

[www.ufficiometeo.it](http://www.ufficiometeo.it)



# ufficiometeo.it

## CORSO DI METEOROLOGIA GENERALE E AERONAUTICA 5 - Il Vento

DEFINIZIONE - ORIGINE - FORZE FONDAMENTALI  
VENTO IN QUOTA E VENTO AL SUOLO  
EQUAZIONE GENERALE DEL VENTO  
RAPPRESENTAZIONE METEOROLOGICA DEL VENTO  
ANALISI DI VENTI PARTICOLARI

Dr. Marco Tadini  
meteorologo

U.M.A. Home Page - Ufficio Meteorologico Aeroportuale  
[www.ufficiometeo.it](http://www.ufficiometeo.it)

## IL VENTO

### ■ DEFINIZIONE

- spostamento orizzontale di masse d'aria

### ■ ORIGINE

- variazioni di temperatura
- dislivello barico tra due regioni
- rotazione terrestre (*sistema non inerziale*)

## FORZE CHE AGISCONO SUI MOVIMENTI

### ORIZZONTALI DELL'ARIA

FORZA DI GRADIENTE

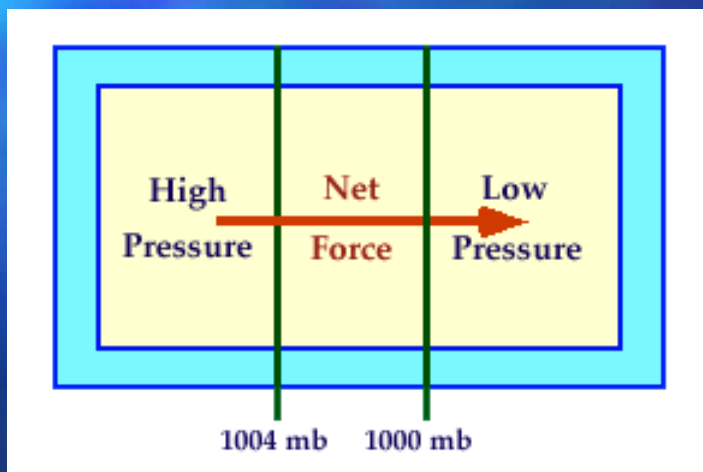
FORZA DEVIANTE

FORZA CENTRIFUGA

FORZA DI ATTRITO

## FORZA DI GRADIENTE

- origina il movimento delle masse d'aria
- moto dalle regioni di H a quelle di L pressione
- moto perpendicolarmente alle isobare
- forza proporzionale al dislivello barico



## FORZA DI GRADIENTE

- cilindretto aria avente:
  - base unitaria  $S = 1\text{cm}^2$
  - altezza  $h$
- posto tra due superfici isobariche  $p$  e  $p + \Delta p$
- sulle basi agiscono due forze  $F_{\text{sup}}$  ed  $F_{\text{inf}}$   
 $F_{\text{sup}} = P \cdot S = p \cdot 1\text{cm}^2$   
 $F_{\text{inf}} = P \cdot S = (p + \Delta p) \cdot 1\text{cm}^2$
- risultante delle forze laterali è nulla ( $R=0$ )
- risultante delle forze agenti sulle basi è:  
 $\Delta F = [(p + \Delta p) \cdot 1\text{cm}^2] - (p \cdot 1\text{cm}^2)$   
 $\Delta F = \Delta p \cdot 1\text{cm}^2$

## FORZA DI GRADIENTE

- volume del cilindretto

$$\Delta V = S \cdot h = 1\text{cm}^2 \cdot \Delta x$$

- forza per unità di volume

$$\Delta F / \Delta V = \Delta p / \Delta x \text{ gradiente barico orizzontale}$$

- massa d'aria contenuta nel cilindretto

$$\Delta m = \Delta V \cdot \rho = 1\text{cm}^2 \cdot \Delta x \cdot \rho$$

- forza agente *sull'unità di massa d'aria*

$$\Delta F / \Delta m = (\Delta p \cdot 1\text{cm}^2) / (1\text{cm}^2 \cdot \Delta x \cdot \rho)$$

$$\Delta F / \Delta m = (1/\rho) \cdot (\Delta p / \Delta x) = G$$

**G = forza di gradiente**

## FORZA DEVIANTE

### TEOREMA DI CORIOLIS

- l'accelerazione assoluta di un punto materiale P in moto rispetto ad un sistema di riferimento mobile (*terna mobile*), che a sua volta si muove rispetto ad un sistema di riferimento inerziale fisso (*terna fissa*) è la somma di tre accelerazioni:
  - **ac. relativa  $a_r$** 
    - dovuta al moto di P rispetto alla terna mobile
  - **ac. di trascinamento  $a_t$** 
    - dovuta al moto della terna mobile rispetto alla terna fissa
  - **ac. complementare o di Coriolis  $a_c$**

## FORZA DEVIANTE

### ACCELERAZIONE DI CORIOLIS

$$a_c = 2 \Omega v \sin \varphi = f v$$

( $f = 2 \Omega \sin \varphi$  *parametro di Coriolis*)

dove:

- $\Omega$  = velocità angolare rotazione terrestre
  - $\Omega = 729 \cdot 10^{-7}$  rad/s
- $v$  = velocità del vento
- $\varphi$  = latitudine geografica
  - equatore:  $\sin \varphi = 0 \Rightarrow a_c = 0$
  - poli:  $\sin \varphi = 1 \Rightarrow a_c = 2 \Omega v$

## FORZA DEVIANTE

### FORZA DEVIANTE o DI CORIOLIS

$$D_{(\text{unità di massa})} = a_c = 2 \Omega v \sin \varphi$$

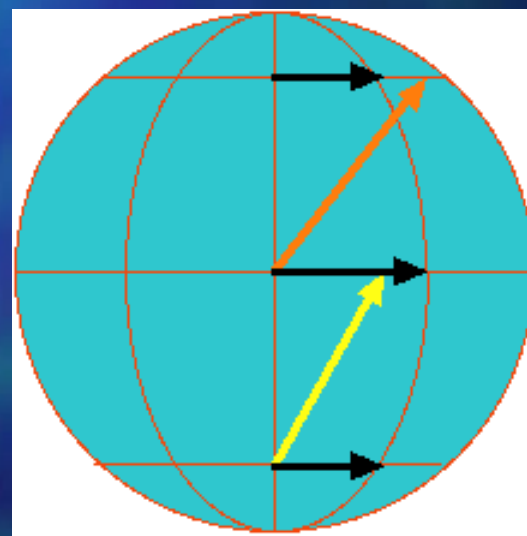
- ogni oggetto in moto sulla superficie Terra subisce una deviazione:
  - 90° verso destra nell'emisfero boreale
  - 90° verso sinistra nell'emisfero australe
- teoria di George Hadley (1685-1768)
  - caso delle molecole di aria (teoria su origine alisei)
  - basata sul principio di conservazione della velocità
  - intuitivamente buona per il primo XVIII secolo:
    - Hadley comprese importanza rotazione Terra
    - spiega abbastanza bene i movimenti nord-sud
  - **matematicamente insufficiente**
  - in anticipo su Coriolis (1792-1843)

## FORZA DEVIANTE: TEORIA DI HADLEY

- Terra ruota verso est con velocità angolare  $\Omega$
- due punti a due differenti latitudini:
  - hanno diversa distanza  $r_1$  e  $r_2$  da asse rotazione
  - sono in moto circolare uniforme con:
    - uguale periodo  $T$ , pari al periodo rotazione Terra
    - uguale velocità angolare, pari alla vel.angolare Terra
    - diverse velocità lineari

## FORZA DEVIANTE: TEORIA DI HADLEY

- se un corpo si trova all'equatore:
  - ha traiettoria circolare con  $R=R_{Terra}$
  - possiede velocità lineare  $v_{eq} = 2\pi R/T$
- se il corpo si muove dall'equatore verso N:
  - conserva la propria velocità lineare
  - ha velocità maggiore rispetto corpi altre latitudini
  - $\Rightarrow$  rispetto al suolo appare spinto verso E da una forza misteriosa
  - non esiste alcuna forza: Terra si muove a velocità inferiore al corpo



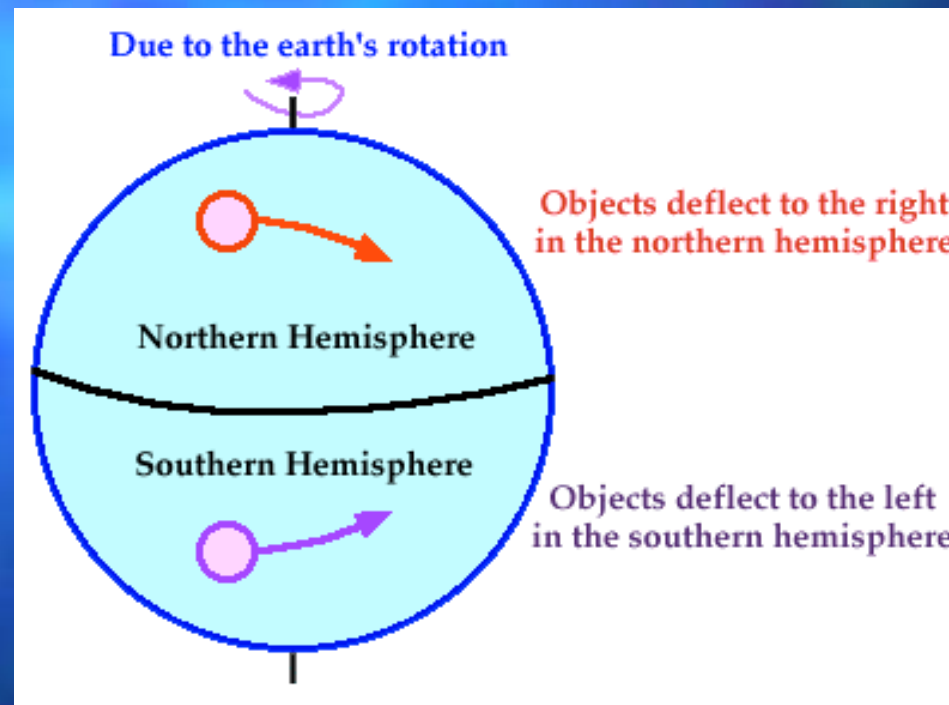
## FORZA DEVIANTE: TEORIA DI HADLEY

### CONCLUSIONE (Emisfero Nord)

un corpo in movimento viene deviato verso destra  
rispetto ad un osservatore al suolo

- la deviazione dipende dalla differenza tra le velocità del corpo e del suolo
- la deviazione diviene significativa:
  - alte velocità
  - lunghe distanze (specialmente nord-sud)

## EFFETTI DELLA FORZA DEVIANTE



## EFFETTI DELLA FORZA DEVIANTE

### FORZA DEVIANTE o DI CORIOLIS

$$D_{(\text{unità di massa})} = a_c = f v = 2 \Omega v \sin \varphi$$

- per la dipendenza da latitudine e velocità:
  - a parità di latitudine:
    - venti deboli: deviazione minore
    - venti intensi: deviazione maggiore
  - a parità di velocità:
    - venti equatoriali: deviazione minore
    - venti polari: deviazione maggiore

## FORZA CENTRIFUGA

- masse d'aria su traiettoria curvilinea
- soggette ad una forza centrifuga avente:
  - direzione normale alla traiettoria
  - verso esterno alla curvatura

$$C_{(\text{unità di massa})} = v^2 / r$$

$v$  = velocità del vento

$r$  = raggio di curvatura traiettoria

## FORZA D'ATTRITO

- azione dell'ambiente sui bassi strati atmosfera
- la forza di attrito:
  - varia con la natura e la configurazione terreno
  - più intensa su terreno accidentato, meno sul mare
  - diminuisce con la quota (nulla a 1000 metri circa)
- il vettore della forza ha:
  - verso opposto al movimento
  - intensità proporzionale al movimento

$$A_{(\text{unità di massa})} = K v$$

K = coefficiente d'attrito

## COMPOSIZIONE DELLE FORZE

### VENTO IN QUOTA o GEOSTROFICO

vento geostrofico

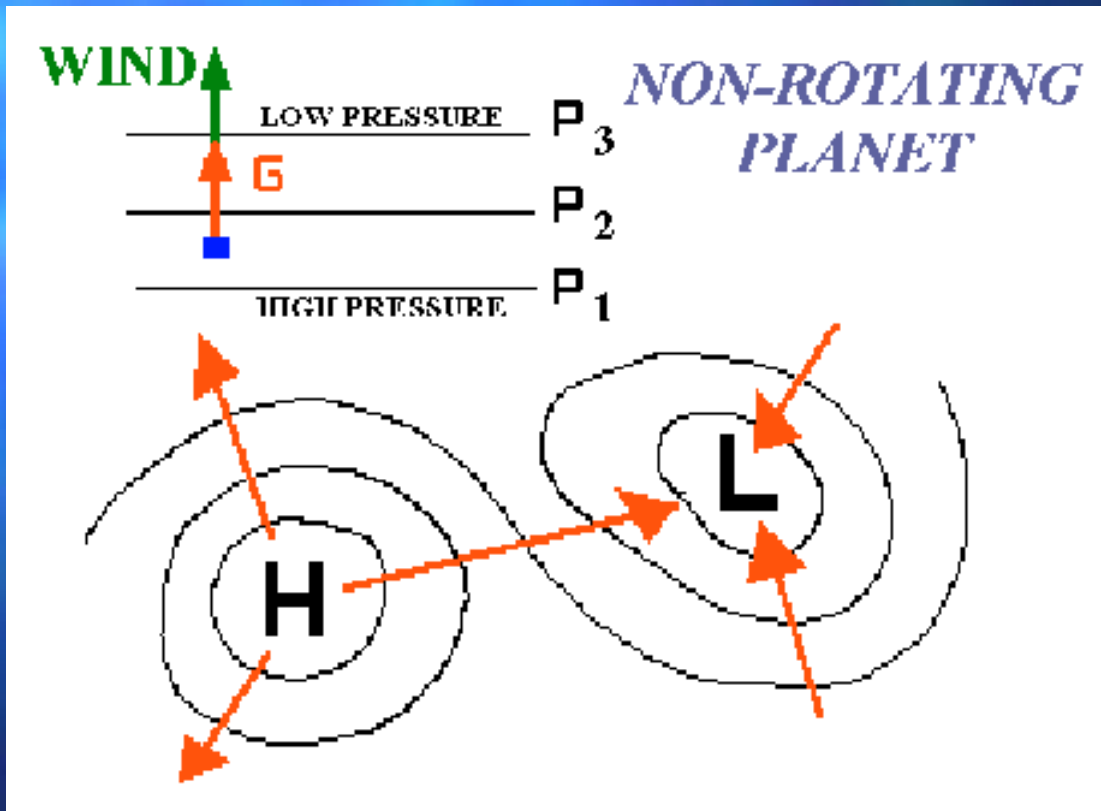
vento ciclostrofico

VENTO AL SUOLO

## VENTO DI GRADIENTE

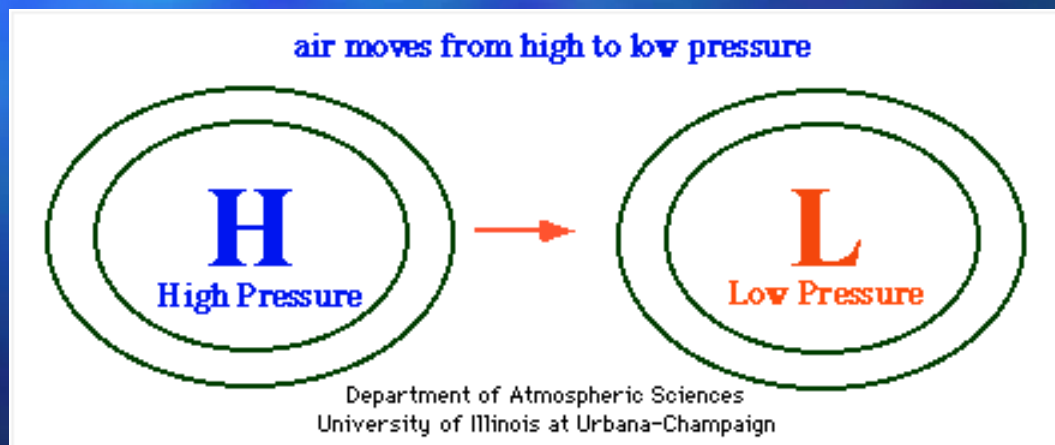
- caso ipotetico: Terra non in rotazione
  - non esiste componente di Coriolis
  - il vento è un vento di gradiente “puro”
  - direzione perpendicolare a isobare
  - da alte verso basse pressioni

## VENTO DI GRADIENTE



## VENTO GEOSTROFICO

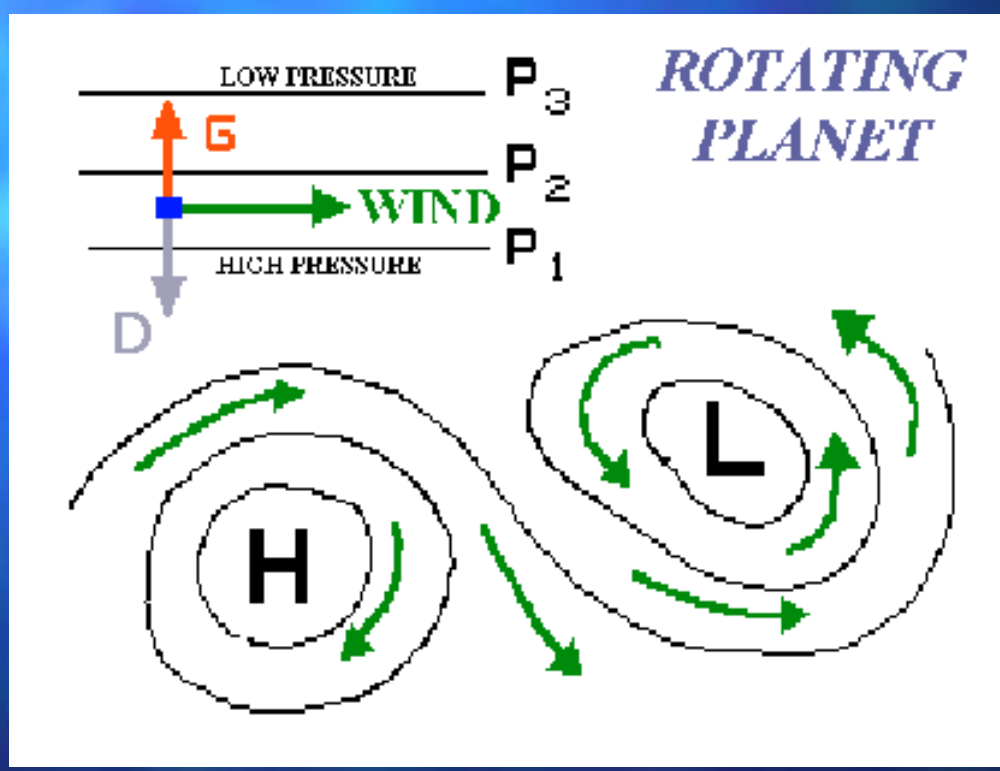
- vento in quota: assenza di attrito ( $A=0$ )
- particella di aria inizialmente a riposo:
  - inizia a muoversi per effetto forza di gradiente  $G$  (vento di gradiente)
  - moto da H verso L perpendicolare alle isobare



## VENTO GEOSTROFICO

- non appena velocità del vento  $v \neq 0$ :
  - particella risente forza deviante di Coriolis D
- la deviazione di Coriolis:
  - aumenta con velocità vento
  - produce una rotazione verso destra
- quando D uguaglia G:
  - il vento ha direzione parallela alle isobare
  - la deviazione di Coriolis non ha più effetto
    - altrimenti vento spirerebbe contrario a G (*impossibile*)

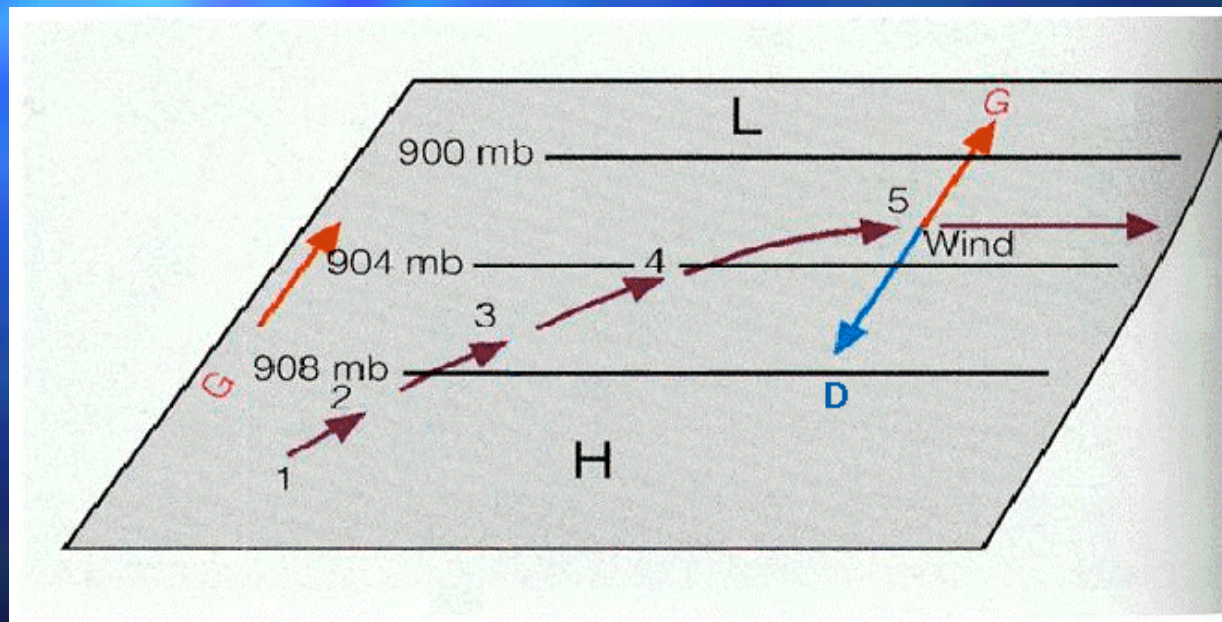
# VENTO GEOSTROFICO



## VENTO GEOSTROFICO

### EQUAZIONE DEL VENTO GEOSTROFICO

$$\underline{G} + \underline{D} = \underline{0} \Rightarrow G = D$$



## VENTO GEOSTROFICO

### EQUAZIONE DELLA VELOCITA' DEL VENTO GEOSTROFICO

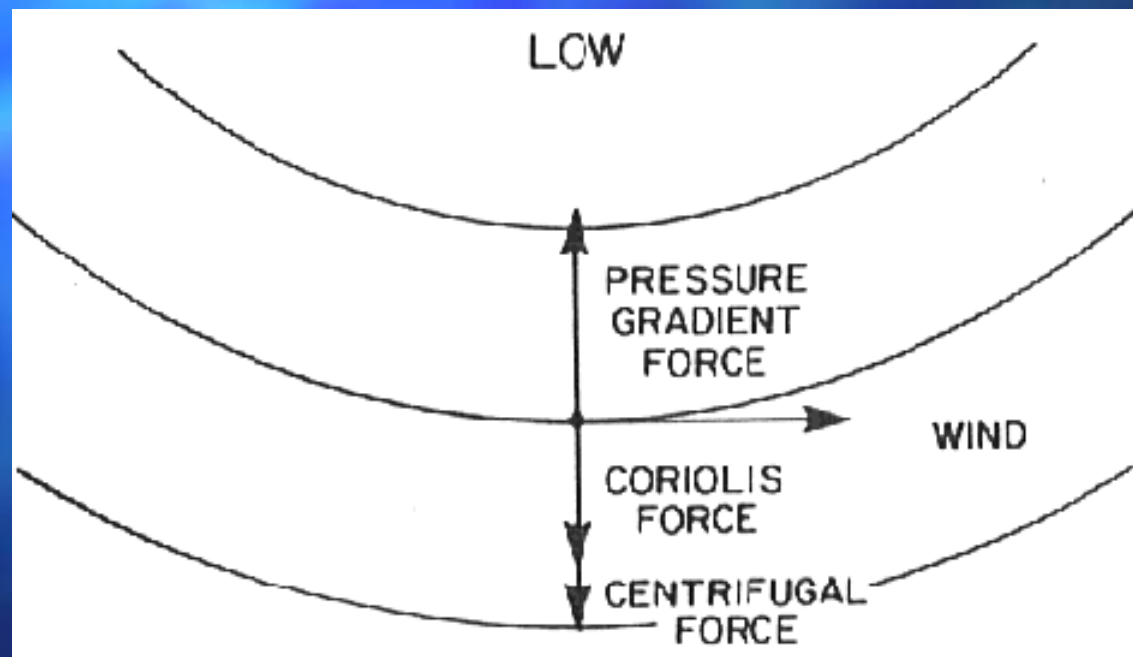
$$v = (1/\rho) \cdot (\Delta p/\Delta x) / 2 \Omega \sin \varphi$$

$$v = (1/f \rho) \cdot (\Delta p/\Delta x)$$

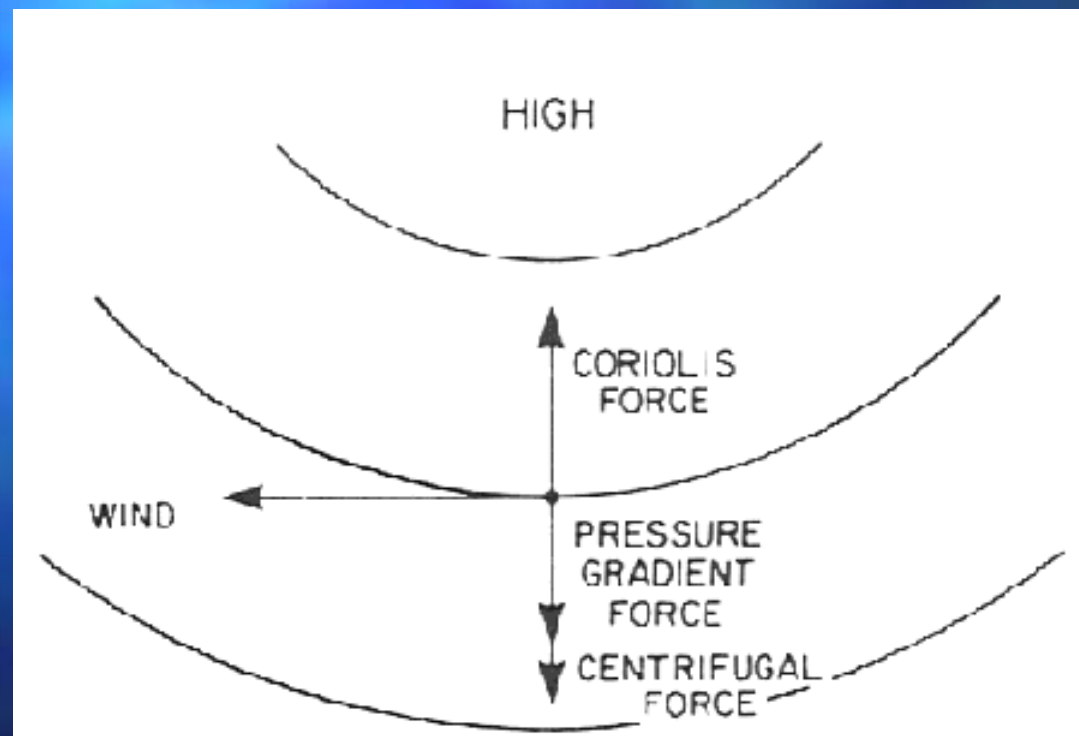
## VENTO GEOSTROFICO CICLOSTROFICO

- caso di isobare curvilinee ( $C \neq 0$ )
- equilibrio tra  $G$ ,  $D$  e  $C$ :
- se circolazione **ciclonica**:
  - $G$  ha direzione interna  $L$ ;  $C$  esterna
  - $D$  equilibra la differenza tra  $G$  e  $C$ :  $D = G - C$
- se circolazione **anticiclonica**:
  - $G$  ed  $C$  hanno entrambe direzione esterna  $H$
  - $D$  equilibra la somma tra  $G$  e  $C$ :  $D = G + C$

## VENTO GEOSTROFICO CICLOSTROFICO CIRCOLAZIONE CICLONICA



## VENTO GEOSTROFICO CICLOSTROFICO CIRCOLAZIONE ANTICICLONICA



## VENTO GEOSTROFICO CICLOSTROFICO

### EQUAZIONE VENTO

### GEOSTROFICO CICLOSTROFICO

$$\underline{G} + \underline{D} + \underline{C} = \underline{0} \Rightarrow D = G \pm C$$

caso " + " : circolazione anticiclonica

caso " - " : circolazione ciclonica

Componente ciclostrofica significativa in caso di:



- alte velocità
- isobare di corto raggio

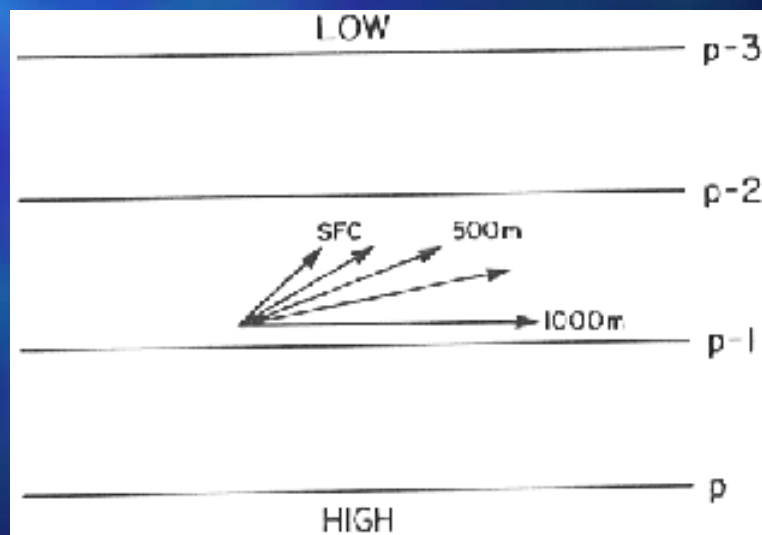
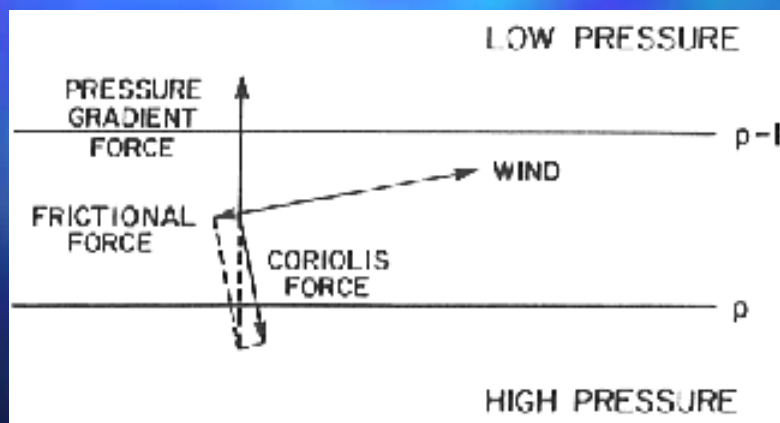
## In conclusione, il vento geostrofico:

- è un vento teorico che:
  - approssima bene il vento reale in quota
  - ha velocità costante (*vento stazionario*)
- si muove parallelamente alle isobare lasciando:
  - nell'emisfero nord:  
basse pressioni a sinistra - alte pressioni a destra
  - nell'emisfero sud:  
contrario

⇒ **REGOLA DI BUYS BALLOT  
PER IL VENTO GEOSTROFICO**

## VENTO AL SUOLO

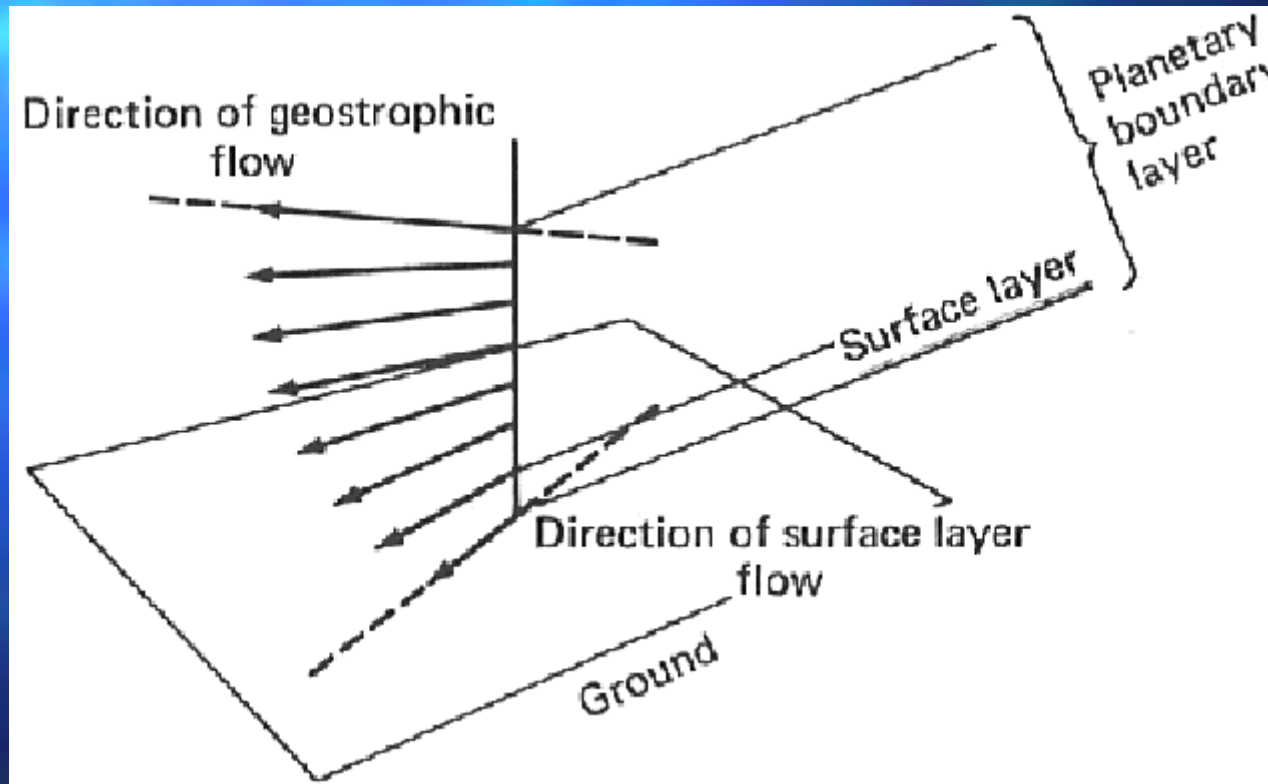
- Forza dovuta all'attrito:
  - rallenta la velocità
  - devia il vento geostrofico verso basse pressioni
  - nulla oltre quota di 1000 metri



## VENTO AL SUOLO

- sugli oceani:
  - velocità  $\approx$  70% velocità vento geostrofico
  - deviazione di  $10^\circ$ - $20^\circ$  direzione vento geostrofico
- sui continenti:
  - velocità  $\approx$  40% velocità vento geostrofico
  - deviazione di  $40^\circ$ - $50^\circ$  direzione vento geostrofico
- a quota di 1000 metri:
  - attrito nullo
  - vento geostrofico

## VENTO AL SUOLO

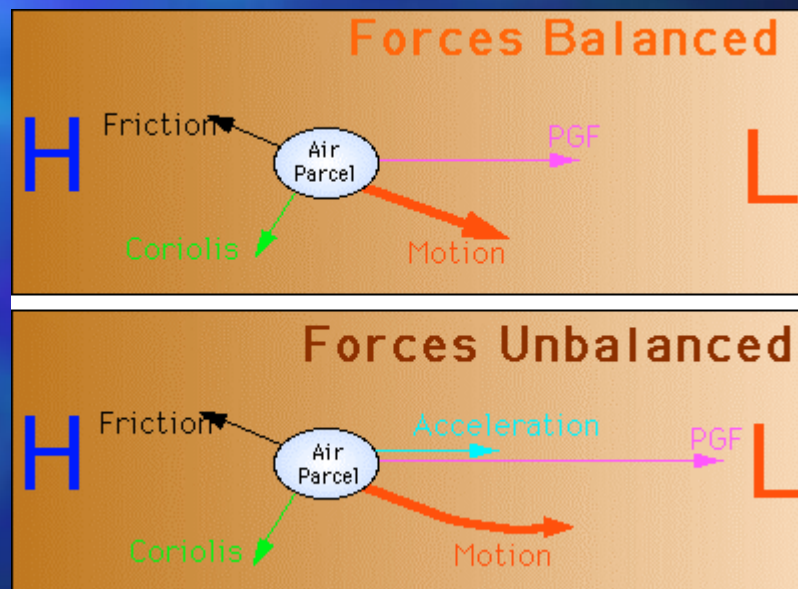


## VENTO AL SUOLO

$$\underline{R} = \underline{G} + \underline{D} + \underline{C} + \underline{A}$$

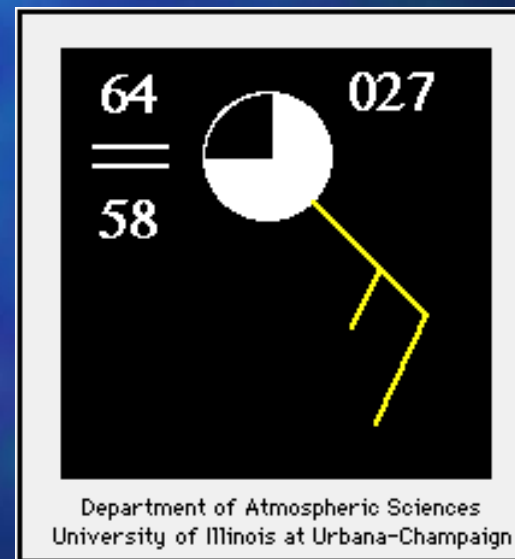
## EQUAZIONE GENERALE DEL VENTO

- se  $R = 0$ :
  - la particella mantiene velocità costante
- se  $R \neq 0$ :
  - variazione in velocità o direzione della particella



## RAPPRESENTAZIONE DEL VENTO

- il vento viene:
  - identificato con la direzione di provenienza
- il vettore vento:
  - punta nel verso di scorrimento
  - è munito di "barbe" in coda, che ne rappresentano l'intensità:
    - 5 nodi: trattino corto
    - 10 nodi: trattino lungo
    - 50 nodi: triangolino



## UNITA' DI MISURA DEL VENTO

### ■ l'intensità del vento viene misurata in:

- chilometri per ora **KM/H**
- metri per secondo **M/S**
- nodi **KT**

$$1 \text{ KT} = 1,85 \text{ KM/H} = 0,52 \text{ M/S}$$

$$1 \text{ M/S} = 1,94 \text{ KT} = 3,6 \text{ KM/H}$$

$$1 \text{ KM/H} = 0,54 \text{ KT} = 0,28 \text{ M/S}$$

### ■ unità di misura:

- ICAO prevede **KM/H**
- la scelta è lasciata a decisione nazionale
- **KT** riconosciuto come standard a tempo indeterminato (anche l'Italia lo ha adottato)
- **M/S** utilizzato nell'est europeo

## LA SCALA ANEMOMETRICA BEAUFORT

Grado	Termine descrittivo	Classe	Intensità			Descrizione visiva
			[Nodi]	[m/sec]	[Km/h]	
0	Calma	Calma	<1	0+0.2	<1	Il fumo sale verticalmente.
1	Bava di vento		1+3	0.3+1.5	1+5	La direzione del vento è visibile dal movimento del fumo ma non dalla banderuola segnamento.
2	Brezza leggera	Debole	4+6	1.6+3.3	6+11	Si avverte il vento sulla faccia; le foglie si agitano; banderuole ordinarie in movimento.
3	Brezza tesa		7+10	3.4+5.4	12+19	Foglie e ramoscelli in movimento costante; le bandiere leggere iniziano a spiegarsi.
4	Vento moderato	Moderato	11+16	5.5+7.9	20+28	Si sollevano polvere e pezzi di carta; rami degli alberi in movimento.
5	Vento teso		17+21	8+10.7	29+38	Gli alberelli ondeggiando; si increspano le acque interne (laghi, stagni, ecc.).
6	Vento fresco	Forte	22+27	10.8+13.8	39+49	Grossi rami in movimento; difficoltà nell'uso degli ombrelli.
7	Vento forte		28+33	13.9+17.1	50+61	Interi alberi in movimento; camminando controvento si prova fastidio in faccia.
8	Burrasca	Molto forte	34+40	17.2+20.7	62+74	Si spezzano i rami degli alberi; generale impedimento all'avanzamento.
9	Burrasca forte		41+47	20.8+24.4	75+88	Si verificano leggeri danni alle costruzioni (si spostano piccoli oggetti e le tegole).
10	Tempesta	Tempesta	48+55	24.5+28.4	89+102	Considerevoli danni alle abitazioni; sradicamento di alberi; onde molto alte in mare.
11	Tempesta violenta		56+63	28.5+32.6	103+117	Danni ingenti su vasta scala.
12	Uragano		64 ed oltre	32.7 ed oltre	118 ed oltre	Danni ingentissimi in breve tempo su vasta scala.

## LA ROSA DEI VENTI

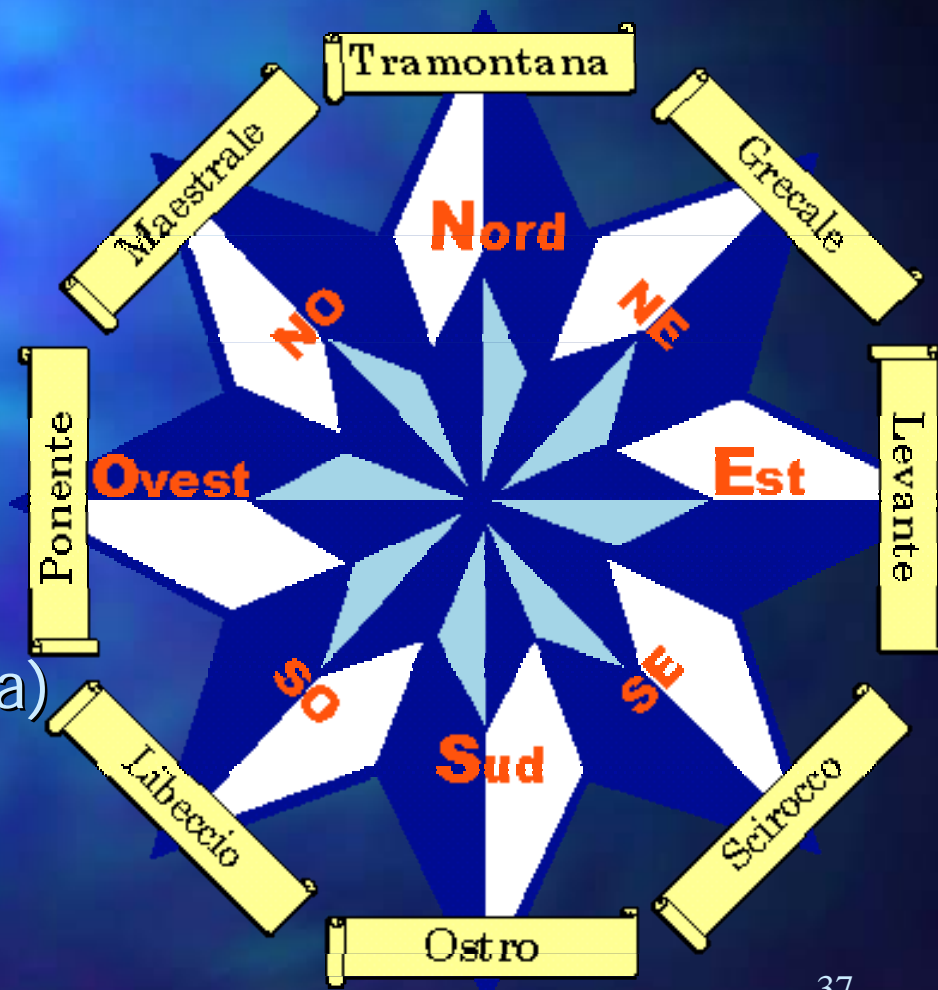
Il nome dei venti è stato assegnato dai Veneziani, che chiamarono, avendo come centro il Mar Ionio:

**Grecale:** da NE (Grecia)

**Maestrale:** da NW (Venezia)

**Scirocco:** da SE (Siria)

**Libeccio:** da SW (Libia)



## LA ROSA DEI VENTI



## VENTI PARTICOLARI

- venti permanenti
  - alisei (trade winds)
  - venti occidentali (westerlies)
- venti periodici
  - monsoni
  - brezze di mare e di terra
- venti catabatici o di caduta
  - il foehn

## ALISEI

- velocità e direzione costanti lungo tutto l'anno
- tra latitudini Nord e Sud comprese tra  $5^\circ$  e  $30^\circ$
- quote inferiori a 1 - 2 km (venti al suolo)
- caratteristiche:
  - velocità media circa 13 nodi (molto regolari sul mare)
  - secchi e freschi
- causati da:
  - spostamento aria da fascia H subtropicale a L equatoriale
  - Coriolis  $\Rightarrow$  da NE a Nord e da SE a sud
  - convergenza all'equatore in fascia di  $3^\circ$  -  $5^\circ$  latitudine  
 $\Rightarrow$  **calme equatoriali** o **convergenza intertropicale ITCZ**
- circolazione invertita in quota  $\Rightarrow$  **controalisei**

## VENTI OCCIDENTALI

- zone temperate oceaniche entrambi emisferi
- tra latitudini  $40^\circ$  e  $60^\circ$
- regolarità disturbate da depressioni mobili  
⇒ perturbazioni

## MONSONI

- circolazione termica a scala sinottica
- variazioni stagionali in latitudine della ITCZ
  - estate emisfero N:
    - ITCZ oltre i  $10^{\circ}$ - $15^{\circ}$ N su Africa e oltre i  $20^{\circ}$ - $30^{\circ}$ N su Himalaya
    - alisei di SE dell'emisfero S vengono spinti oltre Equatore
    - ruotano da SE a SW per Coriolis
    - correnti umide e ricche di pioggia dall'Oceano Indiano
    - ⇒ **monsone estivo dell'India**
  - inverno emisfero N:
    - ITCZ si sposta verso sud
    - ITCZ non attraversa completamente Equatore
    - si ripristinano gli alisei di NE dell'emisfero N
    - ⇒ il **monsone invernale** coincide con l'aliseo di NE

## LE BREZZE DI MARE E DI TERRA

- ore diurne:
  - suolo si scalda più velocemente del mare
  - aria a contatto con il suolo:
    - diviene più calda di quella a contatto con il mare
    - si solleva in quota
    - determina un richiamo dal mare di aria nei bassi strati  
⇒ **brezza di mare**
  - la **brezza di mare**:
    - si manifesta dalla tarda mattinata
    - intensità max nel pomeriggio
    - si annulla in serata
- ore notturne:
  - suolo si raffredda più rapidamente del mare
  - nei bassi strati si determina un flusso contrario  
⇒ **brezza di terra** (da mezzanotte a poco dopo alba)

## LE BREZZE DI MARE E DI TERRA

- limitato strato atmosferico
- in quota hanno venti di ritorno:
  - intensità più debole
  - chiudono il ciclo verticale della circolazione
- intensità:
  - modesta (10 - 20 nodi)
  - brezza di mare più forte brezza terra
- il regime delle brezze:
  - viene solitamente mascherato da altri venti
  - può modificare intensità e direzione venti persistenti

## LE BREZZE DI MONTE E DI VALLE

### ■ ore diurne:

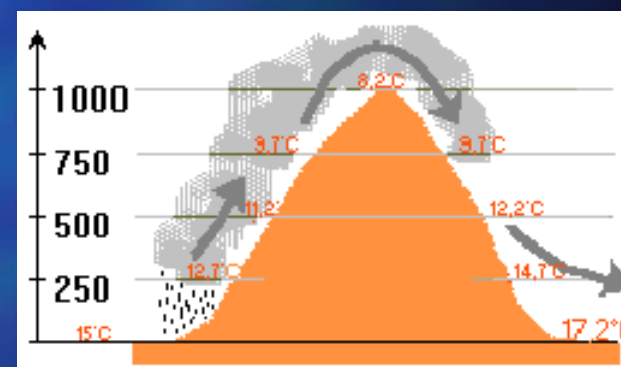
- maggior riscaldamento dei pendii
- aria più leggera tende a portarsi in quota
- richiamo di aria da fondo valle ⇒ **brezze di valle**

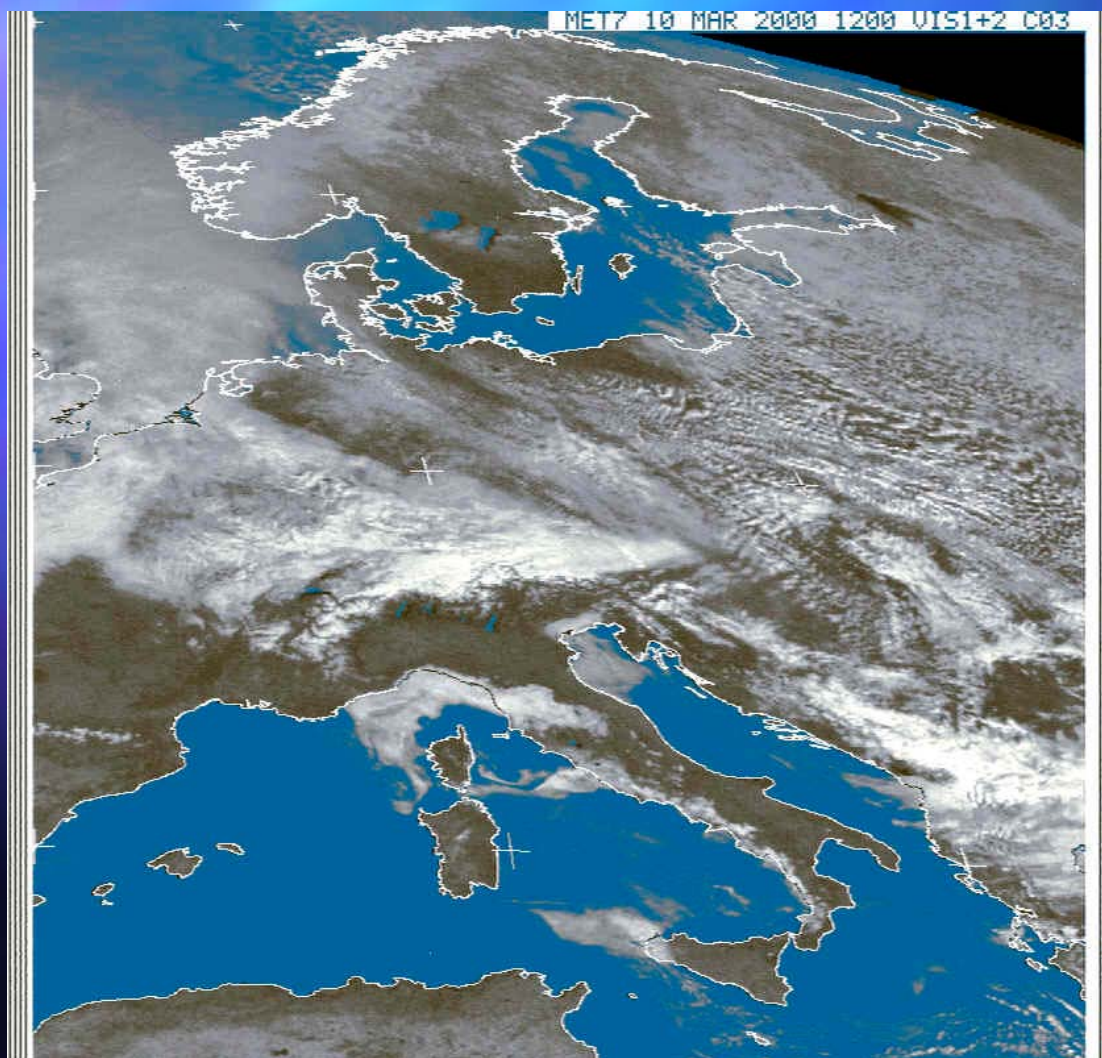
### ■ ore notturne:

- forte raffreddamento notturno aria lungo i pendii
- aria più pesante scivola a valle anche aiutata da gravità  
⇒ **brezze di monte**

## IL FOEHN: EFFETTO STAU-FOEHN

- vento di caduta caldo e asciutto (UR del 18-20%)
- aria fredda umida da Atlantico settentrionale:
  - impatta l'arco alpino
  - sopravvento aria umida in ascesa:
    - si raffredda di  $-0,6^{\circ}\text{C}/100\text{m}$
    - scarica umidità (**stau - foehn wall**)
  - sottovento aria secca in discesa:
    - si scalda di  $+1^{\circ}\text{C}/100\text{m}$
    - scende verso Pianura Padana (**foehn**)
- effetto stau-foehn:
  - presente su tutte catene montuose
  - nomi diversi:
    - **chinook** sulle Montagne Rocciose
    - **ghibli** in Libia





Una bella immagine di **foehn** ripresa dal satellite Meteosat, nel campo del visibile, il 10 Marzo 2000 alle ore 12.00 UTC