Il sistema climatico

Il concetto di **tempo** (metereologico)

Il tempo metereologico descrive lo stato dell'atmosfera e i processi ad essa connessi in un tempo e un posto determinati[1].

Il concetto di **condizione atmosferica**

Con condizione atmosferica si designa un periodo di tre fino a cinque giorni con carattere metereologico simile, o con una successione metereologica tipica[2]. Spesso si utilizza anche il concetto di condizione metereologica. Esempi tipici sono le situazioni di favonio o di bise.

Il concetto di **clima**

Con il concetto di clima si definiscono le condizioni e i processi meteorologici medi in un'area precisa, per un tempo più lungo[3]. Normalmente per la media si considera un periodo di 30 anni[4]. Per descrivere il clima si considerano soprattutto la temperatura, la pressione e l'umidità atmosferica, l'evaporazione, le precipitazioni e l'annuvolamento[5].

Il sistema climatico naturale della Terra

Il sistema climatico naturale della Terra è suddiviso nelle seguenti **sfere,** ognuna ne rappresenta un **sottosistema**:

- atmosfera (aria);
- idrosfera (acqua);
- criosfera (ghiaccio);
- pedosfera (suoli);
- litosfera (rocce) e
- biosfera (piante e animali) [6].

Le singole sfere sono strettamente connesse fra loro tramite flussi energetici e materiali (p. es. ciclo dell'acqua e del carbonio) (fig. 1) e reagiscono a velocità diverse ai cambiamenti.

1. Wanner, 2016, S. 21; Brönnimann, 2018, S. 18
2. Spandau & Wilde, 2008, S. 4; Wanner, 2016, S. 20
3. Wanner, 2016, S. 21
4. Brönnimann, 2018, S. 18
5. Hasler, 2016, S. 62
6. Brönnimann, 2018, S. 23

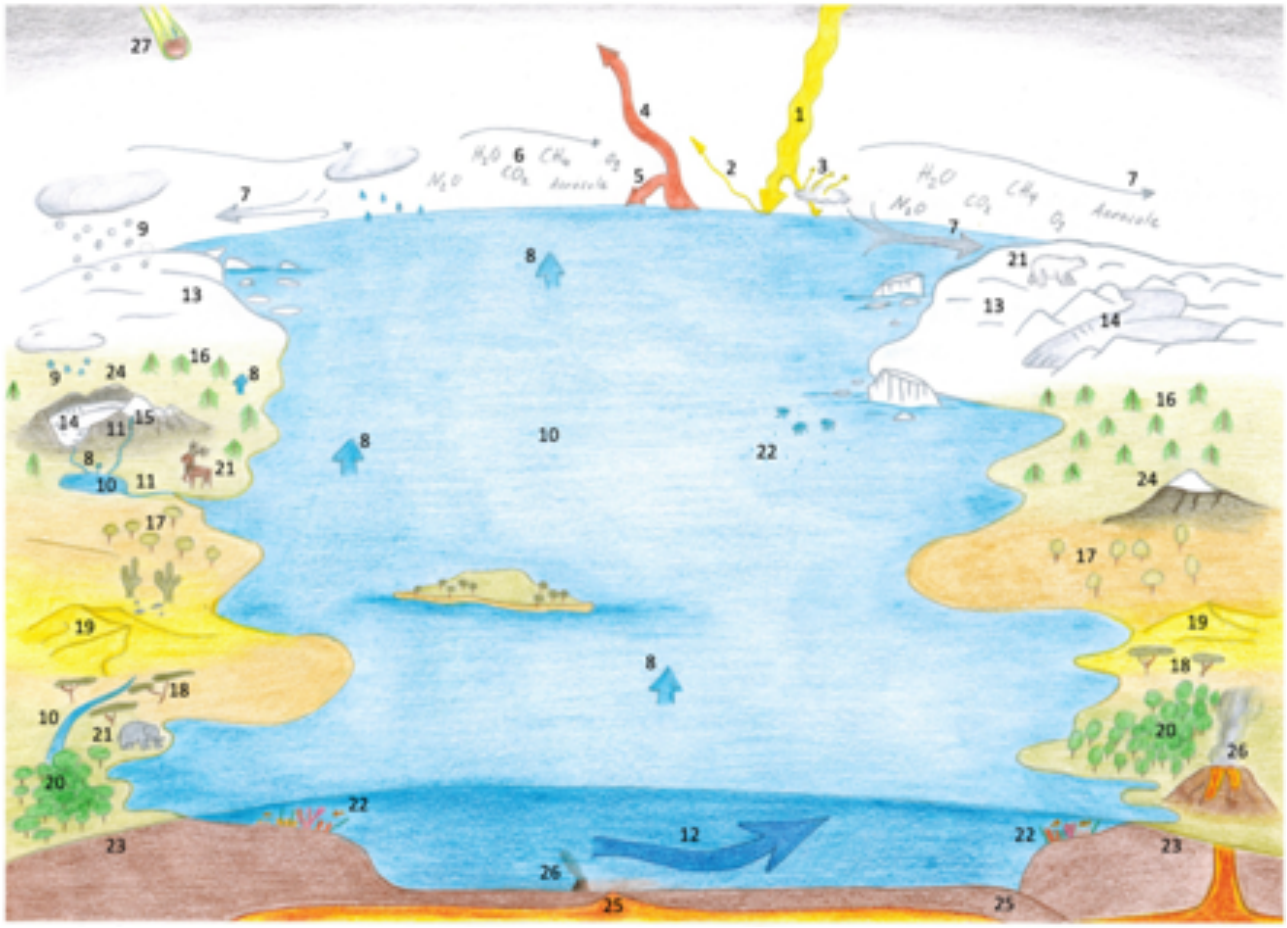

FIGURA 1: IL SISTEMA CLIMATICO NATURALE DELLA TERRA CON I SOTTOSISTEMI (SFERE).

Atmosfera
1. Radiazione a onda corta in entrata
2. Radiazione a onda corta riflessa
3. Radiazione a onda lunga
4. Irradiazione a onda lunga (emissione)
5. Radiazione riflessa dall'atmosfera
6. Gas a effetto serra*
7. Venti/Jetstream
8. Evaporazione

Idrosfera e criosfera
9. Precipitazione (pioggia, neve)
10. Lago/fiume/oceano
11. Deflusso
12. Corrente oceanica
13. Regione glaciale (inladsis, banchisa)
14. Ghiacciaio
15. Permafrost

*Gas a effetto serra principali: vapore acqueo H_2O, diossido di carbonio CO_2, metano CH_4, gas esilarante/ monossido di diazioto N_2O

Biosfera
16. Bosco di aghifoglie
17. Bosco di latifoglie o misto
18. Steppa
19. Deserto
20. Foresta pluviale
21. Fauna
22. Zona costiera (con organismi nell'acqua)

Pedosfera
23. Suoli

Litosfera
24. Montagne
25. Tettonica a placche (placche divergenti/convergenti)
26. Vulcani

Esosfera, spazio interplanetario
27. Caduta di meteoriti o di asteroidi

Nell'atmosfera avvengono processi fisici come l'irradiazione (riflessione e rifrazione) della luce solare (1,2), trasformazione in radiazione termica (3,4), assorbimento ed emissione di radiazione solare da parte rispettivamente di particelle nell'aria e gas, l'azione dei gas a effetto serra (6), correnti eoliche (7) ed evaporazione (8). Atmosfera, idrosfera e criosfera sono legate fra loro tramite le pre-

cipitazioni, l'evaporazione sulle e dalle superfici acquatiche e ghiacciate (7, 9). Il deflusso e le correnti marine (11, 12) hanno luogo all'interno del sottosistema idrosfera. L'atmosfera e la biosfera (sulla terra e nelle acque della terraferma e marine, 16-21) sono legate fra loro tramite la respirazione, rispettivamente la fotosintesi - lo scambio di carbonio e di ossigeno. Inoltre il carbonio è scambiato anche con la pedosfera e la litosfera (23-26). All'interno dei sottosistemi vi sono ancora molti processi come la formazione della falda freatica (11) o lo spostamento delle placche terrestri e la formazione di montagne (24,25). Infine vi sono pure dei rari influssi dallo spazio interstellare come la caduta di meteoriti (27).

Motori naturali e antropogenici del sistema climatico

I processi fondamentali nel sistema climatico naturale sono originati dal Sole. Nelle vicinaze dei poli l'angolo di incidenza della radiazione solare è minore e l'attraversamento dell'atmosfera più lungo (fig. 2). Una quantità minore di radiazione solare arriva sulla superficie terrestre, perciò le temperature sono piuttosto basse. All'altezza dell'equatore, invece, l'angolo d'incidenza è più vicino alla perpendicolare e l'attraversamento più breve. Più radiazione solare arriva sulla superficie terrestre portando più

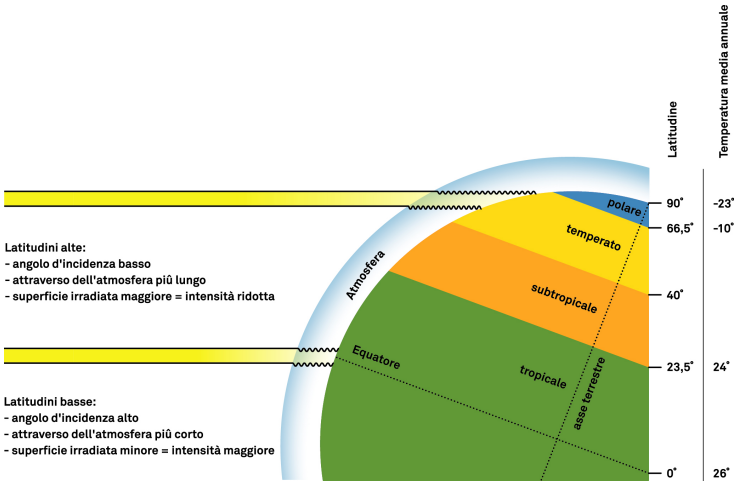

FIGURA 2: RAGGI SOLARI E LORO INCIDENZA (SPANDAU E WILDE, 2008: 28)

calore[7]. A causa dei movimenti naturali della Terra, (rotazione, rivoluzione, precessione), delle oscillazioni dell'orbita terrestre e dell'inclinazione dell'asse terrestre si trovano, a seconda della posizione sul pianeta, diverse intensità di irradiazione e rapporti di temperatura differenti.

Antropogenico: indica qualcosa che è causato o influenzato dagli esseri umani. Nel testo si distingue sovente fra fattori, influssi, impulsi, ecc… antropogenici.

Aerosol: particelle solide o liquide in sospeso nell'atmosfera, p. es. particelle di fuliggine, ceneri, polvere (del Sahara).

Altri influssi naturali del sistema climatico sono le eruzioni vulcaniche, l'attività delle macchie solari e i gas a effetto serra naturali. Fattori d'impulso antropogenici, cioè causati dall'uomo, sono i gas a effetto serra (vedi scheda informativa 2), gli aerosol e variazioni nell'uso del suolo[8]. Tutti questi fattori influenzano il sistema climatico. Ogni sottosistema e pure le interazioni fra di essi sono così influenzati[9].

7. Spandau & Wilde, 2008, S. 28
8. Wanner, 2016, S. 25, 59 & 164
9. Wanner, 2016, S. 59

Scambio di energia e calore nell'atmosfera e negli oceani

Il sistema climatico cerca permanentemente di equilibrare le differenze di temperature fra i poli e l'equatore. Questo trasporto di calore, e con questo di energia, diretto verso i poli avviene circa per metà nell'atmosfera e negli oceani. Lo scambio di temperatura nell'atmosfera (grazie ai venti) è più rapido rispetto a quello negli oceani (tramite le correnti marine). Di conseguenza gli oceani accumulano più a lungo il calore. Gli oceani sono così degli enormi serbatoi di calore, che possono trasmettere variazioni termiche dilazionate all'atmosfera[10].

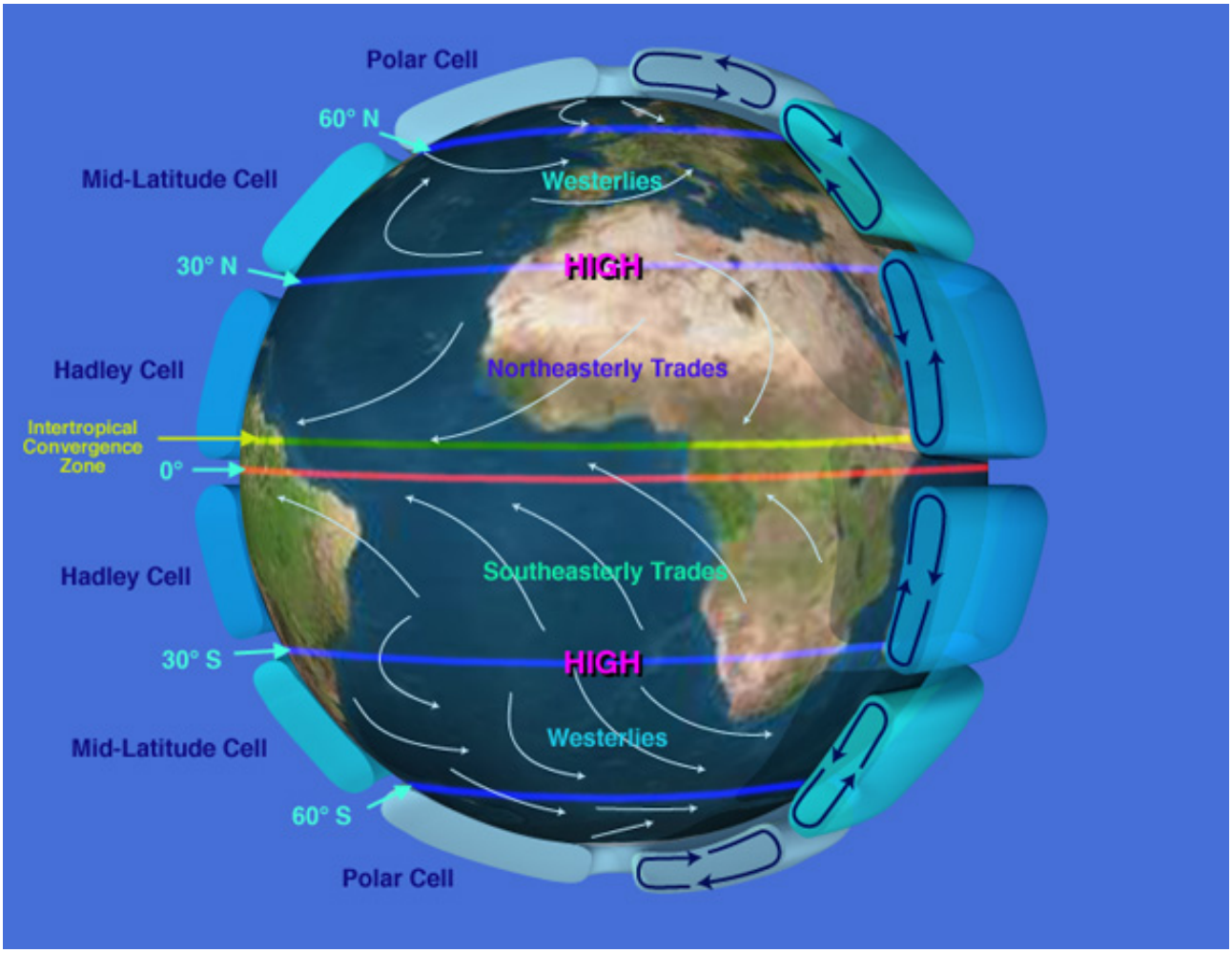

FIGURA 3: Circolazione generale dell'atmosfera (FONTE NASA PUBLIC DOMAIN)

Scambio nell'atmosfera

Il processo globale di scambio di masse d'aria nell'atmosfera è chiamato circolazione atmosferica generale. Sull'emisfero Nord e Sud esistono ampie correnti eoliche[11].

All'equatore l'aria riscaldato dall'alta radiazione solare si innalza, si raffredda e genera al suolo una zona di bassa pressione, chiamata **zona di convergenza intertropicale (ZCIT)**. Con l'aumento

10. Wanner, 2016, S. 25f; Brönnimann, 2018, S. 204f
11. Wanner, 2016, S. 31

dell'altitudine l'aria si raffredda e nelle vicinanze della tropopausa si allontana dalla ZCIT in direzione nord e sud.

Tropopausa: superficie di separazione fra la troposfera e la stratosfera. A dipendenza della latitudine geografica, la tropopausa si trova a un'altitudine di 8 km (vicino ai poli) e 16 km (vicino all'equatore). È contraddistinta da una chiara variazione nell'andamento delle temperature.

Nella zona di alta pressione subtropicale, circa verso i 30° nord e rispettivamente sud, le masse d'aria scendono, si riscaldano di nuovo e fluiscono in due direzioni diverse. Le masse d'aria che si spostano verso l'equatore formano gli alisei. Quelle che si spostano verso i poli diventano venti da sud-ovest e da ovest (zona dei ´venti da ovest´). Queste si incontrano all'altezza della zona di bassa pressione subpolare con i venti freddi polari[12].

Aria e pressione atmosferica

L'atmosfera è formata da azoto (78,1%), ossigeno (20,9%) e argon (0,93%). Il resto (<1%) è formato da gas in traccia come il diossido di carbonio (CO_2), il metano (CH_4), il monossido di diazoto (N_2O) e l'ozono (O_3). Questi agiscono sul clima come gas a effetto serra naturali.

La massa d'aria sovrastante direttamente una superficie piccola può essere rappresentata come una colonna d'aria alta svariati chilometri. Questa colonna d'aria preme con il suo peso sulla superficie terrestre (forza peso). Questa pressione viene chiamata pressione atmosferica[13].

La pressione atmosferica normale agisce a livello del mare con un temperatura di 0°C con 1013 ettopascal. Questo corrisponde alla pressione di una colonna d'acqua alta 10,13 metri.

Nel linguaggio popolare si afferma che l'aria in montagna è fine. In effetti a 5500 m s.l.m. la pressione atmosferica è la metà rispetto a quella a livello del mare, sebbene la diminuzione della pressione atmosferica non sia uniforme[14].

Non è solo l'altitudine ad avere un influsso sulla pressione atmosferica, ma anche la temperatura, come illustrato dall'esempio delle brezze di mare e di terra.

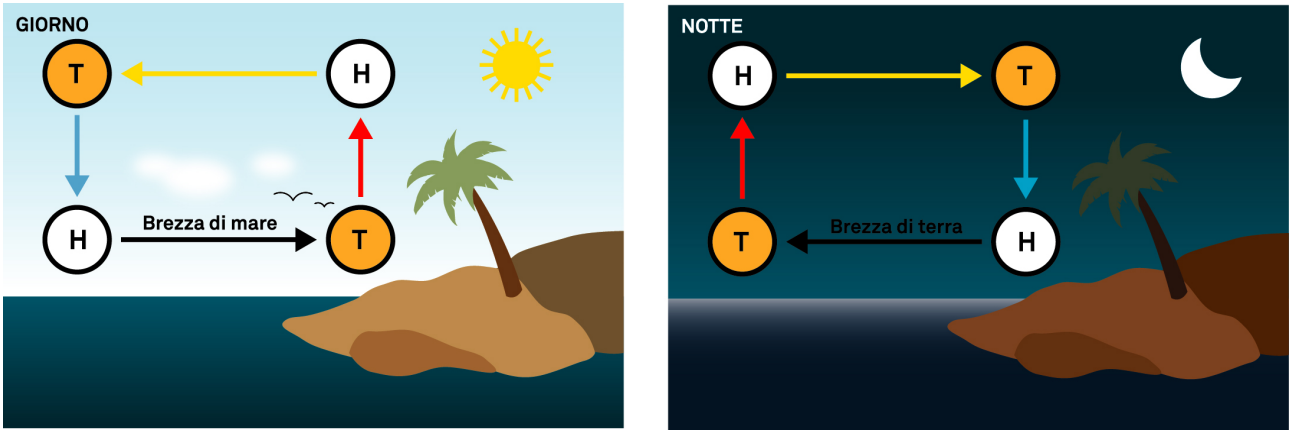

FIGURA 4: BREZZA DI TERRA E BREZZA DI MARE (EGLI, HASLET E PROBST, GEOGRAFIE WISSEN UND VERSTEHEN, 2016: 72)

12. Hasler, 2016, S. 74
13. Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz, https://www.meteoschweiz.admin.ch/home/wetter/messwerte/messwerte-an-stationen.html?param=airpressure-qfe
14. Egli. Hasler. Probst. 2016. S. 71

Durante il giorno, la radiazione solare riscalda maggiormente la terraferma, per questo motivo sopra l'acqua è meno caldo che sopra la terraferma. La massa d'aria calda si innalza e in vicinanza suolo si ha così una zona di bassa pressione (meno particelle d'aria sopra 1m^2). Di conseguenza, dell'aria viene attratta dall'acqua verso la terra (l'aria si sposta sempre da una zona ad alta pressione verso una a bassa pressione). Noi percepiamo, così, la brezza che dal mare soffia in direzione della terraferma.

Durante notte la terraferma si raffredda più velocemente rispetto all'acqua. L'aria situata sopra l'acqua diventa allora più calda e s'innalza. Si forma così una zona di bassa pressione sull'acqua. Di conseguenza, l'aria dalla terraferma viene attratta verso questa zona di bassa pressione, generando così la formazioni di una brezza. La direzione della brezza cambia fra il giorno e la notte[15].

Scambio negli oceani

Oltre alle maree, le correnti marine sono mosse innanzitutto da differenze di densità e dal vento. Le differenze di densità in regioni marittime diverse sono generate dalle **variazioni di temperatura e di salinità**[16]. Una corrente oceanica tipica è la corrente del Golfo, che porta acqua calda negli strati superiori da una regione subtropicale (il golfo del Messico e i Caraibi) fino alle regioni polari in Europa. Lì l'acqua si raffredda e, di conseguenza, diventa più densa e più pesante, scende negli strati marittimi più profondi e fluisce verso sud.

Circoli nel sistema climatico

Fra i sottosistemi (sfere) del sistema climatico ha luogo uno scambio costante di masse ed energia: per esempio vi è un'influenza reciproca fra la circolazione atmosferica generale e le correnti oceaniche. Le correnti atmosferiche (i venti) azionano le correnti oceaniche in superficie e apportano agli oceani calore, carbonio atmosferico e in caso di precipitazioni acqua. Questi, a loro volta, forniscono all'atmosfera calore e, tramite l'evaporazione, umidità (vedi ciclo dell'acqua e ciclo del carbonio)[17]. Nelle regioni vicine all'equatore l'atmosfera riscalda gli oceani, mentre in quelle polari è l'acqua marina a scaldare gli strati d'aria vicini. Il ciclo globale dell'acqua e il ciclo globale del carbonio sono centrali per il clima e connettono fra loro diversi sottosistemi del sistema climatico[18].

Il ciclo dell'acqua

Il ciclo globale dell'acqua descrive la circolazione di acqua fra l'atmosfera, gli oceani e le superficie terrestri, nevose e glaciali[19]. L'acqua è ripartita in modo disomogeneo all'interno del sistema climatico: il 96,5% dell'acqua si trova negli oceani e nei mari e lo 0.9% è acqua salata di falda; il 2,6% è acqua dolce, l'1,7% sotto forma di ghiaccio e neve, lo 0,8% come acqua dolce di falda e meno dello 0,1% nei laghi, fiumi e altro[20]. Nell'atmosfera si trova solo lo 0,001% dell'acqua. Poiché le capacità di accumulo nell'atmosfera, negli oceani, sulla terraferma e sotto la superficie terrestre sono così disparate, anche il tempo di trattenimento ha durate differenti. Negli oceani questo valore si aggira sui 3000 anni, nell'atmosfera circa nove giorni[21]. La gran parte dell'acqua che evapora dai mari e dagli oceani, cade nuovamente sugli stessi sotto forma di precipitazione.

La criosfera (ghiacciai, neve, calotte polari, banchisa) gioca nel ciclo dell'acqua un importante ruolo di de-

15. Egli. Hasler. Probst. 2016. S. 72
16. Wanner, 2016, S. 35
17. Wanner, 2016, S. 159
18. Brönnimann, 2018, S. 11
19. Wanner, 2016, S. 41ff
20. Secondo dati dell'US-Geological Surveys (https://water.usgs.gov/edu/earthwherewater.html)
21. Brönnimann, 2018, S. 38

posito e di isolatore. La neve e il ghiaccio coprono in media il 10% della superficie emersa e ammassano circa 2/3 dell'acqua dolce. La gran parte del ghiaccio si trova sulla Groenlandia e nell'Antartide[22]. La banchisa ha un effetto isolante, agisce da strato isolante fra l'oceano e l'atmosfera. D'altra parte, il ghiaccio riflette una grossa parte delle radiazioni solari a onda corta, che di conseguenza non vengono immagazzinate dall'acqua e trasformate in calore[23].

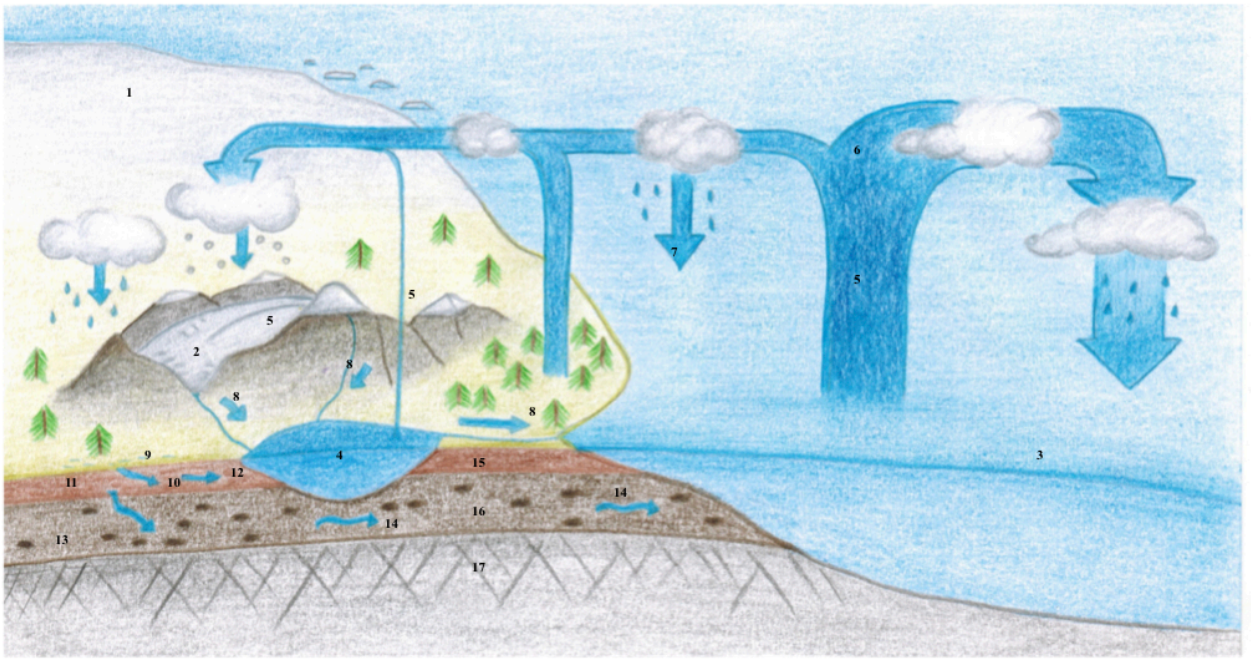

FIGURA 5: IL CICLO GLOBALE DELL'ACQUA (FONTE: REALIZZAZIONE INTERNA AL PROGETTO CCESO II, DISEGNO DI MICHELLE WALZ 2019)

1. Regione glaciale	7. Precipitazione (Pioggia e neve)	13. Falde sotterranee
2. Ghiacciaio/neve	8. Deflusso	14. Deflusso delle acque sotterranee
3. Oceano	9. Zona paludosa	15. Suoli
4. Lago	10. Infiltrazione	16. Roccia incoerente
5. Evaporazione/sublimazione	11. Deposito di acque nel suolo	17. Roccia dura coerente
6. Trasporto di vapore acqueo	12. Deflusso delle acque nel suolo	

Il ciclo del carbonio

Il ciclo globale del carbonio ha anch'esso un importante influsso sul sistema climatico. Composti del carbonio, come il diossido di carbonio CO_2 o il metano CH_4, agiscono direttamente sul clima come gas a effetto serra (vedi scheda informativa 2)[24]. Grosse quantità di composti del carbonio sono immagazzinate negli oceani, nei suoli e nella vegetazione. Gli oceani contengono circa 50 volte più carbonio dell'atmosfera. Anche in questo caso l'oceano svolge la funzione di un importante deposito, che prende il CO_2 dall'atmosfera. In quest'ultima invece, si immagazzina poco carbonio. Una gran parte del carbonio introdotto dagli esseri umani nel sistema climatico arriva innanzitutto nell'atmosfera e da lì nell'idrosfera. Un altra parte del carbonio nell'atmosfera viene catturato dalle piante e immagazzinato temporaneamente nella biosfera.

22. Wanner, 2016, S. 37f
23. Wanner, 2016, S. 40; Brönnimann, 2018, S. 205ff
24. Wanner, 2016, S. 47ff; Brönnimann, 2018, S. 39

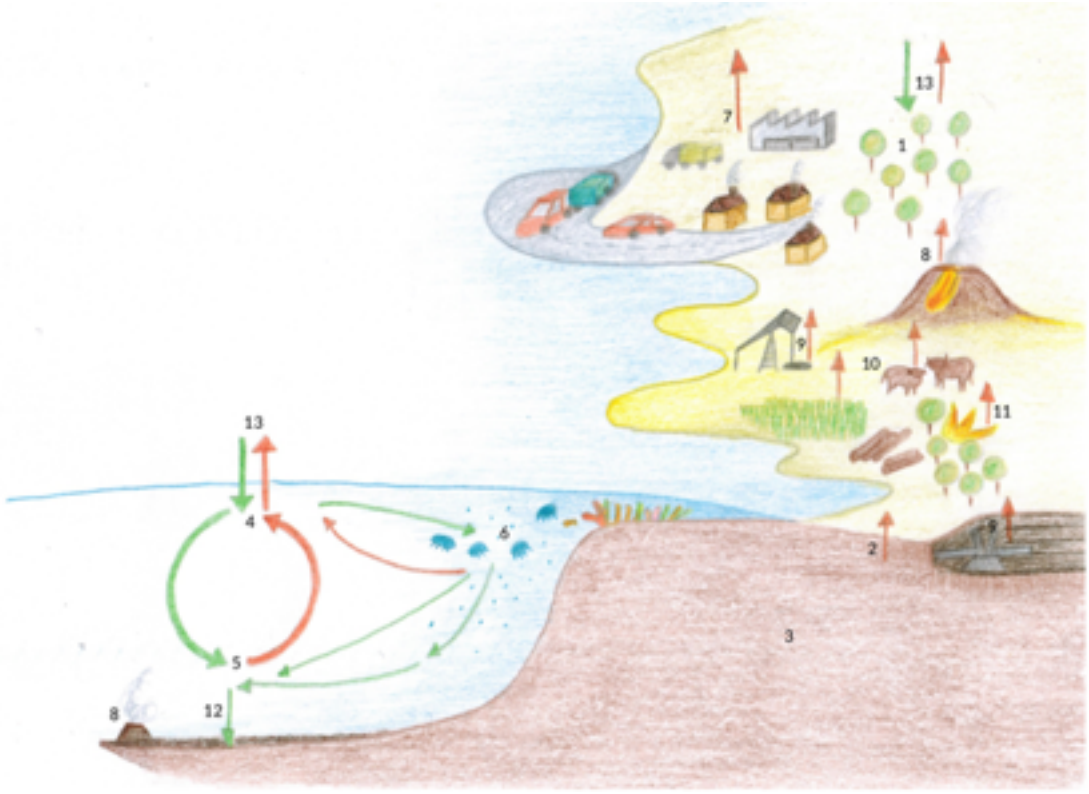

FIGURA 6: IL CICLO DEL CARBONIO (FONTE PROGETTO CCESO 2019)

1. Vegetazioni	8. Vulcani negli oceani e sui continenti, isole
2. Suoli	9. Estrazione/trasformazione/combustione di fonti energetiche fossili (petrolio, carbone)
3. Depositi di fossili	10. (Cambiamenti) nello sfruttamento del suolo/agricoltura
4. Strati superficiali degli oceani	11. Disboscamento, incendi di foreste, debbio
5. Strati in profondità degli oceani	12. Sedimenti/deposito
6. Plancton, alghe	13. Fotosintesi/respirazione
7. Industria/traffico/combustione di fonti energetiche fossili	

Bibliografia

Allianz Umweltstiftung (2016). Wissen – Informationen zum Thema „Klima“: Grundlagen, Geschichte, Projektionen (4. Auflage). Berlin: Allianz Umweltstiftung. https:/ /umweltstiftung.allianz.de/content/dam/onemarketing/umweltstiftung/umweltstiftung/media/download/ wissen_klima_2016.pdf

Brönnimann, S. (2018). *Klimatologie.* Bern: Haupt Verlag.

Hasler, M. (2016). Wetter und Klima. In H.-R. Egli, M. Hasler, & M. Probst (Hrsg.), *Geografie - Wissen und verstehen* (S. 61-84). Bern: hep verlag ag.

Spandau, L., & Wilde, P. (2008). *Klima - Basiswissen, Klimawandel, Zukunft.* Stuttgart: Eugen Ulmer KG.

Wanner, H. (2016). *Klima und Mensch - Eine 12'000-jährige Geschichte.* Bern: Haupt Verlag.