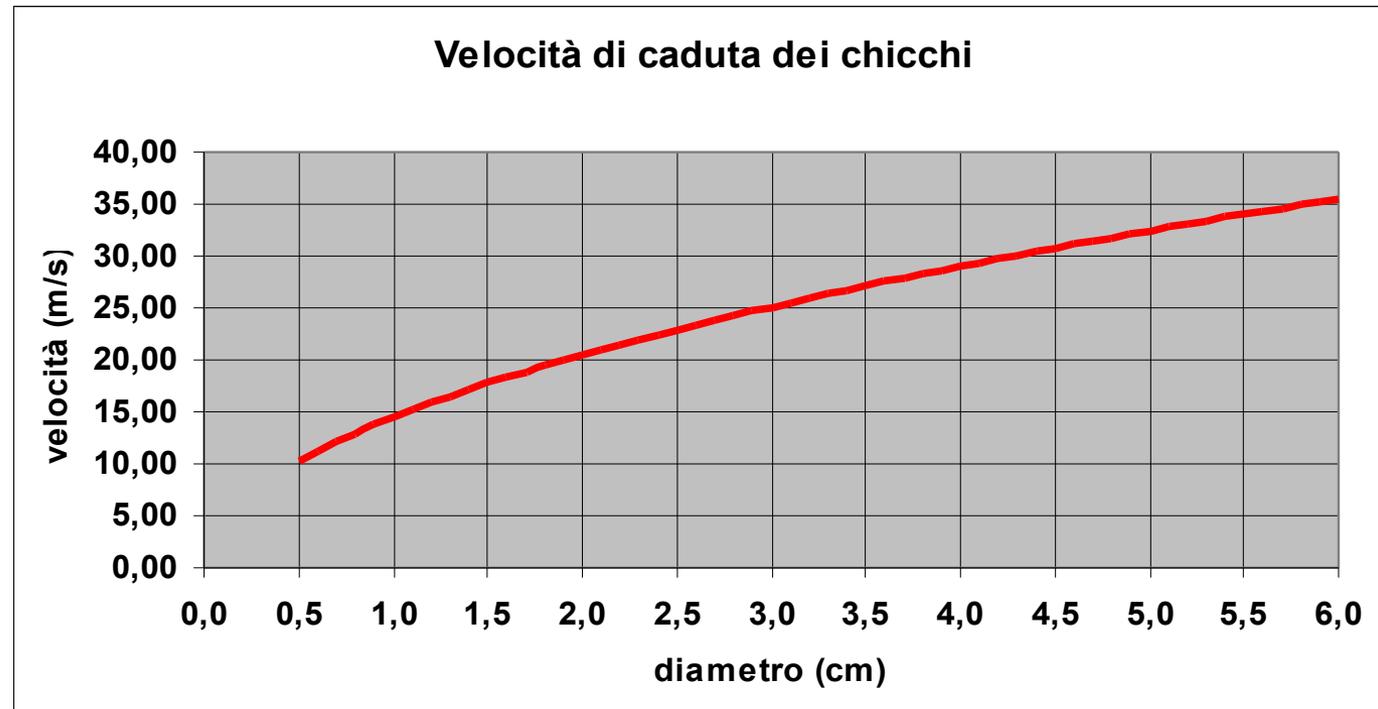




Le dimensioni dei chicchi sono collegate alla intensità delle correnti ascendenti. In generale si assume che la corrente ascendente sia almeno uguale alla velocità di caduta del chicco

Queste stime sono comunque indicative in quanto dipendono fortemente dalla densità dei chicchi e dalla resistenza idrodinamica (legata alla forma!)

Chicchi con diametro superiore ai 5 cm sono generalmente associati a temporali supercella





La grandine. 1990. G. M. Morgan. Pubb. ERSA FVG. Gorizia I

Il chicco di grandine. 1985. F. Prodi e A. Strolin Franzini. Guide Calderini. Bologna I

Severe Convective Storms. 2001. C. Doswell. American Meteorological Monographs. Boston USA

Temporali, tornado e storm chasing. 2006. AAVV. Alpha Test Edizioni. I



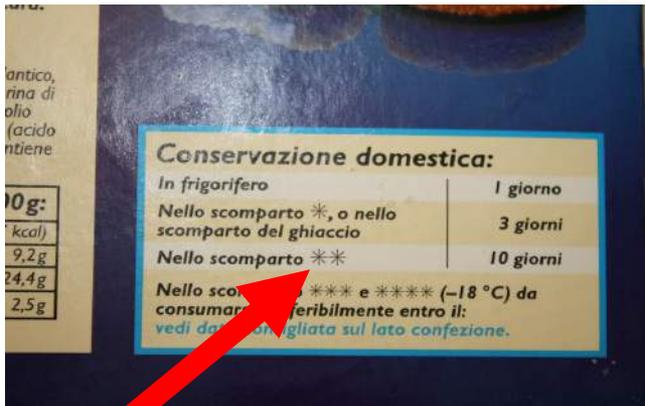
La Neve

Cur autem sexangula?

(Giovanni Keplero 1571-1630)



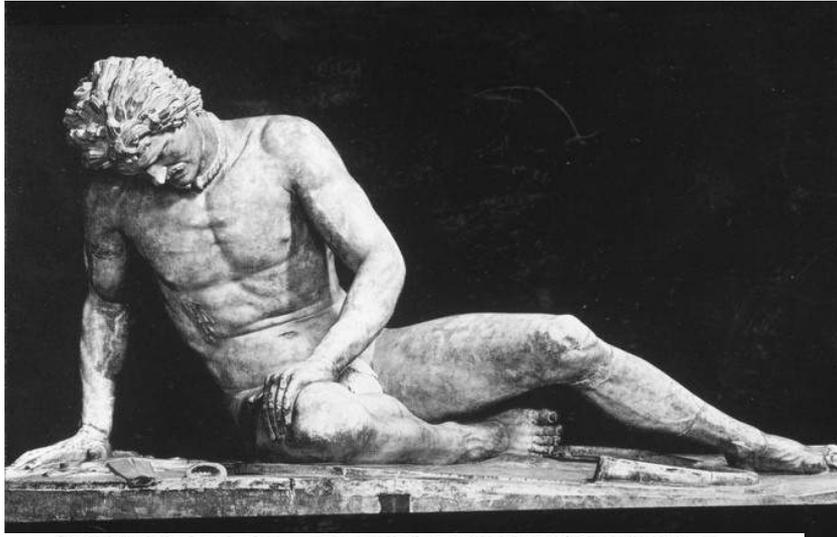
Il fiocco di neve è un simbolo universale, una presenza quotidiana e frequente



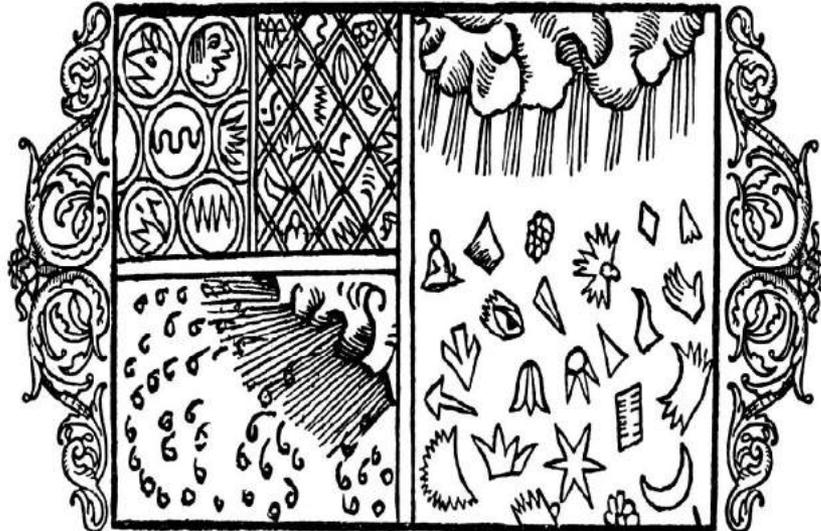
Il fiocco di neve è più presente nella letteratura e mitologia che nelle trattazioni scientifiche, almeno sino al 1950. E' tuttora un problema scientifico complesso.



Il cristallo di neve, trascurato dalla scienza, appannaggio dell'arte



280 a.C., i Galli di Brenno: spietati guerrieri sconfitti da candide vergini

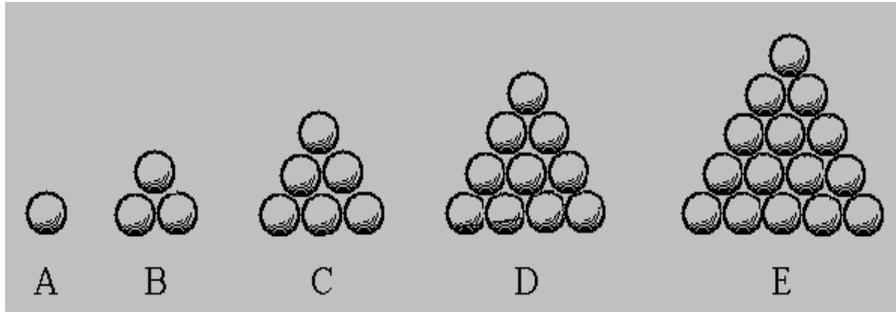


135 a.C, Han Ying.
"I fiori della neve hanno sempre sei punte"

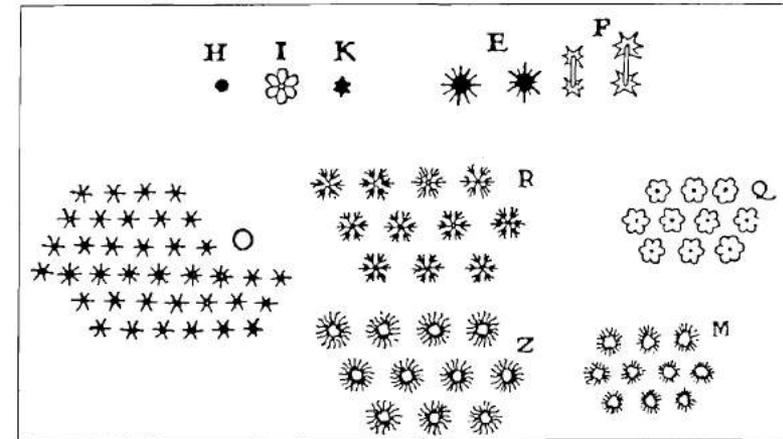
1555, Olaus Magnus.
La storia delle genti del nord



La scienza: se non riesce a spiegare, descrive e trasmette



Johannes Kepler (1571-1630):
"Perché hanno sei angoli?", la
visione atomistica e l'ortofrutta.



Cartesio (1596-1650). La neve e il
fondatore della geometria analitica

Robert Hooke (1635-1703).
Le prime immagini al microscopio



Il fiocco di neve: lontano dall'Accademia ma vicina a chi ama la natura

Friedrich Martens (1635-1699). Lo spirito di osservazione di un naturalista tedesco: la forma dei cristalli dipende dalla temperatura!

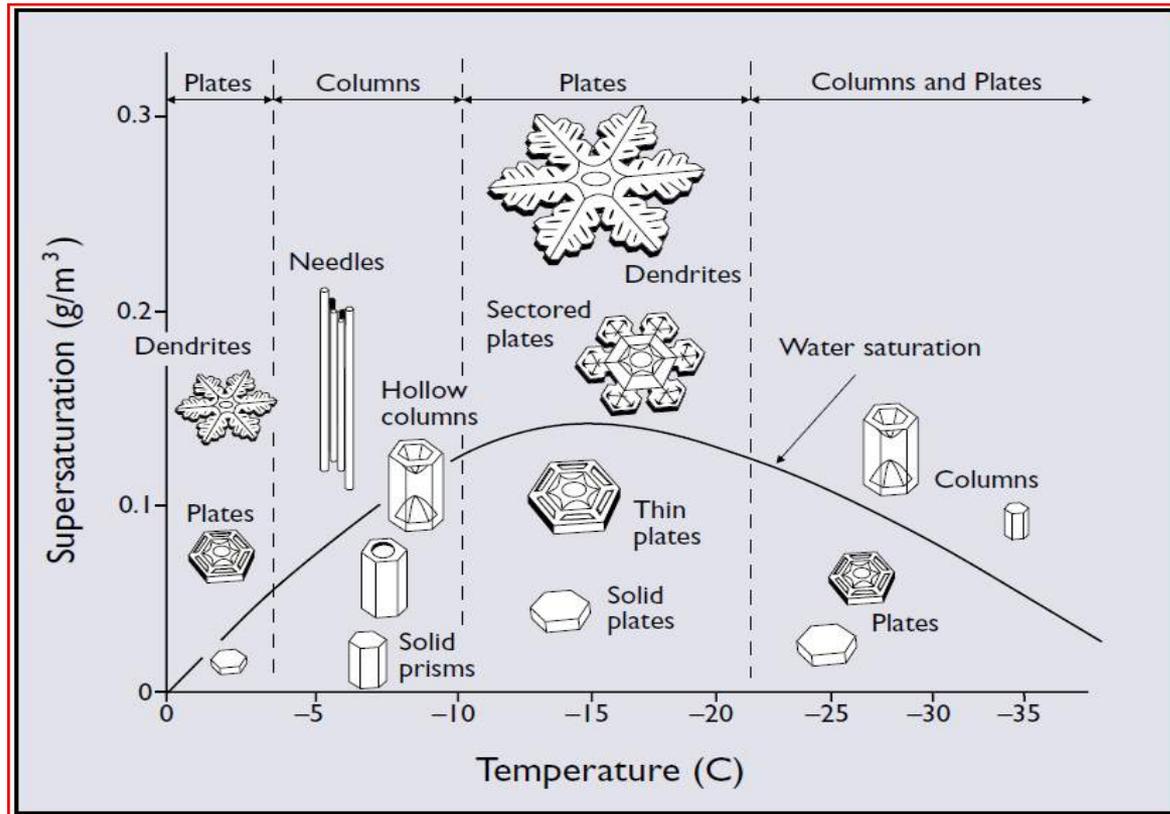


1810		WINDS.		Weather and Meteors.	Situation and Remarks.
	Direction.	Force.			
April	9	N Eerly	Hard gales	Snow showers.	At sea
	10	to E S E	Fresh, light br.	Ditto	Ditto
	11	to E	to Strong gales	Showers cryst. snow	Drift ice
	12	Eerly	Strong gales	Ditto	At sea, no ice
	13	to N N E	to Moderate br.	Snow showers	Ditto
	14	to N	Fresh gales	Shower cryst. snow	Bay ice
	15	N to E S E	to Light airs	Snow	Ditto
	16	Calm	to Calm	Showers of Snow	Bay and drift ice
	17	Variable	Fresh breezes	Ditto	Crowded ice
	18	N W, S W	Fresh gales	Ditto	Much ice
	19	W.erly	Light br. calm	l'oudy	Very crowded ice
	20	E S E, var.	Light br. fr. gales	Some cryst. snow	Ice more open.
	21	E N E to N	Strong gales	Constant cryst. snow	Much bay and drift ice
	22	N N W, N W	to Light breezes	Frost rime	Bay ice
	23	N.eerly, var.	Light breezes	Clear	Beset in bay ice
	24	E S E	to Fresh gale	Snow showers	Bay and drift ice
	25	Var. W N W	Strong ga. calm	Coarsely cryst. snow	Floes of Bay ice
	26	W N W	to Moderate breeze	A little snow	Open drift ice
	27	to N.eerly	to Fresh breeze	Showers cryst. snow	Ice streams
28	W N W to W	to Light breezes	Ditto	Ditto	
29	to S S W, var.	Calm to fresh br.	Much snow	Much ice near	
30	Variable	Light or fresh br.	Thick snow showers	Ice streams	
May	1	N W to E, S E	Calm to str. gales	Much cryst. snow	A pack of ice near
	2	to N E	to Light breeze	Snow sh. wers	Bay floes, & drift ice
	3	to N N W, N N E	to Strong gales	Cryst. snow	Ditto
	4	to N b W	to Moderate breeze	Some snow showers	Ditto
	5	to N E	Light br. brisk ga.	Coarse cryst. snow	Much bay & drift ice
	6	to N b E, N b W	Fresh or strong ga.	Clear, cloudy	Ditto
	7	to N b E, N.eerly	Strong gales	Snow showers	Drift ice
	8	N b E to N N W	Fresh gales	Showers cryst. snow	Crowded drift ice
	9	N.eerly	Ditto	Ditto	Sea open
	10	N W, N	to Moderate br.	Ditto	A little drift ice
	11	N N W to W.eerly	Light airs, calm	Clear	Near much ice
	12	to N E.eerly	to fresh breeze	Cloudy	Ditto
	13	N N E to N N W	to Strong gales	Showers cryst. snow	Ice streams
	14	to N W b N	Brisk gales	Ditto	Ditto
	15	N.eerly	to Strong gales	Snow showers	Ditto
	16	N W b N, N	to Brisk gales	A little snow	Ditto
	17	to N E	to Strong gales	Ditto	Ditto
	18	N E.eerly	Fresh breezes	Showers cryst. snow	Floes and drift ice
	19	to Variable	Ditto	Some snow	Ice streams

William Scoresby (1789-1857). Temperatura e forma della neve. Anche le idee hanno bisogno di essere difese: il peso delle associazioni.

Giappone: la terra della neve

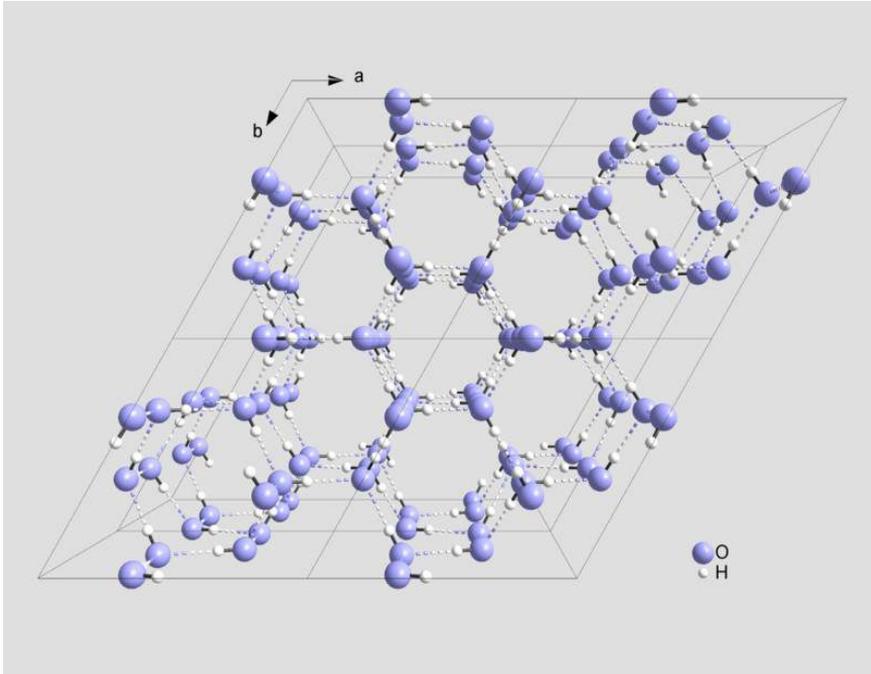
1837: "Storie della terra della neve"



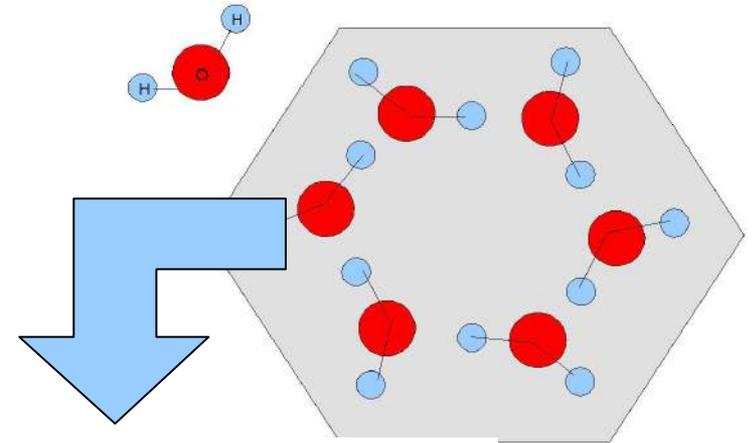
Ukichiro Nakaya (1900-1962): ogni crisi è un'opportunità



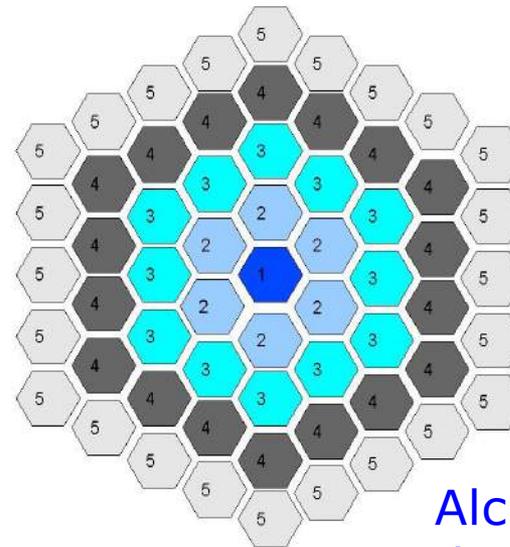
La molecola d'acqua e le simmetrie del cristallo di neve



Simmetria esagonale e cubiche



Alcuni decimi di micron



Alcune centinaia di micron



Le tre diverse tipologie di crescita, tutte unite dalla simmetria esagonale

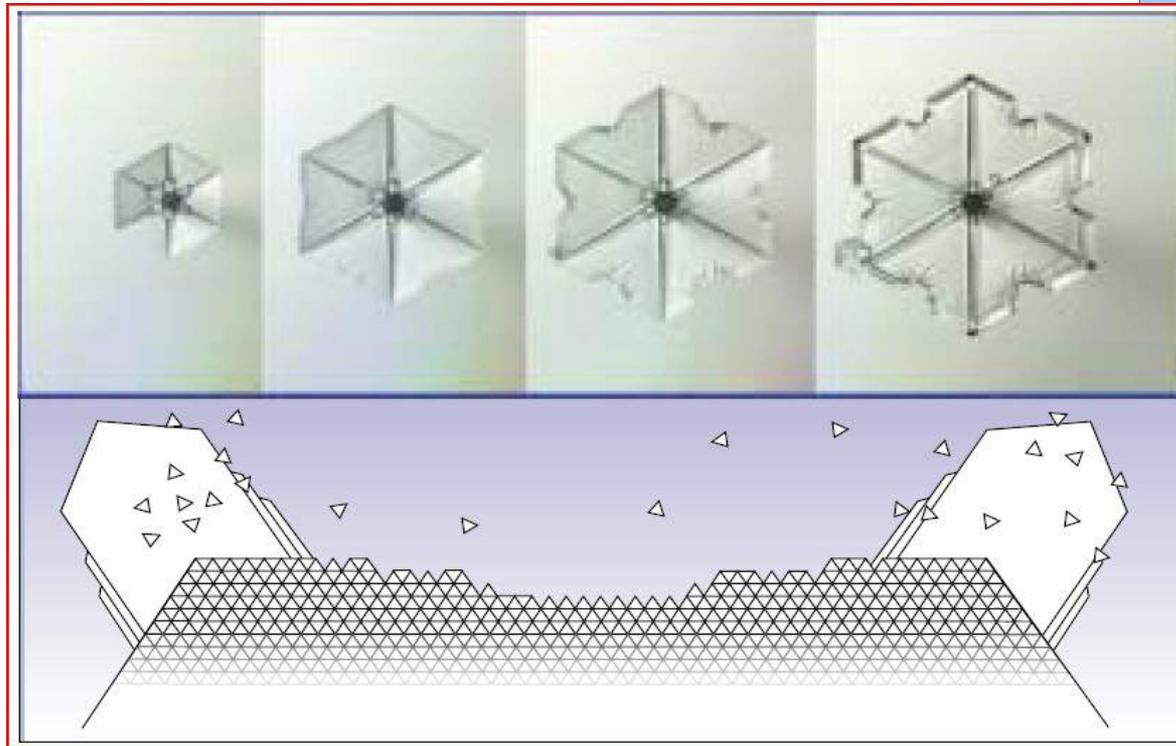
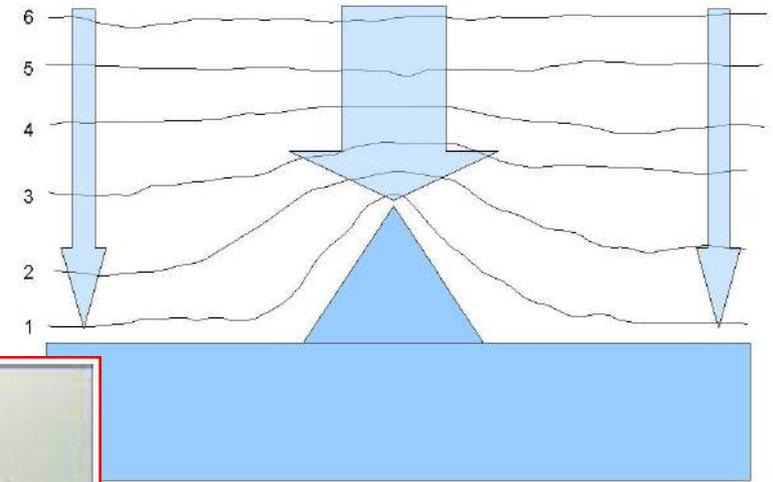


Dischi, colonne e dendriti



Le dendriti: il cristallo di neve per antonomasia

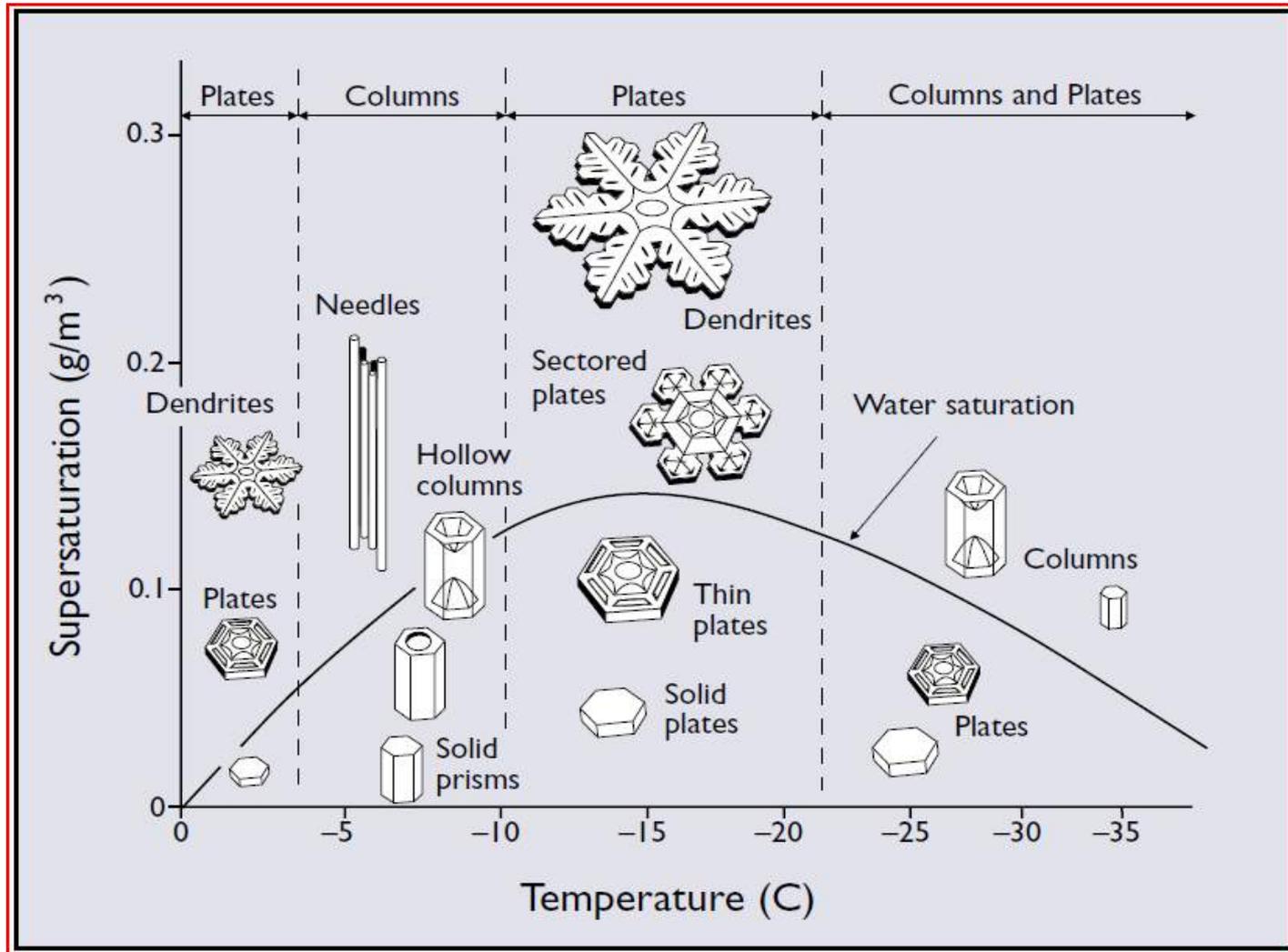
Si formano quando c'è molto vapore acqueo
"chi ha molto riceverà molto"



Fotografia di Kenneth G. Libbrecht



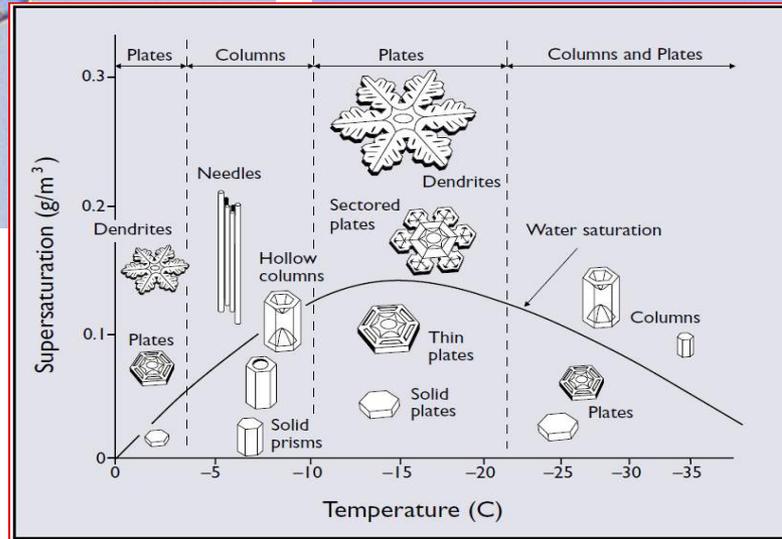
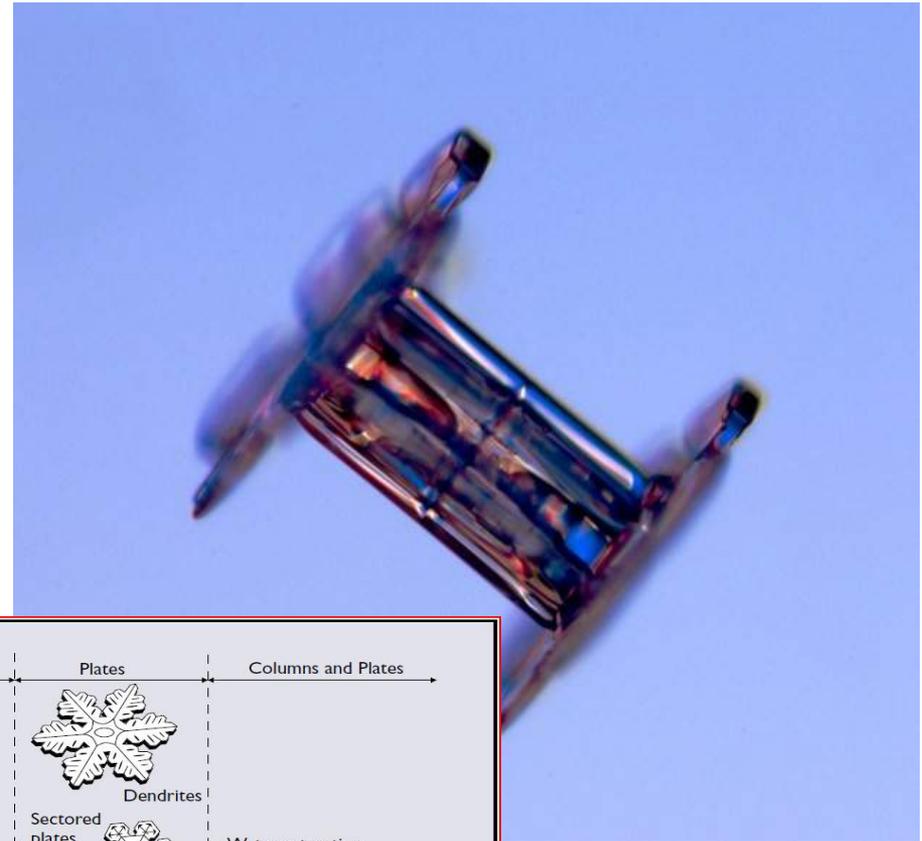
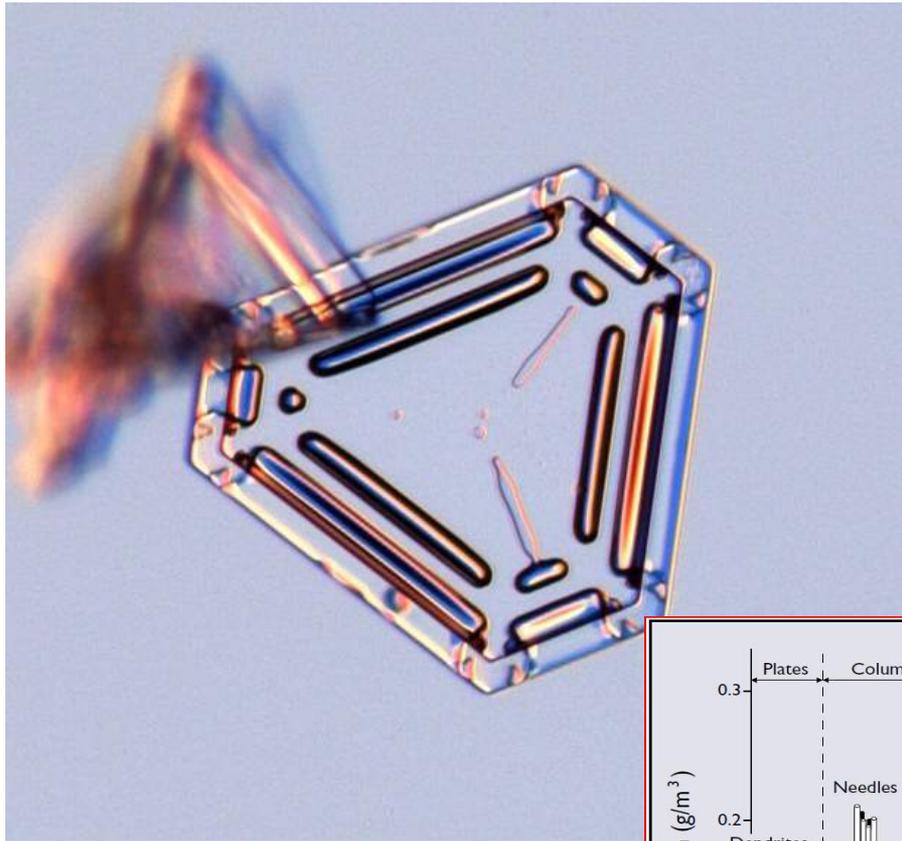
Lo schema di Magono-Lee



Forma, temperatura, umidità



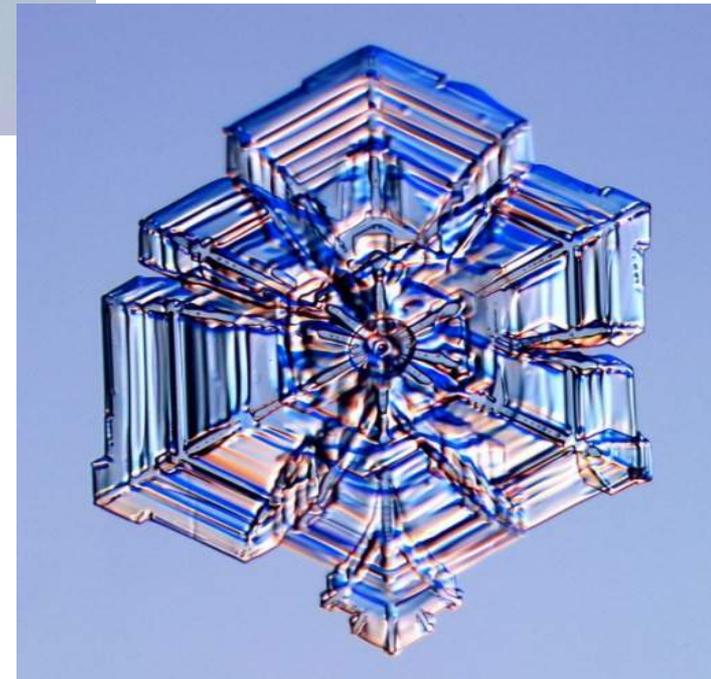
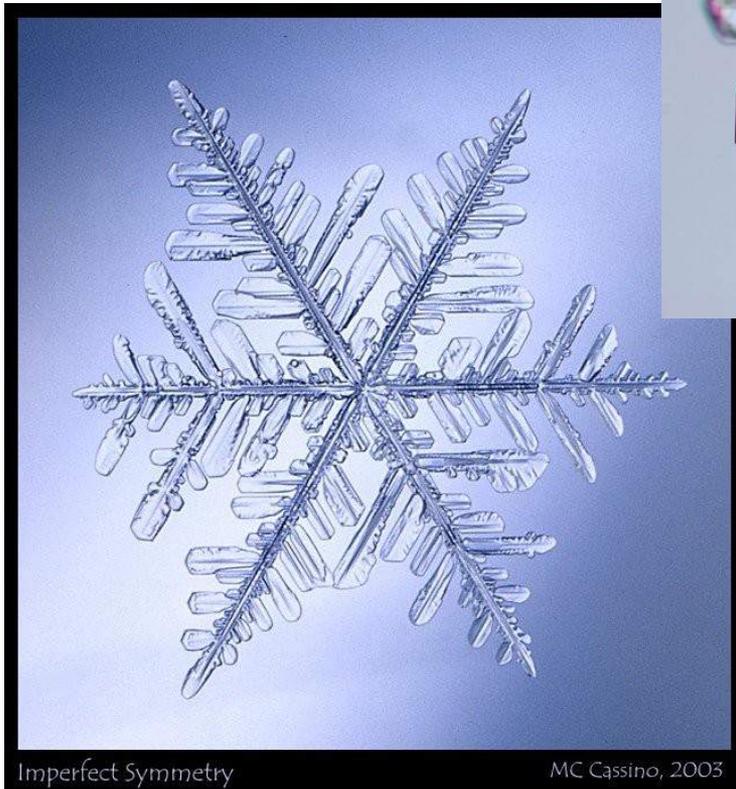
Luoghi comuni sui cristalli di neve



Forme peculiari



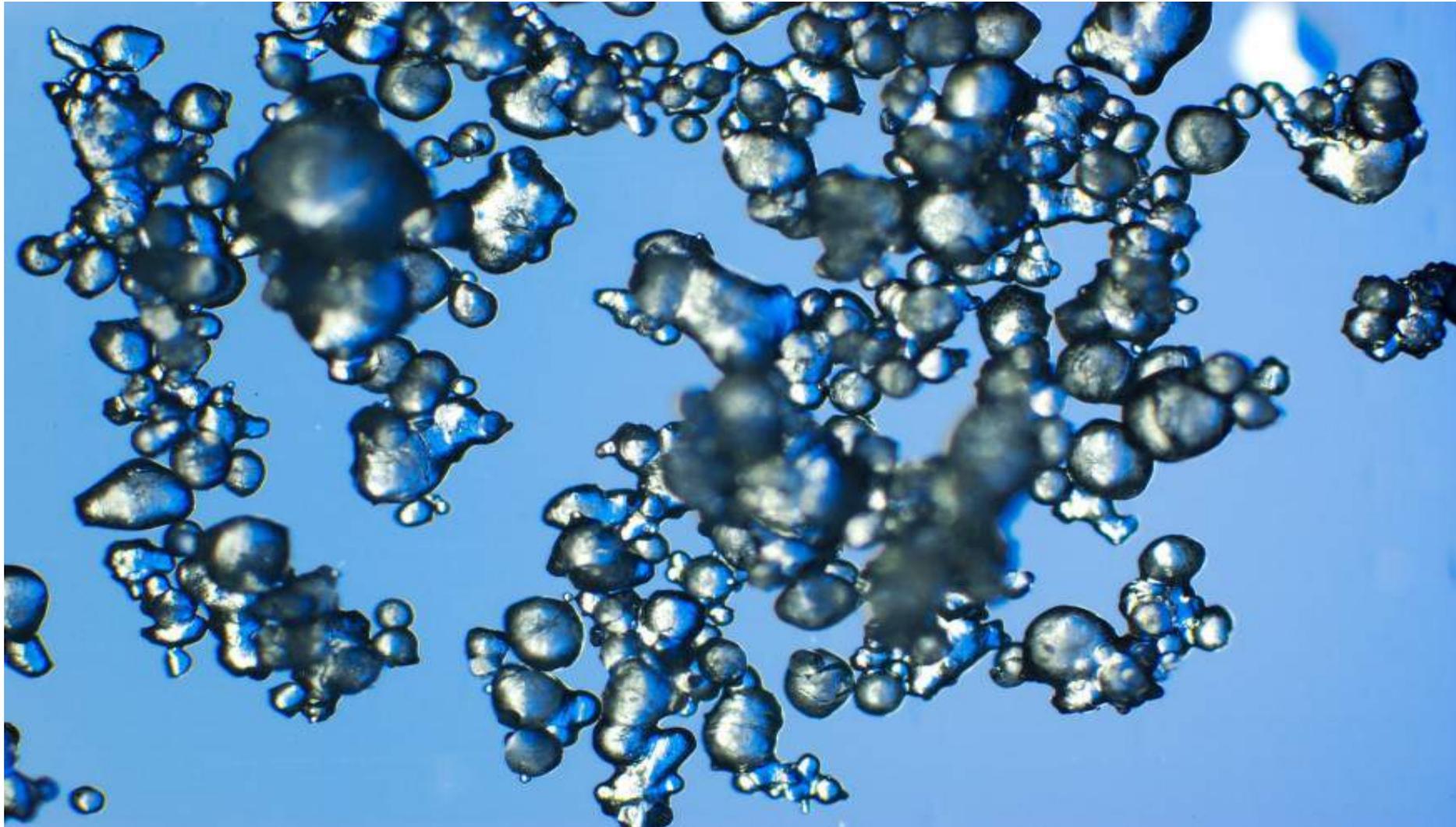
Luoghi comuni sui cristalli di neve



Irregolarità e simmetrie dodecagonali



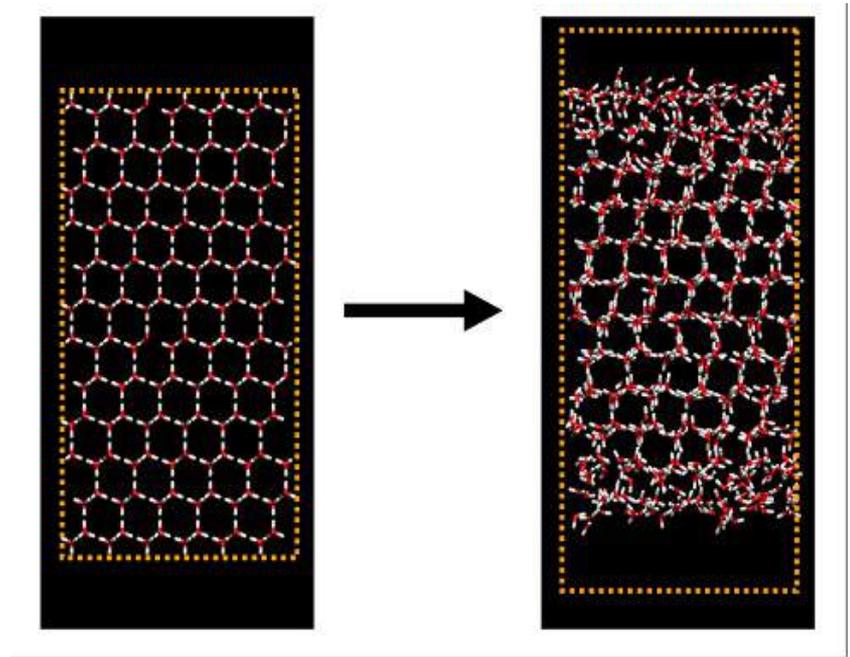
La neve artificiale



Aspetto e consistenza diversa



I fiocchi di neve: agglomerati di cristalli



Maggiore è la temperatura, maggiore è la probabilità che i singoli cristalli aderiscano tra di loro. In Friuli Venezia Giulia spesso rappresenta il canto del cigno della nevicata



GRAZIE PER L'ATTENZIONE