



DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE ALIMENTARI E AMBIENTALI

CORSO DI LAUREA IN: SCIENZE FORESTALI E AMBIENTALI

LE MANGROVIE: UNA RISORSA PER IL PIANETA MANGROVES: A RESOURCE FOR THE PLANET

TIPO TESI: COMPILATIVA

Studente:
FEDERICO STAFFOLANI

Relatore:
PROF. CRISTIANO CASUCCI

ANNO ACCADEMICO 2022-2023
SESSIONE DI LAUREA STRAORDINARIA

A babbo Paolo, mamma Dona e Marco, i primi sostenitori di sempre che sono per me le persone più importanti. A voi per primi dedico questo traguardo, perché mi avete dato la possibilità di vivere liberamente e soprattutto serenamente questo percorso di studio. Grazie per tutto ciò che quotidianamente fate di bello e avete fatto per me e grazie per avermi reso la persona che sono.

Ala dolce nonna Renata,
ai miei zii, a mio cugino Luca e a tutti i miei familiari,
a chi non c'è più e un giorno spero di poter tornare ad abbracciare.

Ai miei amici universitari di "54",
agli amici di una vita.

A Tobia, fedele compagno di studio e di vita, non ti dimenticherò mai.
Ad Alice, il mio amore più grande, con l'augurio che questo traguardo sia il primo di tanti altri insieme.

INDICE

ELENCO DELLE TABELLE	6
ELENCO DELLE FIGURE	7
INTRODUZIONE	8
CAPITOLO 1 IL CICLO DEL CARBONIO	9
1.1 Che cos'è il carbonio e dove si trova	9
1.2 Il ciclo del carbonio	9
1.2.1 <i>La membrana cellulare</i>	11
1.2.2 <i>La fotosintesi</i>	11
1.2.2.1 Il cloroplasto.....	12
1.2.2.2 Fase luminosa della fotosintesi.....	13
1.2.2.3 Fase oscura della fotosintesi.....	15
1.2.2.4 Fattori che influenzano la fotosintesi.....	16
1.2.3 <i>La respirazione</i>	16
CAPITOLO 2 LE MANGROVIE	18
2.1 Caratteristiche delle mangrovie	18
2.1.1 <i>Distribuzione globale delle mangrovie</i>	22
2.1.3 <i>Patch di mangrovie</i>	23
2.1.3 <i>Sundarbans: la foresta più grande di mangrovie</i>	24
2.1.4 <i>Le mangrovie e la biodiversità</i>	25
2.1.5 <i>I microrganismi</i>	26
2.1.6 <i>Ecosistemi mitigatori del cambiamento climatico</i>	26
2.2 La produzione di carbonio	26
2.3 Allocazione del carbonio e stoccaggio ecosistema	27
2.4 Meccanismi che facilitano l'accumulo di sedimenti	31
2.5 Tassi di accrescimento del suolo e sequestro del carbonio	31
2.6 L'importanza delle mangrovie per il sequestro di carbonio marino e terrestre	33

2.9 L'equilibrio tra gli ecosistemi	34
2.10 Salviamo gli ecosistemi che ci salvano	35
CAPITOLO 3 IL CARBONIO BLU	39
3.1 Blue carbon	39
3.2 Serbatoi di carbonio blu.....	40
3.3 Altri ecosistemi del carbonio blu.....	41
3.4 Sedimentazione e seppellimento del carbonio blu	42
3.5 Ecosistemi in pericolo: i cambiamenti causati dall'uomo	42
CAPITOLO 4 GLOBAL WARMING	44
4.1 Le mangrovie in pericolo	44
4.2 La crisi globale.....	45
4.3 La politica nel cambiamento climatico	53
4.4 La COP	54
4.4.1 COP 28: tra vittorie e sconfitte	55
CONCLUSIONI.....	56
BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA	57

ELENCO DELLE TABELLE

Tabella 1: sequestro di carbonio	8
Tabella 2: contributo mondiale delle mangrovie e di altri habitat	9

ELENCO DELLE FIGURE

Figura 1: il ciclo del carbonio.....	8
Figura 2: il doppio strato fosfolipidico.....	9
Figura 3: il cloroplasto.....	10
Figura 4: la clorofilla a e b	11
Figura 5: foresta di mangrovie.....	17
Figura 6: la foglia sacrificale della mangrovia	18
Figura 7: un germoglio di mangrovia.....	19
Figura 8: estensione areale e distribuzione globale delle mangrovie nel 2020	20
Figura 9: distribuzione globale delle mangrovie	20
Figura 10: patch di mangrovie globale.....	22
Figura 11: area geografica delle Sundarbans	22
Figura 12: le Sundarbans	23
Figura 13: differenza di sequestro di carbonio tra vari ecosistemi terrestri.....	26
Figura 14: tasso di accrescimento dei sedimenti delle mangrovie.....	29
Figura 15: tassi annuali di sequestro di carbonio.....	30
Figura 16: Posidonia Oceanica.....	36
Figura 17: le T record mondiali.....	43
Figura 18: le crescenti temperature dei mesi di Luglio dal 1850 al 2023.....	43
Figura 19: cupole di calore negli USA.....	44
Figura 20 l'incendio a Maui.....	45
Figura 21: anomalie del ghiaccio dell'Antartide	45
Figura 22: le T della superficie del mare	46
Figura 23: le T dell'Atlantico settentrionale	47
Figura 24: El Niño.....	48

INTRODUZIONE

Oggi i cambiamenti climatici sono una delle più grandi sfide che l'umanità si trova a dover fronteggiare in epoca moderna.

Per cambiamenti climatici si intendono delle variazioni a lungo termine della temperatura e dei modelli meteorologici. Queste variazioni possono avvenire in modo naturale, tuttavia, a partire dal 1800 le attività umane hanno profondamente influenzato la vita sulla Terra a causa di una graduale ma sempre più forte industrializzazione basata sull'utilizzo di combustibili fossili come il carbone, il petrolio e il gas.

La principale causa del surriscaldamento globale è l'emissione di gas serra e cioè l'insieme di quei gas che agiscono esattamente come i vetri di una serra, permettendo l'ingresso della radiazione solare ma ostacolando l'uscita della radiazione infrarossa, determinando nel tempo, un lento ma costante innalzamento della temperatura.

Tra i principali gas serra troviamo l'anidride carbonica e il metano che sono costituiti da molecole che contengono atomi di carbonio. Per questo motivo, da molti anni si cerca di comprendere quali sono i meccanismi capaci di immettere o rimuovere carbonio dall'atmosfera modificandone la concentrazione. I gas serra e le polveri prodotte dall'utilizzo di combustibili fossili agiscono ovviamente in maniera negativa su questo bilancio in quanto rimuovono carbonio dall'ambiente e lo rilasciano nell'aria.

Fortunatamente, alcuni ecosistemi rappresentano per noi degli importanti alleati nella mitigazione al cambiamento climatico riducendo, almeno in parte, il surriscaldamento globale attraverso un sequestro di grandi quantità di carbonio e immagazzinandolo nel suolo.

Con questo elaborato intendo contribuire significativamente all'importanza della protezione, comprensione e conservazione di questi cruciali ecosistemi, in grado di funzionare da accumulatori di carbonio come lo sono le foreste di mangrovie, che da tempo, svolgono uno dei servizi ecosistemici più importanti del mondo essendo responsabili per circa il 10% del seppellimento globale di carbonio.

CAPITOLO 1

IL CICLO DEL CARBONIO

1.1 Che cos'è il carbonio e dove si trova

Il carbonio (simbolo C) è uno degli elementi chimici più diffusi nonché un pilastro fondamentale del pianeta Terra perché fa parte della vita di tutti noi. Oltre questo, la sua importanza è legata al fatto che è in grado di interagire con altre molecole creando composti essenziali per la vita.

Ma quanto carbonio è presente nel nostro pianeta?

Si stima che nella terra ci siano circa 1.85 miliardi di petagrammi (1 petagrammo = 1000 miliardi di kg) distribuiti all'interno di veri e propri serbatoi giganteschi che prendono il nome di carbon sink e che sono principalmente quattro: geosfera, idrosfera, atmosfera e la biosfera.

La geosfera e cioè la crosta terrestre è il carbon sink più ricco di carbonio in quanto al suo interno troviamo circa 100 milioni di petagrammi immagazzinati nelle rocce e nei depositi organici e altri 10 mila petagrammi immagazzinati invece sottoforma di idrocarburi come gas, petrolio e carbone.

Come la crosta terrestre, anche gli oceani sono ricchi di C con circa 38000 petagrammi disciolti nelle profondità marine e in superficie con circa 1000 petagrammi scambiati con l'atmosfera.

Quest'ultima presenta circa 750 mila petagrammi sotto forma di gas come anidride carbonica (CO₂) e metano (CH₄) e rappresenta per noi la più importante perché determina l'effetto serra, e di conseguenza il clima, consentendo la vita di tutti gli organismi sul nostro pianeta.

Per ultima la biosfera, dove troviamo le piante che contengono 560 petagrammi di C immagazzinati nei tronchi e nelle foglie e altri 1500 petagrammi che invece si trovano nel suolo in forma organica nei microrganismi, muffe e funghi. Quest'ultima si autoregola grazie a costanti flussi di energia, acqua e sostanze nutritive che alimentano i cicli biogeochimici come quello dell'azoto, dell'ossigeno e del carbonio.

1.2 Il ciclo del carbonio

Il ciclo del carbonio viene definito come ciclo biogeochimico in quanto si compone di un ciclo biologico e di un ciclo geochimico.

Nel ciclo biologico è coinvolto il passaggio del carbonio dalle piante agli animali e all'ambiente.

Nel ciclo geochimico invece, è coinvolto il passaggio del carbonio dalle rocce sedimentarie superficiali, all'atmosfera, litosfera e idrosfera dove lo ritroviamo rispettivamente sotto forma di anidride carbonica, carbonati e bicarbonati.

Ovviamente il C è l'elemento essenziale di questo ciclo, in particolare quello che ritroviamo sotto forma di anidride carbonica.

Il ciclo del carbonio (Fig. 1) rappresenta lo schema energetico fondamentale dell'ecosistema e consiste in processi di riduzione e ossidazione del carbonio assieme a processi per l'ossigeno.

Innanzitutto, l'energia libera che troviamo nei sistemi biologici deriva dall'energia solare attraverso il processo di fotosintesi.

Oltre che come sorgente di energia, il ciclo del carbonio, attraverso la fase di riduzione dell'anidride carbonica, può essere considerato anche fonte di materiale organico.

Il risultato del processo di riduzione è la produzione di una parte più ossidata dell'atmosfera e una parte ridotta, cioè i corpi degli organismi.

Oltre alla fotosintesi, l'altro processo coinvolto che si occupa invece della costante ossidazione della parte ridotta è la respirazione, che riporta alla formazione di anidride carbonica e che può essere quindi nuovamente impiegata nel ciclo e permettere a quest'ultimo di continuare.

Questi due fondamentali processi di fotosintesi e respirazione avvengono negli eucarioti, più precisamente in organuli endocellulari specifici che sono rispettivamente i cloroplasti e i mitocondri.

I primi si occupano di ossidare l'acqua ad ossigeno e ridurre l'anidride carbonica in sostanza organica, mentre gli altri, i mitocondri, ossidano le sostanze organiche ad anidride carbonica, riducendo l'ossigeno ad acqua.

Questi processi si svolgono soprattutto nelle membrane esterne ed interne degli organelli cellulari.

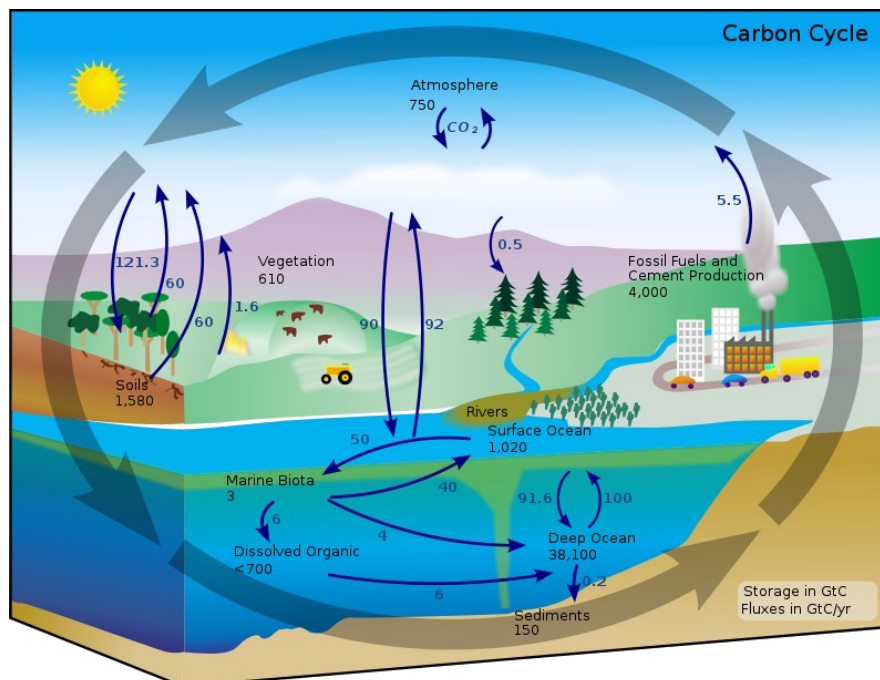


Figura 1: il ciclo del carbonio

1.2.1 La membrana cellulare

La struttura della membrana cellulare o membrana plasmatica o plasmalemma è un rivestimento che delimita la cellula in tutti gli esseri viventi, la separa dall'ambiente esterno e regola gli scambi di sostanze chimiche tra l'interno e l'esterno della cellula (Fig. 2).

La caratteristica principale della membrana è la presenza del doppio strato dei fosfolipidi. Questi ultimi, grazie alle loro proprietà si dispongono in maniera autonoma con le teste idrofile rivolte verso l'ambiente esterno e il citoplasma, mentre le code idrofobe sono rivolte verso l'interno della struttura.

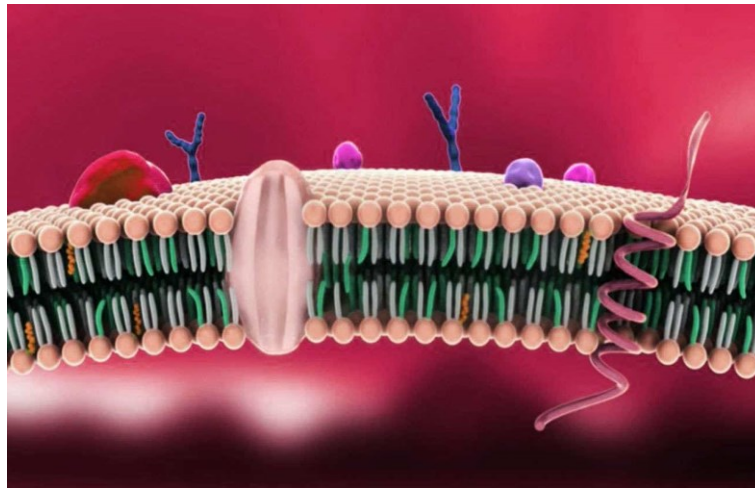


Figura 2: il doppio strato fosfolipidico della membrana plasmatica dove si possono osservare le teste idrofile dei fosfolipidi rivolte verso l'esterno e le code idrofobe rivolte invece verso l'interno

1.2.2 La fotosintesi

La fotosintesi è un processo anabolico, biochimico fondamentale per la sopravvivenza delle piante stesse che converte biologicamente l'energia luminosa in energia chimica e, a partire da sostanze inorganiche riesce a produrre sostanze organiche e ossigeno.

Dal punto di vista chimico, durante la fotosintesi la luce solare permette di convertire sei molecole di anidride carbonica (CO₂) e sei molecole di acqua (H₂O), in una molecola di glucosio (C₆H₁₂O₆) e sei molecole di ossigeno (O₂) che viene liberato come sottoprodotto nell'atmosfera attraverso gli stomi delle foglie. Il tutto osservabile nella seguente reazione:



Nello schema generale della fotosintesi si possono distinguere due fasi: una fase luminosa, luce dipendente o fotochimica e una fase oscura, luce non dipendente o chimica.

La fase luminosa consiste in una catena di trasporto di elettroni che sfruttano la luce per produrre energia sotto forma di molecole di ATP (adenosina trifosfato) e nella riduzione di NADP⁺ a NADPH + H⁺.

Nella fase al buio, ATP e NADPH forniscono l'energia e il potere riducente necessari per la riduzione di CO₂.

Il processo fotosintetico è altamente endoergonico, infatti, in tutti gli organismi il flusso di elettroni nelle reazioni avviene contro un gradiente di potenziale.

La fase luminosa è associata alle membrane fotosintetiche interne del cloroplasto, mentre la fase al buio avviene nello stroma.

1.2.2.1 Il cloroplasto

Il cloroplasto è un plastidio contenente la clorofilla, di forma lenticolare, costituito da una doppia membrana lipoproteica, che racchiude una matrice: lo stroma (Fig. 3)

Lo stroma è attraversato da un sistema di lamelle che prendono il nome di tilacoidi, che possono essere di due tipi:

- i tilacoidi intergrana
- i tilacoidi del grana

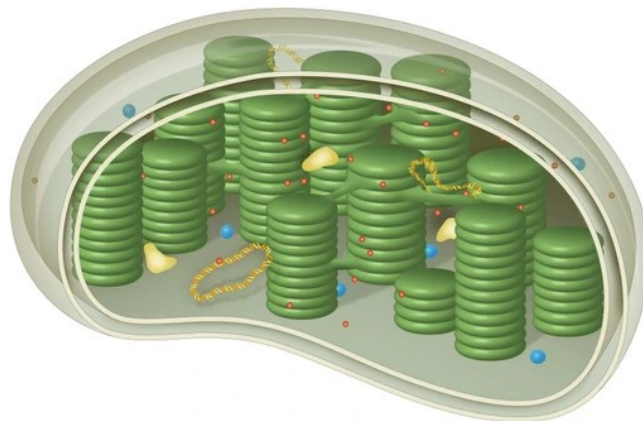


Figura 3: il cloroplasto, l'organello cellulare deputato alla funzione fotosintetica. Nel dettaglio è possibile osservare la doppia membrana, i tilacoidi del grana e i tilacoidi intergrana.

Su queste membrane sono ancorate le clorofille e altri pigmenti che sono raggruppati in unità fotosintetiche (fotosistemi PS1 e PS2).

Qui si svolge la fase luminosa, quindi la cattura dell'energia luminosa e conversione in energia chimica, mentre nello stroma avviene la fase oscura con l'organizzazione della CO₂.

La clorofilla è un pigmento verde presente nei cloroplasti delle cellule vegetali o negli organismi procarioti che realizzano la fotosintesi clorofilliana.

È formata da un Mg-porfirina costituita da un nucleo tetrapirrolico esterificato nella punta carbossilica con fitolo, il cui compito è quello di assorbire la luce visibile per la presenza di doppi legami coniugati; sono presenti pigmenti accessori (carotenoidi, ficobiline) che trasferiscono l'energia luminosa alla clorofilla.

Lo spettro dell'energia elettromagnetica va dai 400 nanometri (luce violetta) ai 900 nanometri (infrarosso).

La clorofilla è costituita da uno scheletro eterociclico aromatico con al centro un atomo di magnesio e le molecole di clorofilla, sono posizionate e circondate dai cosiddetti fotosistemi, cioè complessi proteici che catturano l'energia luminosa e che sono racchiusi nei tilacoidi dei cloroplasti.

Le molecole di clorofilla in periferia del fotosistema fungono da antenna e convogliano l'energia al centro del fotosistema, chiamato centro di reazione.

Qui dalla molecola di clorofilla si separano gli elettroni dopo che vengono catturati dal fotosistema. In seguito, questi elettroni, donati ad una catena di trasporto di elettroni, permettono la produzione di ATP.

Esistono due tipologie di clorofille:

la "a" che assorbe la luce blu-violetta e rossa;

la "b" che assorbe la luce blu ed arancione (Fig. 4);

lo spettro di assorbimento delle clorofille presenta due picchi: uno nel rosso e uno nell'azzurro. Questi picchi sono separati da un profondo avvallamento dove l'assorbimento è basso (500-600 nm) e dove sono più attivi i carotenoidi. Gli assorbimenti comportano il passaggio di stato; dallo stato fondamentale a quello eccitato.

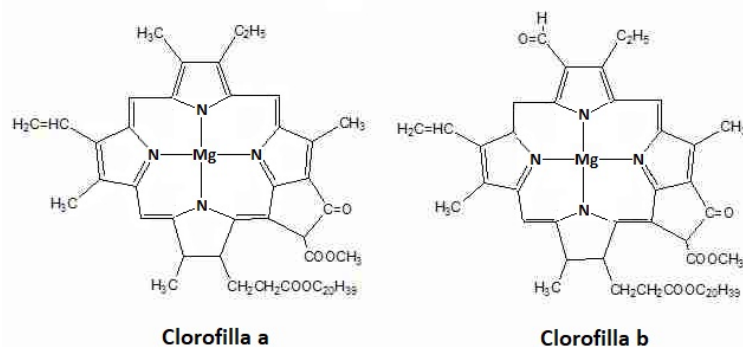


Figura 4: le molecole di clorofilla a e b.

1.2.2.2 Fase luminosa della fotosintesi

Il trasporto di elettroni converte l'energia luminosa in energia chimica. La luce (fotoni) viene assorbita dai pigmenti antenna del PSII (photosistem II) e del PSI (photosistem I) i quali intervengono nel trasferimento degli elettroni da H₂O a NADP⁺ e di protoni attraverso la membrana fotosintetica.

La clorofilla "a" attiva la reazione di fotosintesi cedendo elettroni ad alta energia. Attorno al centro di reazione troviamo il complesso antenna, composto da numerose molecole di pigmenti antenna come clorofilla b, carotenoidi, xantofille, che invece, assorbono l'energia dei fotoni e la trasferiscono ai centri di reazione.

I fotosistemi sono due complesse strutture molecolari di membrana che attraversano il doppio strato lipidico delle membrane tilacoidali e che contengono numerosi pigmenti in grado di assorbire fotoni.

Al centro di questi fotosistemi, troviamo le molecole di clorofilla a, che formano il centro di reazione. Nel fotosistema I il complesso di molecole antenna è costituito da clorofilla a, mentre nel fotosistema II è abbondante la clorofilla b, ma anche qui il centro di reazione è costituito da clorofilla a.

Il fotosistema I ha massimo di assorbimento ad una lunghezza d'onda di 700 nm per questo viene chiamato anche P700 dove p sta per pigmento, mentre il fotosistema II, P680.

FLUSSO DI ELETTONI NELLA FOTOSINTESI

- Fotosistema II

All'interno del fotosistema II costituito da proteine e pigmenti, troviamo tra i trasportatori di elettroni, la feofitina e i plastochinoni. Questo fotosistema presenta circa 200 molecole di clorofilla a e b legate ad alcune catene polipeptidiche che catturano la luce solare e sintetizzano l'ATP.

All'interno del fotosistema è localizzato un complesso molecolare enzimatico per l'ossidazione dell'acqua che trasferisce gli elettroni dell'acqua ad un chinone liberando contemporaneamente ossigeno.

Gli elettroni, ricchi di energia, passando attraverso una serie di trasportatori, raggiungono i centri di reazione del fotosistema I.

Il P680+ riceve l'e- donato alla pheo (feofitina) dalla tirosina del polipeptide D1 (YZ). YZ+ viene ridotta da un complesso che, rimuovendo 4 e- dall'acqua libera O₂. È necessario quindi l'accumulo di 4 cariche positive su M (complesso che libera ossigeno) prima che possa esser liberato O₂.

Contemporaneamente il sistema OEC rilascia protoni nel lume tilacoidale.

La riduzione del P680 e l'ossidazione dell'acqua (H₂O) sono reazioni termodinamicamente spontanee.

In questa fase del processo fotosintetico è anche coinvolto il citocromo B6f: un complesso integrale di membrana che funge da collegamento tra PSII e PSI.

Inoltre, svolge anche una funzione importante nella traslocazione di protoni attraverso la membrana (2H⁺ per ogni e- trasferito) e nella formazione di un potenziale elettrochimico transmembrana.

Dal P700+ al NADP+.

Il centro di reazione del PSI è una PC/FD ossidoreduttasi dove FD (ferrodossina) è una proteina estrinseca stomale con due centri Fe-S, che trasferisce due e- al NADP+ nello stroma sotto l'azione catalitica esercitata dal complesso FNR (flavoproteina contenente FAD).

- Fotosistema I

È un complesso di pigmenti e proteine idrofobico costituito da diverse subunità proteiche, da un accettore primario A0 (clorofilla a), da un A1 (fillochinone) e da Fx, Fb e Fa, tre centri di Fe-S.

Come il fotosistema II, si trova nelle membrane tilacoidali in grado di ridurre la ferredoxina per mezzo di e- provenienti dalla plastocianina che li riceve dal PSII.

È una PC/FD ossidoreduttasi e partecipa al trasporto ciclico di e-.

FOTOFOSFORILAZIONE

La produzione di ATP è accoppiata alla formazione del gradiente di protoni, a sua volta dovuta al particolare orientamento dei complessi molecolari della membrana del tilacoide.

ATP sintetasi è un complesso enzimatico formato da molecole che catalizzano la sintesi dell'ATP.

La struttura dell'ATP sintetasi sporge verso lo stroma del cloroplasto, attraversa lo spessore della membrana tilacoidale e, prelevando protoni dal lume del tilacoide, li trasferisce all'esterno accoppiando la sintesi di ATP all'uscita dei protoni.

In sintesi, quindi, la fase luminosa della fotosintesi consiste in una catena di trasporto degli elettroni che sfrutta la luce per produrre energia sotto forma di molecole di ATP e potere riducente sotto forma di NADPH (entrambi utilizzati nella fase oscura).

La reazione totale della fase luminosa della fotosintesi è:



1.2.2.3 Fase oscura della fotosintesi

La fase oscura o ciclo di Calvin avviene invece nello stroma del cloroplasto e consiste in una serie di reazioni in cui vengono impiegati i prodotti della fase luminosa al fine di ottenere una riduzione biochimica dell'anidride carbonica in glucosio e altri carboidrati.

Il processo è anche noto come fissazione della CO₂ ed è determinante per la biosfera in quanto ogni anno, piante verdi e alghe producono massicce quantità di sostanza organica.

La reazione totale del ciclo di Calvin o C₃ è la seguente:



Il ciclo di Calvin può essere suddiviso in 4 fasi:

- 1) Fase di CARBOSSILAZIONE: la prima reazione è la fissazione del CO₂ su un accettore organico, il pentoso ribulosio 1,5 difosfato (RuDP). Si forma un intermedio instabile che si decompone originando due molecole di acido 3 fosfoglicerico (PGA). Una parte di queste molecole sono destinate alla conversione del PGA in glucosio oltre alla rigenerazione del RuDP.
- 2) Fase di RIDUZIONE DEL PGA: L'acido 3- fosfoglicerico PGA viene ridotto, con un consumo di energia, a 3 fosfogliceraldeide GP3 (gliceraldeide 3 fosfato). PGA viene prima attivato dall'ATP, che gli dona il gruppo fosfato (fosfoglicerochinasi) quindi ridotto a GP3 da NADP.
- 3) Fase di CONVERSIONE DEL GP3 IN GLUCOSIO, con annessa formazione di esosi, ovvero zuccheri con 6 atomi di carbonio. La gliceraldeide-3-fosfato è un intermedio della glicolisi e tramite la reazione inversa produce una molecola di glucosio.
- 4) Fase di RIGENERAZIONE DEL RuDP: il ribulosio viene sempre rigenerato per poter continuare il ciclo fungendo da accettore per la fissazione dell'anidride carbonica. Ogni 6 cicli di fissazione del ribulosio si generano 12 molecole di 3 fosfogliceraldeide. Di queste 12 molecole, 2 vengono

utilizzate per formare 1 molecola di glucosio, mentre le altre 10 vengono riciclate rigenerando ribulosio.

Quindi, per l'organizzazione di ogni CO₂ occorrono 3 ATP e 2 NADPH+ H⁺.

Per ogni 6 CO₂ organizzate vengono ripristinate 6 molecole di RuDP e si libera un esoso a livello del F6P.

1.2.2.4 Fattori che influenzano la fotosintesi

I fattori che influenzano la fotosintesi in maniera significativa sono:

- 1) ENERGIA LUMINOSA: non tutta la luce che giunge alla foglia viene utilizzata, ma solo il 20% e solo l'1-2% alla lunghezza d'onda giusta.
- 2) ANIDRIDE CARBONICA: per intensità luminose fino a ½ della luce solare si ha incremento di attività fotosintetica, dopodiché l'attività si mantiene costante fino al doppio di intensità luminosa.
- 3) ACQUA: la formazione di 1 kg di sostanza secca richiede 350 kg di acqua, gran parte eliminata per traspirazione. La fotosintesi è favorita dalla disponibilità di acqua soprattutto per mobilitazione di glucidi insolubili.
- 4) TEMPERATURA: fino a 33-40 °C si mantiene l'effetto positivo, poi però si ha la denaturazione degli enzimi.

1.2.3 La respirazione

Oltre alla fotosintesi clorofilliana, l'altro processo che avviene nel ciclo del carbonio, grazie al quale gran parte del carbonio lascia la biosfera, è la respirazione cellulare ed è il processo inverso alla fotosintesi:



È un processo esoergonico che in condizioni di aerobiosi si serve dell'ossigeno come accettore finale di elettroni e che prevede l'ossidazione completa del glucosio e la produzione di molecole di anidride carbonica e acqua; mentre in assenza di ossigeno può produrre energia servendosi di accettori differenti di ossigeno o limitandosi alla glicolisi senza la sintesi di ATP.

La respirazione cellulare si può suddividere in 4 fasi: la glicolisi, la decarbossilazione del piruvato, il ciclo di Krebs e la fosforilazione ossidativa.

- 1) La prima fase è la glicolisi che avviene nel citoplasma e che consiste in 10 reazioni dove, una molecola di glucosio a 6 atomi, viene ossidata a 2 molecole di piruvato a 3 atomi di carbonio ciascuna. Prevede una fase di investimento, dove vengono utilizzate 2 ATP e, una fase di rendimento in cui vengono prodotte 4 ATP e 2 NADH.
- 2) Successivamente abbiamo la decarbossilazione del piruvato dove abbiamo la rimozione di un atomo di carbonio dal piruvato che avviene nel mitocondrio e dove l'enzima piruvato deidrogenasi è ossidato rimuovendo un atomo di carbonio sotto forma di CO₂ e si forma contemporaneamente una molecola di NADH ridotto. Il risultato è una molecola con 2 atomi di carbonio che forma un gruppo acetile, il quale forma l'Acetil-CoA una volta che viene legato dal Coenzima-A.
- 3) Durante la terza fase, nel ciclo di Krebs, che si svolge nella matrice mitocondriale, le molecole dell'Acetil-CoA vengono ossidate ad anidride carbonica. Il ciclo inizia con il trasferimento del gruppo Acetile dell'Acetil-CoA su una molecola di ossalacetato, che tornerà nuovamente disponibile alla fine di 8 reazioni del ciclo.
- 4) La fosforilazione ossidativa è l'ultima tappa della respirazione cellulare che prevede due fasi. Nella prima gli elettroni presenti nei coenzimi NADH e FADH₂ vengono ceduti ai complessi della catena di trasporto sulla membrana interna del mitocondrio, nella seconda fase invece si producono le molecole di ATP.

CAPITOLO 2 LE MANGROVIE

2.1 Caratteristiche delle mangrovie

Le mangrovie sono delle piante che comprendono alberi, arbusti, palme e felci che si sviluppano in un clima equatoriale, tipicamente lungo le coste e i fiumi soggetti ad alta marea. Sono presenti in tutto il mondo nelle zone tropicali, subtropicali e anche in alcune zone costiere temperate.

Ne esistono diverse varietà come la mangrovia rossa e nera, ma il termine mangrovia viene spesso utilizzato in maniera impropria poiché in realtà è usata in almeno 3 sensi: più in generale per riferirsi all'habitat e all'intero insieme di piante per i quali viene utilizzato anche il termine di "bioma della foresta di mangrovie" (Fig. 5) e "palude di mangrovie"; per riferirsi a tutti gli alberi e i grandi arbusti in una palude di mangrovie e, in senso stretto, per riferirsi solo agli alberi di mangrovia del genere *Rhizophora* della famiglia delle *Rhizophoraceae*.

Tra le specie di mangrovie riconosciute ci sono in totale 70 specie in 20 generi di 16 famiglie che costituiscono le "vere mangrovie": specie che si trovano quasi esclusivamente negli habitat di mangrovie.

Si possono quindi distinguere famiglie differenti, le principali sono:

- 1) RHIZOPHORACEAE: la famiglia principale, la più grande all'interno della quale abbiamo specie come la mangrovia rossa (*Rhizophora Mangle*), la mangrovia gialla (*Ceriops Australis*) e la mangrovia asiatica (*Asiatic Mangrove*).
- 2) ARECACEAE dove è presente la "Palma di mangrovia" (*Mangrove Palm*).
- 3) AVICENNIACEAE, all'interno della quale troviamo la mangrovia indiana (*Avicennia Officinalis*), nera (*Avicennia Germinans*) e grigia (*Avicennia Marina*).
- 4) COMBRETACEAE, con la mangrovia bianca (*Laguncularia Racemosa*).
- 5) LYTHRACEAE.



Figura 5: una foresta di mangrovie.

Normalmente le mangrovie sono costituite da 4 fasce parallele alla linea di costa: la prima, è formata da piante quasi perennemente sommerse; la seconda fascia, le *Rhizophora* (la mangrovia per antonomasia) viene invasa regolarmente dall'alta marea; la terza, è formata da arbusteti e viene sommersa solo dalle alte maree maggiori e la quarta, infine, è formata da specie arbustive e arboree alofile, che non vengono mai sommerse e vivono in un suolo con un minore contenuto di sale.

Come tutti gli alberi, presentano chioma, fusto e radici, tuttavia, queste ultime sono molto particolari, infatti, si sviluppano dal fusto e crescono in profondità ancorando la pianta al substrato ed assorbendo l'acqua ed i nutrienti di cui essa necessita.

Queste specie arboree possono raggiungere i 10-11 metri di altezza e sono caratterizzate da foglie dure e spesse che sono lunghe dai 5 ai 15 cm. I fiori sono di colore giallo chiaro e le radici aeree, intricate e molto vistose, emergono dall'acqua permettendo di sollevare il tronco dal fango e creando un fitto reticolo che sostiene il suolo sottostante, oltre che la pianta stessa.

Le mangrovie sono in grado di sopravvivere ad habitat difficili. Parliamo infatti di suoli ricchi di sedimenti fini, materia organica, ad elevata salinità (fino al 9% nel mare oceanico), o con acqua salmastra (dal 3 al 4 % di salinità) e inoltre molto poveri di ossigeno.

Nonostante per le mangrovie i bacini salmastri siano l'habitat ideale, l'acqua salata può uccidere queste piante. Per sopravvivere infatti devono filtrare solo l'acqua dolce dall'acqua marina che li circonda.

Molte specie di mangrovie assorbono fino al 90% del sale marino grazie alle ghiandole delle loro foglie che si ricoprono di sale essiccato. Il rivestimento ceroso delle foglie, infatti, sigilla l'acqua e minimizza l'evaporazione. Altre, invece, hanno una sottile peluria sulle foglie che le protegge dal vento e dalla luce diretta del sole, riducendo così la perdita di acqua grazie a piccoli fori, che permettono lo scambio dei gas durante la fotosintesi.

Altre specie ancora, utilizzano la strategia di concentrare il sale nelle foglie più vecchie o nella corteccia e quando le foglie cadono o la corteccia si stacca, il sale si disperde di nuovo nell'ambiente marino.

Per quanto riguarda invece le radici aeree, queste sono fondamentali perché forniscono sia un sostegno strutturale che respiratorio.

Alcune specie come nel caso della mangrovia nera (*Avicennia Germinans*) che sopravvive nelle zone più inondate, presenta un apparato radicale simile a cannuce per respirare, che possono raggiungere dai 30 cm fino ai 3 metri in alcune specie. Questi veri e propri “tubi respiratori”, chiamati pneumatofori, cioè radici aeree che si sviluppano in verticale e che sono a contatto diretto con l’aria, riescono ad assorbire ossigeno atmosferico e permettere alla pianta di sopravvivere in terreni anossici.

Altre specie come invece la mangrovia rossa (*Rhizophora Mangle*), che a differenza delle prime vivono in luoghi maggiormente inondati, assorbono aria attraverso le lenticelle, cioè i migliaia di pori respiratori presenti sulla corteccia che si chiudono durante l’alta marea per evitare che la pianta anneghi. Tutto ciò è reso possibile anche grazie agli ampi parenchimi aeriferi che caratterizzano le radici e che facilitano quindi il trasporto di ossigeno all’interno delle piante.

Alcuni fitti apparati radicali sono costituiti da radici trampoliere, che si ramificano al tronco e ai rami più bassi, altri invece sono più larghi e ondulati.

Anche le radici di ancoraggio presentano porzioni esposte all’aria ed è per questo motivo che le mangrovie sembrano sospese in aria.

Ricapitolando, la loro caratteristica principale è proprio quella di riuscire a colonizzare terreni con un elevato grado di salinità e poveri di ossigeno, che ucciderebbero la stragrande maggioranza di specie vegetali.

Le mangrovie, in sintesi, hanno risolto questi problemi legati all’ambiente in cui si trovano grazie alle seguenti strategie:

- 1) **ADATTAMENTO AI BASSI LIVELLI DI OSSIGENO**; nelle radici attraverso le lenticelle come nel caso della mangrovia rossa o gli pneumatofori per le mangrovie nere.
- 2) **LIMITARE L’ASSUNZIONE DI SALE**; attraverso radici significativamente impermeabili, suberizzate (impregnate di suberina) e attraverso il meccanismo di “foglia sacrificale”, dove il sale viene convogliato in un’unica foglia più vecchia, che ingiallisce e cade, liberando la pianta dall’eccesso di sali (Fig. 6). In alternativa l’accumulo può verificarsi anche nel tronco.



Figura 6: una foglia "sacrificale" della mangrovia che espelle granuli di sale.

- 3) GHIANDOLE SPECIALI localizzate nelle foglie che sono in grado di espellere i sali.
- 4) RIDUZIONE DEL CONSUMO E DELLE PERDITE DI ACQUA attraverso il meccanismo di apertura e chiusura degli stomi (pori localizzati sulla superficie delle foglie che scambiano anidride carbonica e vapore acqueo durante la fotosintesi) e variando anche l'orientamento delle foglie stesse per evitare il forte sole nelle ore più calde durante il giorno.
- 5) TRIPLO STRATO DI EPIDERMIDE delle radici che permettono di facilitare la filtrazione e l'assorbimento degli ioni Na^+ , aumentando conseguentemente il potenziale osmotico, assorbire acqua e sostenere la pressione di turgore.
- 6) RIPRODUZIONE VIVIPARA. Anche la riproduzione delle mangrovie rappresenta una caratteristica unica in questo ambiente ostile, infatti, hanno sviluppato un meccanismo speciale per aiutare la loro prole a sopravvivere. I semi di mangrovia, infatti, sono galleggianti e quindi adatti alla dispersione nell'acqua. Inoltre, a differenza della maggior parte delle piante, i cui semi germinano nel terreno (Fig. 7), molte mangrovie come ad esempio la mangrovia rossa, sono vivipare: i semi germinano nel frutto quando è ancora attaccato alla pianta madre e da questa, il propagulo maturo poi si stacca e galleggia trasportato dalla corrente. Una volta che trova il substrato adatto, si ancora e inizia a crescere. I propaguli possono sopravvivere all'essiccazione e rimanere dormienti per oltre un anno prima di arrivare in un ambiente adatto. Grazie a questa caratteristica modalità di riproduzione, le mangrovie si disperdono in aree geograficamente anche molto distanti tra loro.



Figura 7: un germoglio di mangrovia.

2.1.1 Distribuzione globale delle mangrovie

Le mangrovie hanno un'ampia distribuzione nel nostro pianeta. Sono diffuse nelle zone tropicali e subtropicali di entrambi gli emisferi, lungo le coste di: America del sud, Africa, Asia e Oceania. In genere le mangrovie che si sviluppano sulle coste dell'Oceano Indiano e nella parte occidentale del Pacifico sono le più ricche in specie, mentre quelle delle Americhe e delle coste orientali dell'Atlantico, sono caratterizzate da un numero di specie inferiore.

La distribuzione spaziale e l'estensione delle foreste di mangrovie globali sono mostrate nelle Figure 8 e 9. L'area delle foreste di mangrovie globali era di 145.065 km² nel 2020 (Fig. 8). Circa il 96% delle foreste di mangrovie è distribuito in regioni tropicali. (Fig. 8c). L'Asia aveva la maggiore quantità di foreste di mangrovie (39.2%), seguita da Africa (19.3%), Sud America (15.4%), Nord America (14.3%) e Oceania (11.9%). Per le regioni geografiche statistiche delle Nazioni Unite (ONU), le foreste di mangrovie nell'Asia sudorientale, in Sud America, in Africa occidentale, in America centrale, in Australia e in Nuova Zelanda si classificano tra le prime cinque più grandi estensioni superficiali che superano tutte i 10.000 km² (Tabella 1.). La figura 8b invece elenca i primi venti paesi ricchi di mangrovie e questi paesi costituiscono oltre l'80% delle foreste di mangrovie globali. L'Indonesia ha la maggiore quantità di foreste di mangrovie, seguita da Brasile e Australia.

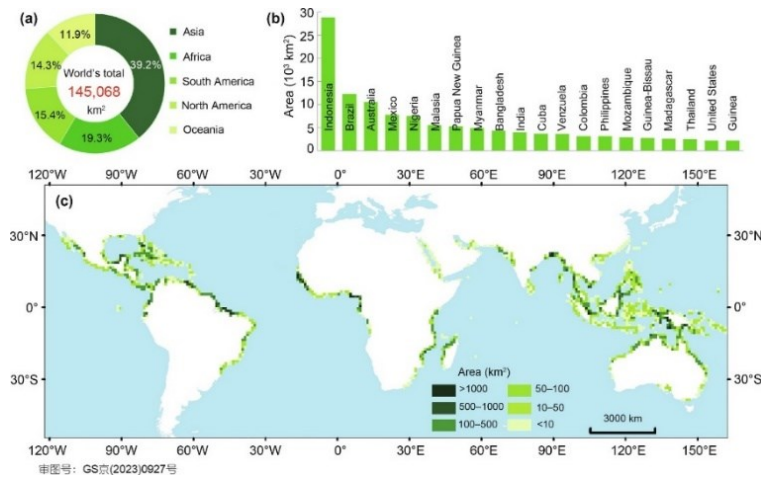


Figura 8: Estensione areale e distribuzione delle foreste globali di mangrovie nel 2020. (a) Superficie e proporzione delle foreste di mangrovie in ogni continente. (b) Estensione areale delle foreste di mangrovie nei primi venti paesi ricchi di mangrovie. (c) Distribuzioni di foreste di mangrovie riassunte in ogni decimale di grado quadrato.



Figura 9: distribuzione globale delle mangrovie.

2.1.3 Patch di mangrovie

A livello globale, il numero di macchie di mangrovie era di 336.972 nel 2020. L'Asia ha avuto la percentuale maggiore di "patch" (termine con cui si indicano le porzioni di terreno) del 36.5%, seguita da Nord America 20.8%, Oceania 18.7%, Sud America 12.4% e Africa 11.6%. In totale, il 95% delle zone di mangrovie sono inferiori a 1 km². Per quanto riguarda la larghezza delle zone globali di mangrovie, 59.751 zone avevano una larghezza superiore a 100 metri, con un'area totale di 142.998 km², pari al 98.5% del totale globale. Il numero di zone con una larghezza superiore a 1500 metri era 1782, con una superficie totale di 35.831 km², pari al 25% del totale mondiale.

Per le regioni geografiche statistiche delle Nazioni Unite (ONU), la dimensione media delle patch della Melanesia era di 1,5 km², la più grande, seguita da Africa Occidentale e Asia Meridionale, con dimensioni medie delle patch rispettivamente di 1.0 e 0.7 km². Per le altre regioni geografiche, le dimensioni medie delle patch erano tutte inferiori a 0.5 km². La figura 10 mostra i primi dieci paesi con la dimensione media delle patch più grande. La dimensione media delle foreste di mangrovie del Bangladesh è classificata come la più grande, seguita da Congo e Isole Cayman. In termini di singole patch, solo 88 patch avevano un'area maggiore di 100 km² e la patch più grande è stata trovata nel Parco Nazionale delle Everglades, Florida, Stati Uniti, con un'area di 989 km². Grandi macchie sono state trovate nell'estuario del Rio delle Amazzoni, nei Sundarbans lungo il golfo del Bengala e nel Parco Nazionale Sembilang nella provincia indonesiana del Sumatra meridionale.

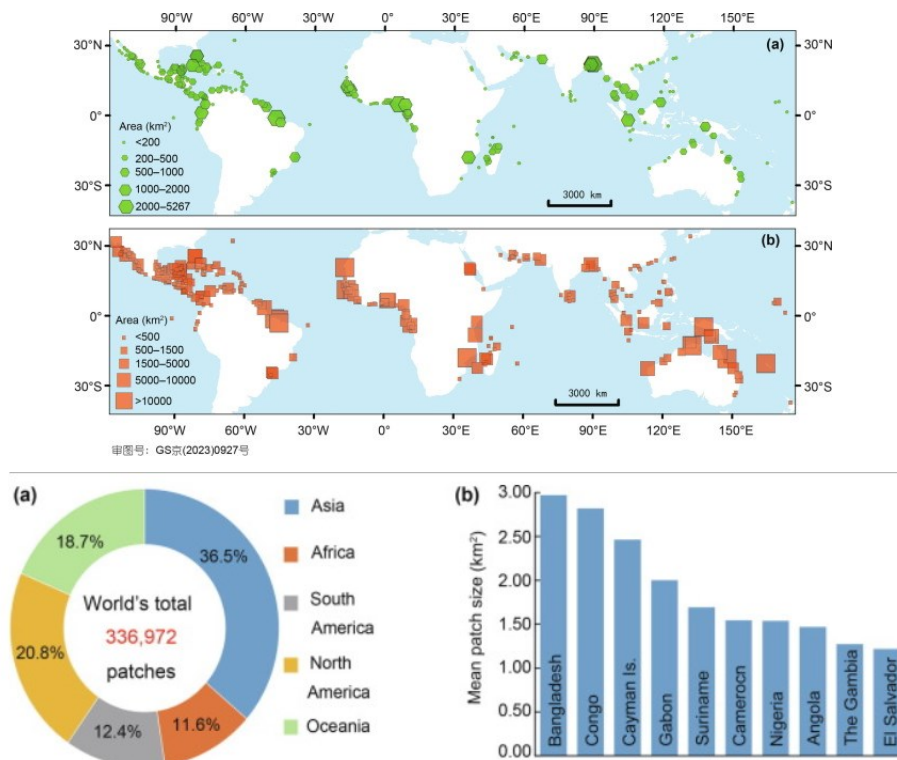


Figura 10: patch di mangrovie totale nel mondo.

2.1.3 Sundarbans: la foresta più grande di mangrovie

Le Sundarbans, la cui area geografica è osservabile nella figura 11, sono la più grande foresta di mangrovie nel mondo (Fig. 12). La foresta, classificata dal WWF come ecoregione, si estende sul delta dei fiumi Gange, Brahmaputra e Meghan, in regioni appartenenti al Bangladesh e allo stato del Bengala occidentale, in India. La regione è inclusa nella lista delle Global 200 (elenco delle ecoregioni considerate prioritarie per la conservazione) con il nome di Mangrovie delle Sundarbans.

Costituisce un patrimonio dell'umanità dell'UNESCO a partire dal 1997 e anche se la zona del Bangladesh e quella dell'India sono elencati tra i patrimoni dell'UNESCO con due nomi differenti, essi sono semplicemente due parti della stessa foresta.



Figura 11: area geografica delle Sundarbans.

Le Sundarbans sono intersecate da una complessa rete di vie d'acqua soggette a maree, distese fangose e piccole isole di foreste di mangrovie adattate all'acqua salata caratterizzate da un'ampia varietà di fauna come, ad esempio, la tigre del bengala o altre specie di cetacei, cervidi, uccelli coccodrilli e serpenti.

Costituiscono un ecosistema molto complesso, suddiviso per un 62% nel Bangladesh e il restante 38% in India. L'area totale è poco più di 6000 chilometri quadrati, dei quali, oltre 4100 di terreni asciutti e quasi 1900 di acque (fiumi, canali, ecc.).

I fiumi sono un incontro tra l'acqua dolce del Gange e l'acqua salata del Golfo del Bengala.

Benché le Sundarbans non abbiano eguali fra le altre foreste di mangrovie e nonostante sia in vigore un trattato per il bando totale della caccia e della cattura di qualunque tipo di animale che non siano pesci o alcuni vertebrati, vi è stato un notevole calo di biodiversità e di perdita di specie (6 mammiferi e un rettile durante il XX secolo) oltre ad un calo della qualità ecologica dell'originaria foresta di mangrovie.



Figura 12: le Sundarbans, la foresta di mangrovie più grande del mondo.

2.1.4 Le mangrovie e la biodiversità

La biodiversità è la ricchezza che contraddistingue le foreste di mangrovie. Sono infatti numerose le specie terrestri e marine che vivono tra questi alberi, in particolare, si trovano pesci e crostacei elencati nella Lista Rossa delle Specie Minacciate (IUCN) essendo la loro riproduzione dipendente dalla presenza di questi alberi.

Tanto è importante la loro presenza che vengono definite delle vere e proprie nurseries, cioè dei “nidi”, essendo il luogo di deposizione e di schiusa di uova di numerose specie. Queste foreste marine sono di conseguenza fondamentali per il ripopolamento delle specie.

Sono anche definiti “ingegneri dell’ecosistema” perché strutturano un importantissimo habitat per diverse e numerose specie marine, tra cui anfibi, rettili, pesci, cirripedi, ostriche, granchi e altri organismi marini, ma anche uccelli e altri animali selvatici, come tigri e scimmie.

Il loro sistema radicale è in grado di creare un ambiente protetto e riparato; infatti, oltre a trovare una grande quantità di fauna bentonica, le radici trattengono sedimenti marini, tanto da riuscire a creare delle vere e proprie isole verdi, favorendo la riduzione dell’erosione costiera provocata spesso dalle maree e fornendo riparo dalle forti tempeste tropicali.

Le foreste di mangrovie sono importanti per:

- 1) Sequestro di carbonio
- 2) Protezione delle coste
- 3) Filtraggio di acqua e sostanze inquinanti, trattenendo i sedimenti di terra
- 4) Purificazione dell’acqua
- 5) Produzione di cibo
- 6) Turismo

2.1.5 I microrganismi

I microrganismi sono una risorsa fondamentale per i cicli biogeochimici e sono la fonte primaria nella catena alimentare che permette la sopravvivenza fino alle specie predatorie.

Il rapporto simbiotico delle specie animali, vegetali e microbiche con queste piante ne permette la conservazione e la produttività, divenendo necessari per la crescita delle mangrovie stesse.

L'ambiente anaerobico e ad alta salinità delle zone umide che caratterizza le foreste di mangrovie, forniscono le condizioni per proliferare gli Archea. Gli studiosi hanno evidenziato la presenza di comunità batteriche in abbondanza come Rhizobiales, Frankiales, Gaiellales e Rhodospirillales. L'ordine Desulfobacterales, in particolare, contribuisce alla trasformazione dello zolfo a favore delle mangrovie, non per altro è molto abbondante nei siti inquinati, dove degradano gli idrocarburi.

2.1.6 Ecosistemi mitigatori del cambiamento climatico

Le mangrovie assieme alle paludi soggette a marea e alle praterie marine, formano terreni ricchi di sostanza organica che spesso possono estendersi fino a molti metri di profondità e forniscono stoccaggio a lungo termine, di carbonio organico nel suolo. Chiamati anche ecosistemi del "carbonio blu", questi habitat occupano un'area relativamente piccola dell'oceano globale (circa lo 0.2%) ma contribuiscono in maniera determinante al seppellimento di carbonio organico nei sedimenti marini. Le mangrovie sono difatti di particolare interesse perché immagazzinano e sequestrano elevate quantità di carbonio sia nella biomassa che nel suolo, addirittura fino a dieci volte di più rispetto alle foreste tropicali. Una combinazione di elevata produttività e lenti tassi di decomposizione del suolo aumenta significativamente la capacità delle mangrovie di catturare e immagazzinare carbonio organico, in particolare nei loro suoli. Inoltre, le complesse strutture radicali di mangrovie e i suoli impregnati d'acqua intrappolano materiale organico sopra la torba, ricca di carbonio e composta principalmente da materiale di radice morta, che talvolta può estendersi fino a 10 metri di profondità. Il carbonio nel suolo può comprendere fino al 90% delle scorte di carbonio organico della mangrovia. Di conseguenza, le mangrovie hanno ricevuto un importante interesse dal punto di vista scientifico, come sistemi naturali in grado di compensare le emissioni di gas serra.

2.2 La produzione di carbonio

Le mangrovie sono solitamente foreste molto produttive, con tassi di produzione di carbonio equivalenti alle foreste tropicali umide. Le mangrovie sequestrano, in proporzione, più carbonio nel suolo ed hanno rapporti di massa di carbonio più alti nel suolo rispetto agli alberi terrestri. La maggior parte del carbonio delle mangrovie viene immagazzinato nel suolo e nelle radici morte costituendo un importante stock.

Questi biomi, tra i più ricchi di carbonio, contenenti in media 937 tC per ha, facilitano l'accumulo di particelle fini e favoriscono rapidi tassi di accrescimento dei sedimenti (5mm/anno) e sepoltura di carbonio

(174 gC m²/anno). Le mangrovie rappresentano solo circa l'1% (13.5 Gt anno) del sequestro di carbonio da parte delle foreste mondiali, ma come habitat costiero rappresentano il 14% del sequestro di carbonio da parte dell'oceano globale. Se questi importanti stock di carbonio venissero danneggiati o disturbati in qualche modo, le emissioni di gas che ne deriverebbero potrebbero essere molto elevate.

Poiché una parte significativa del loro carbonio nel suolo è di origine vegetale, è importante valutare i tassi di produttività primaria netta delle mangrovie e delle piante associate, in particolare delle microalghe. La misurazione della produzione primaria (NPP, net primary production) nelle foreste di mangrovie è limitata da carenze metodologiche; tuttavia, le migliori stime ci suggeriscono che la produzione di carbonio delle mangrovie è la più rapida di quella degli altri produttori primari. I tassi di produzione primaria netta basati su metodi diversi variano da 0.5 a 112.1 tonnellate di peso secco (DW: dry weight) per ha/anno.

Per le mangrovie il tasso medio di NPP in superficie è di 11.1 t peso secco (DW) ha/anno con un valore medio di 8.1 t peso secco (DW) ha/anno; per le foreste tropicali invece, il tasso medio di NPP in superficie è di 11.9 t peso secco (DW) ha/anno con un valore medio di 11.4 t peso secco (DW) ha/anno. Come si può osservare, i tassi sono molto vicini e ci indicano chiaramente che i rapporti della produzione primaria netta sia per le mangrovie che per le foreste terrestri si equivalgono.

Come le altre foreste, le mangrovie variano per età, dimensioni e di conseguenza variano i rapporti di produzione e di equilibrio tra la produzione di carbonio e la respirazione. I pochi studi che hanno misurato la crescita degli alberi di mangrovia hanno osservato una dinamica simile ad altre foreste, identificando stati di rapida crescita precoce durante la colonizzazione e l'insediamento precoce, seguito da un lento calo del tasso di crescita e di senescenza. La relazione tra l'età della foresta di mangrovie e la produzione fotosintetica, ci mostra un prolungamento o un arresto della progressione quando le foreste sono disturbate. Le foreste di *Rhizophora Apiculata* in particolare hanno una maggiore capacità di sequestro di carbonio sotterraneo rispetto ad altre specie e, quelle nel sud-est asiatico, mostrano tassi fotosintetici fino a circa 20 anni, dopodiché la fotosintesi si abbassa ma non diminuisce del tutto per quasi un secolo: le mangrovie potrebbero effettivamente costituire un serbatoio di carbonio per un secolo se lasciate relativamente indisturbate.

Inoltre, possiamo considerare fondamentale ruolo dei vari microbi autotrofi e le microalghe in queste foreste di mangrovie, i cui tassi di produzione primaria netta possono essere significativi e possono svolgere un ruolo molto importante nel ciclo del carbonio ma anche nel ciclo dell'azoto.

2.3 Allocazione del carbonio e stoccaggio ecosistema

Come altre piante legnose, le mangrovie costituiscono nuovo fogliame, organi riproduttivi, fusti, rami, tessuti radicali e mantengono i tessuti esistenti, oltre a creare riserve di stoccaggio e fornire difesa chimica. Circa la metà dell'anidride carbonica assimilata dalle piante viene restituita all'atmosfera attraverso la respirazione sopra e sottoterra. L'allocazione di carbonio fisso all'interno degli alberi varia con molti fattori come l'intensità della luce, la composizione delle specie, la disponibilità di nutrienti e di acqua, la salinità, la marea, la temperatura e il clima.

I pochi studi che hanno misurato la crescita delle radici hanno stimato tassi che vanno da 18 a 1145 g peso secco (DW) m²/anno con la maggior parte delle stime tra 300 e 380 g peso secco (DW) m²/anno. Tuttavia, queste misurazioni sono state effettuate in aree marginali di mangrovie, quindi è probabile che la crescita e la produzione di radici delle mangrovie sia simile alle loro controparti terrestri. Una recente analisi dell'allocazione del carbonio suggerisce che le mangrovie allocano proporzionalmente più carbonio sottoterra rispetto agli alberi terrestri.

Gli inventari di carbonio di un certo numero di ecosistemi di mangrovie, mostrano che la biomassa al di sopra e al di sotto del suolo aumenta e che il rapporto tra biomassa al di sotto e al di sopra del suolo diminuisce con l'aumentare dell'età del popolamento (Tabella 1). Questi dati ci mostrano che la biomassa di carbonio sottostante è in media 1.3, equivalente al carbonio allocato fuori terra; altri studi hanno invece indicato che più biomassa è allocata sottoterra, sostenendo l'idea che le mangrovie immagazzinano una frazione sproporzionata di carbonio fisso nel suolo. Inoltre, la quantità di carbonio nel suolo aumenta con l'aumentare dell'età della foresta.

Gli inventari completi dei componenti dell'ecosistema mostrano che il carbonio fisso all'interno della foresta, così come il carbonio importato dalle acque terrestri e marine adiacenti, sono immagazzinati come grandi bacini di carbonio del suolo. L'analisi del carbonio in *Rhizophora Stylosa* e *Avicennia Marina* nelle coste dell'Australia occidentale e nelle foreste di *R. Apiculata* nel sud della Thailandia, ha dimostrato che, la maggioranza di carbonio dell'albero (75-95%) è stato investito in radici morte, piuttosto che vive.

Una recente valutazione del carbonio immagazzinato in vari domini forestali, osservabile nella figura 13, ha rilevato che, rispetto alle foreste montane boreali, temperate e tropicali, le mangrovie, in particolare quelle di mangrovie dell'Indo-Pacifico sono tra le foreste più ricche di carbonio, contenenti, in media, 1023 tC immagazzinati soprattutto nei 30 cm di profondità di terreno. Attraverso dati pubblicati e non pubblicati provenienti da Cina meridionale, Vietnam, Indonesia, Australia e tanti altri è possibile ottenere una stima dello stoccaggio del carbonio medio dell'intero ecosistema di circa 973 tC ha, il quale, ci indica che le mangrovie sono tra le foreste più ricche di carbonio del mondo. È possibile però che queste informazioni non siano del tutto attendibili soprattutto nei luoghi in cui le mangrovie crescono in substrati duri e/o di profondità limitata, tuttavia, in tutte le regioni equatoriali è appurato che le mangrovie mature raggiungono la più alta massa di carbonio rispetto ad altri ecosistemi di carbonio.

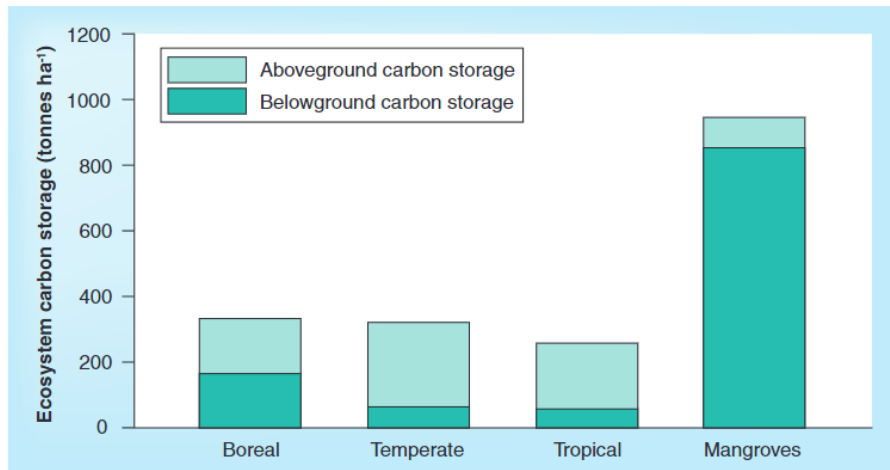


Figura 13: differenza del sequestro di carbonio (t/ha^{-1}) nell'intero ecosistema tra la foresta terrestre boreale, temperata, tropicale e la foresta tropicale delle mangrovie.

Ciò che sembra essere apparentemente un modello globale tra le foreste di mangrovie, è che le loro radici sotterranee siano molto estese, con un rapporto di massa di carbonio nel suolo più alta di qualsiasi altra vegetazione legnosa.

Con la maggior parte del carbonio immagazzinato nelle radici morte, piuttosto che nelle radici vive, le mangrovie hanno la tendenza ad accumulare carbonio rapidamente. Le radici di questa specie, infatti, possono rappresentare circa il 10/15% della biomassa totale degli alberi. Le concentrazioni di carbonio nelle radici vive sono infatti inferiori rispetto alle radici morte, suggerendoci quindi che quest'ultime immagazzinino proporzionalmente più carbonio delle prime.

I profili verticali delle radici vive rispetto alle morte in un certo numero di mangrovie ci mostrano che la maggior parte delle radici vive sono superficiali; situate ad una profondità che va da 0-40 cm nel suolo. La maggior parte delle radici fini, sono morte: risultato netto del rapido turnover delle radici accoppiato a lenti processi di decomposizione delle radici che vanno da 0.07 a 0.17% di massa di radice persa in un giorno. Le radici grossolane si decompongono meno rapidamente rispetto alle radici fini e questi lenti tassi di degradazione delle radici spiegano la formazione e l'accumulo nel tempo della torba.

Table 1. Whole-ecosystem inventories of above- and below-ground carbon biomass and soil carbon for natural and replanted mangrove forests.									
Location	Dominant species	Age (years)	Total (tC ha ⁻¹)	AGB (tC ha ⁻¹)	BGB and soil (tC ha ⁻¹)	Roots/AGB (tC ha ⁻¹)	Roots (tC ha ⁻¹)	Soil (tC ha ⁻¹)	Soil depth (cm)
Peninsular Malaysia	<i>Rhizophora apiculata</i>	80	2205	312	1893	NA	NA	NA	3800
	<i>R. apiculata</i>	18	1117	193	924	NA	NA	NA	4000
	<i>R. apiculata</i>	5	479	87	392	NA	NA	NA	2800
Southern Vietnam	<i>R. apiculata</i>	6	1179	54	1125	NA	NA	NA	3400
	<i>R. apiculata</i>	20	979	72	907	NA	NA	NA	2750
	<i>R. apiculata</i>	35	1904	153	1752	NA	NA	NA	3600
Southern China	<i>Kandelia candel</i>	NA	619	64	555	2.0	130	425	1850
	<i>K. candel</i>	NA	391	43	348	2.2	94	254	1900
Indonesia	<i>K. candel</i>	NA	332	7	325	1.1	8	317	1175
	<i>Avicennia marina</i>	NA	437	24	413	NA	NA	NA	80
	<i>Rhizophora stylosa</i>	NA	703	19	684	NA	NA	NA	62
Southern Thailand	<i>Sonneratia caseolaris</i>	NA	654	28	626	NA	NA	NA	1450
	<i>R. apiculata</i>	25	808	138	670	1.0	142	528	1900
	<i>R. apiculata</i>	5	579	20	559	2.9	57	502	800
Western Australia	<i>Ceriops decandra</i>	3	600	29	571	4.4	127	444	1000
	<i>R. stylosa</i>	NA	863	115	621	1.1	127	621	1500
Queensland, Australia	<i>A. marina</i>	NA	662	55	515	1.7	92	515	775
	<i>R. stylosa</i>	NA	2139	297	1842	1.1	312	1530	3500

AGB: Aboveground biomass; BGB: Belowground biomass; NA: Not available.
Data from [48,50–54,101].

Tabella 1: inventari dell'intero ecosistema della biomassa di carbonio al di sopra e al di sotto del suolo e del carbonio nel suolo per naturale e reimpianto delle foreste di mangrovie

Ma perché le foreste di mangrovie hanno così grandi quantità di carbonio investito sottoterra rispetto alle piante terrestri?

Ciò è dovuto agli alti livelli di biomassa sotterranea e anche al considerevole stoccaggio di carbonio organico nei sedimenti. La maggior parte dei substrati nei tropici, è costituita da torba di mangrovie, che deriva principalmente dalle radici di queste piante. Ciò dimostra che queste foreste hanno una grande produttività sotterranea e svolgono un ruolo significativo nel sequestro del carbonio, non solo in superficie, ma anche sottoterra.

Proprio la presenza di queste grandi quantità di radici morte può servire come meccanismo di conservazione di nutrienti e, anche le grandi radici morte possono servire a questo scopo. Una grande riserva di biomassa, costituita da radici vive e morte, mescolata a terreni ricchi, può riflettere i loro numerosi adattamenti fisiologici e morfologici alla vita in un ambiente salino come quello che caratterizza appunto le mangrovie. Il sale, infatti, influisce negativamente sull'uso dell'acqua e in tali condizioni, può essere vantaggioso per gli alberi di mangrovie, investire una maggiore quantità di carbonio fisso, in sistemi radicali in crescita, quindi molto dispendiosi, che hanno un rapido ricambio, al fine di massimizzare il guadagno di acqua.

Questi grandi serbatoi al di sotto della foresta inoltre possono aiutare a stabilizzare gli alberi e l'intero ecosistema dalla continua spinta delle maree, onde, venti costieri e tempeste tropicali. Ha un senso evolutivo quindi, per le mangrovie, investire in questo grande bacino sotterraneo di biomassa di carbonio come un efficace contrappeso alla lettiera e al carbonio disciolto in acqua che si perde attraverso le maree.

Considerando che le foreste tropicali umide, riciclano le sostanze nutritive mediante la rapida decomposizione dei rifiuti in uno strato di humus relativamente sottile, le foreste di mangrovie recuperano elementi attraverso un ciclo molto stretto di radici e microbi a diversi metri di profondità nel suolo, che consentono di ridurre e minimizzare i costi energetici.

2.4 Meccanismi che facilitano l'accumulo di sedimenti

Poiché le mangrovie sono situate tra terra e mare, non ci sorprende che esse accumulino sedimenti associati ad altri elementi, come ad esempio il carbonio organico e inorganico. Cosa ci sorprende infatti è la loro facilità di accumulare sedimenti. Il carbonio prodotto dalle mangrovie percorre vie differenti, come il consumo da parte degli organismi viventi, in particolare i microbi, oppure, può essere remineralizzato ed emesso nell'atmosfera come CO₂, o ancora il carbonio organico può essere esportato dalle maree dove viene depositato o mineralizzato a largo.

La quantità di carbonio immagazzinata nei suoli di mangrovie varia ampiamente, da <0.1% per peso secco del suolo a >40% con una media del 2.2%. Una proporzione così altamente variabile deriva dalla mangrovia, poiché la materia organica è introdotta dalle maree provenienti dalle praterie adiacenti, dalle barriere coralline, dalle alghe, dai fiumi e da altri ambienti marini. La frazione di carbonio che deriva dalle mangrovie, nei suoli forestali dipende anch'essa da una serie di fattori come: la posizione della foresta in relazione alla costa aperta, la distanza degli habitat acquatici adiacenti, l'ampiezza della marea, la posizione della foresta nel paesaggio marino ma soprattutto la produttività dei produttori primari.

Le mangrovie inoltre catturano attivamente limo, argilla e particelle organiche e non sono solo importatori passivi di particelle fini, ma la vegetazione delle mangrovie ha un impatto importante sul processo di sedimentazione. Questi grandi alberi con sistemi radicali complessi infatti, come la *Rhizophora*, facilitano la deposizione di particelle in misura molto maggiore rispetto agli alberi che sono più piccoli e di architettura più semplice. Fino a quando l'acqua ristagna, le turbolenze che sono create dai tronchi degli alberi, dalle radici e dagli pneumatofori mantengono le particelle in sospensione, ma la maggior parte, galleggiano e si depositano. Nonostante, infatti, l'importante corrente di flusso che può caratterizzare questi ambienti, la maggior parte delle particelle che flocculano vengono mantenute all'interno della foresta poiché il movimento dell'acqua e le turbolenze necessarie per la loro remissione nell'ambiente sono inibiti dall'alta densità di vegetazione.

2.5 Tassi di accrescimento del suolo e sequestro del carbonio

Le mangrovie accumulano carbonio nella biomassa degli alberi, ma gran parte di questo carbonio viene perso nel breve e medio termine attraverso il disboscamento, l'utilizzo umano e la decomposizione. Nel lungo termine invece, il carbonio, viene immagazzinato principalmente nel suolo ed eventualmente, con le giuste condizioni, sottoforma di torba.

Il tasso di accrescimento del suolo nelle foreste di mangrovie è in media di 5 mm all'anno, con 94 misurazioni su un totale di 139 che vanno da 0.1 a 10 mm all'anno. Il valore medio è di 2.7 mm all'anno con alcune misurazioni che mostrano un'erosione netta, (valore minimo = -11 mm all'anno) o un accrescimento massiccio (46.3 mm all'anno) in estuari fortemente impattati come quelli del sud della Cina; il tutto mostrato nella figura 14.

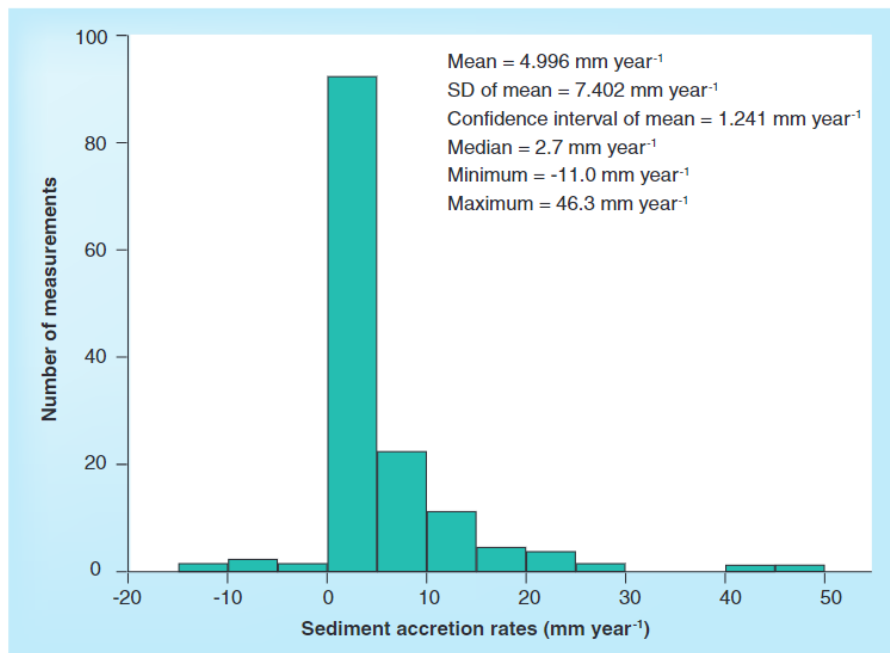


Figura 14: tasso di accrescimento dei sedimenti (mm/anno) misurato in varie foreste di mangrovie in tutto il mondo.

Il fattore principale che controlla il tasso di accrescimento è la frequenza delle inondazioni mareali; infatti, le foreste situate nell'area intertidale (tra la bassa e l'alta marea), presentano meno accrescimento del suolo rispetto alle foreste più vicine al livello del mare, come quelle che si trovano nell'interfaccia mare-foresta. Il carbonio delle mangrovie, infatti, si accumula spesso sui margini adiacenti e sulle distese fangose intertidali. La sedimentazione delle mangrovie in relazione all'innalzamento del livello del mare è stata valutata da Daniel M. Alongi, che ha scoperto che la maggior parte delle foreste di mangrovie sono attualmente al passo con gli aumenti del livello del mare; tuttavia, ci sono alcune regioni in cui i tassi di sedimentazione sono inferiori all'aumento del livello del mare regionale, come in alcune isole dell'Oceano Pacifico e in alcune isole nei Caraibi.

I dati disponibili sui tassi di sepoltura del carbonio negli ecosistemi di mangrovie (Fig.15) sono stati compilati per la prima volta da Twilley et al., e che successivamente sono stati aggiornati da Jennerjahn e Ittekkot, ci portano ad una stima globale di sepoltura del carbonio di circa 23 TgC all'anno (teragrammi di carbonio = 23 milioni di tonnellate), considerando una superficie totale di 137.760 km².

Bouillon e Alongi, hanno ottenuto tassi di sepoltura di carbonio rispettivamente di 18.4 TgC all'anno (= 134 g C m² all'anno) e 29 TgC all'anno (=211 g C m² anno). Aggiungendo dati più recenti derivati da metodi radiochimici, possiamo rivedere il tasso medio globale di sepoltura del carbonio nel suolo a 24 TgC anno, equivalente a 174 g C m² anno con valori che vanno da 10 a 920 g C m² anno; il tasso medio di sepoltura era di 16 TgC anno (= 115 g C m² anno).

Come i dati di accrescimento dei sedimenti, la deviazione standard supera la media che riflette l'alto livello di variabilità e incertezza nei tassi di sepoltura del carbonio tra le foreste di tutto il mondo. Tuttavia, la maggior parte delle stime individuali sono < 200 g C m² anno, con una minoranza di foreste che accumulano

carbonio nel suolo più velocemente, per lo più di bacini fortemente influenzati dalle attività umane, come nel sud-est asiatico e sud della Cina.

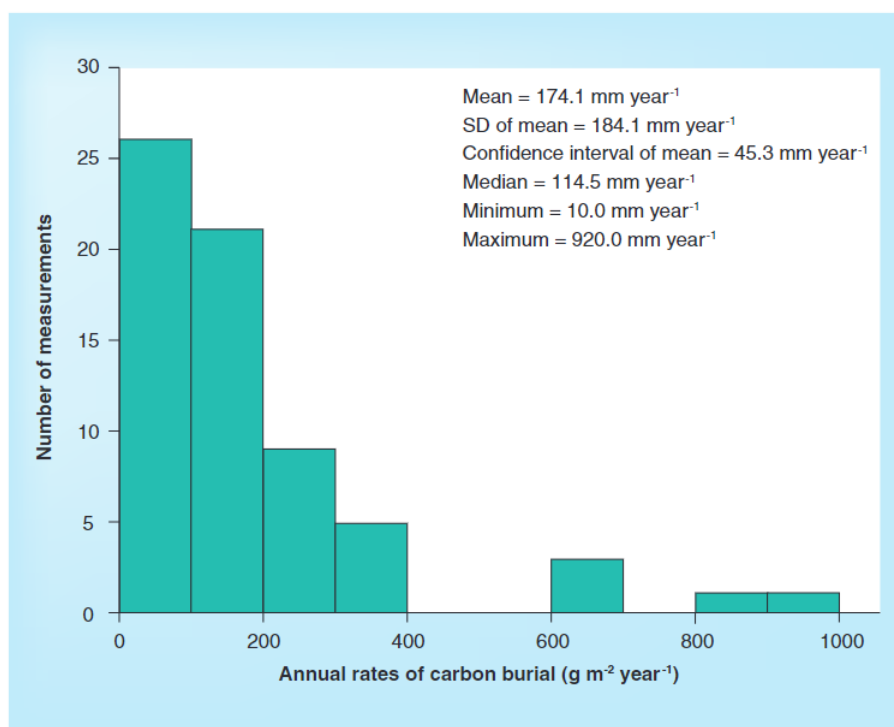


Figura 15: tassi annuali di sequestro di carbonio stimati in varie foreste di mangrovie di tutto il mondo.

2.6 L'importanza delle mangrovie per il sequestro di carbonio marino e terrestre

Come abbiamo già detto, le mangrovie sono tra gli ecosistemi più ricchi di carbonio nei tropici. A livello globale, le mangrovie occupano circa 137.760 km², ma un semplice aumento del tasso medio di sequestro di carbonio, equivale ad un tasso globale di sequestro di carbonio di 13.53 Gt all'anno. Per le foreste terrestri boreali, temperate e tropicali invece si hanno tassi di sequestro di carbonio globali di 451.1, 327.6 e 422.4 Gt all'anno rispettivamente. Quindi, le mangrovie rappresentano circa il 3% di carbonio sequestrato dalle foreste tropicali del mondo, anche se rappresentano meno dell'1% della superficie totale delle foreste tropicali.

Questi dati suggeriscono il potenziale di emissioni significative di gas a effetto serra se gli elevati stock di carbonio per ettaro di mangrovie sono disturbati. Le perdite di mangrovie dovute a bonifica, conversione in aree industriali/acquacoltura potrebbero provocare rapidi tassi di emissione di gas a effetto serra come CO₂. Donato et al hanno calcolato un intervallo plausibile di emissioni di CO₂ di 112-392 t C rilasciate per ettaro di foreste di mangrovie e terreni bonificati, che fornisce un intervallo di emissioni globali di 0.02-0.12 PgC (petagrammi) all'anno. Questo intervallo è equivalente ad almeno 2-10% delle emissioni globali di deforestazione (1.2 PgC anno) e fino al 50% delle emissioni dalle torbiere tropicali del mondo (0.24 PgC anno).

Questi valori però, sono indicativi, poiché permangono grandi incertezze, tra cui l'accuratezza delle aree forestali, le variazioni temporali e spaziali dei flussi di stock permanenti.

Tuttavia, se il contributo delle mangrovie al sequestro globale di carbonio nelle foreste è molto ridotto, il loro contributo al seppellimento globale di carbonio nell'oceano costiero globale è considerevolmente maggiore. Rispetto ad altri ecosistemi costieri, le mangrovie contribuiscono in media del 14% di sequestro del carbonio negli oceani del mondo, sebbene rappresentino solo lo 0.5% della superficie totale degli oceani. (Tabella 2).

Anche considerando le grandi incertezze di queste stime, il tasso medio sepoltura del carbonio nelle mangrovie è molto maggiore di quello di tutti gli altri habitat, ad eccezione delle saline.

Pertanto, considerando i dati della Figura 1 e Tabella 2, le foreste di mangrovie hanno il più alto tasso di sequestro di carbonio rispetto a qualsiasi altro ecosistema, terrestre o marino, contribuendo in modo sproporzionato come bacino di carbonio.

Table 2. Global contribution of mangroves and other coastal habitats to carbon sequestration in the global coastal ocean.			
Habitat	Area (10 ¹² m ²)	Sequestration rate (gC m ⁻² year ⁻¹)	Global carbon sequestration (Tg year ⁻¹)
Mangroves	0.14 (0.5%)	174	24 (14%)
Salt marshes	0.22 (0.8%)	150	33 (20%)
Seagrasses	0.3 (1.1%)	54	16 (10%)
Estuaries	1.1 (4.0%)	45	50 (30%)
Shelves	26 (93.6%)	17	44 (26%) [†]
Total			167

[†]Assumes that depositional areas cover 10% of total shelf area [9].
Data from [41,60–62].

Tabella 2: contributo mondiale delle mangrovie e di altri habitat costieri al sequestro di carbonio nel mondo.

2.9 L'equilibrio tra gli ecosistemi

Le mangrovie sono l'ecosistema intermedio tra quello terrestre e quello acquatico. Perciò hanno anche importanza nelle funzioni di regolazione del flusso dei nutrienti. Infatti, il terreno è ricco di elementi come il fosforo, potassio, azoto, magnesio ed altri minerali. Tramite le precipitazioni ed i fiumi, tutte queste sostanze vengono convogliate verso il mare. Se non ci fosse una barriera, queste si disperderebbero direttamente nell'oceano. Le mangrovie quindi, essendo un ecosistema di transizione, sono in grado di assorbirli ed intrappolarli, ma questo pone un secondo problema. Ancora prima dell'oceano aperto infatti ci sono le barriere coralline che necessitano di nutrimento che viene trattenuto nelle mangrovie. Per questo motivo le barriere coralline sono ricche di organismi come le spugne, che hanno una grandissima capacità di assorbimento, anche delle più minime quantità di elementi nutritivi, così che tutti i minerali vengono riutilizzati e niente sia sprecato.

2.10 Salviamo gli ecosistemi che ci salvano

Ignorato dai mercati del carbonio fino a poco tempo fa, il carbonio blu è diventato un tema caldo con la pubblicazione nel 2009 di due rapporti: “Il carbonio blu: il ruolo degli oceani sani nel carbonio vincolante” e “La gestione dei pozzi di carbonio costiero naturale”.

Le foreste di mangrovie sono uno dei carbon sink più promettenti, avendo la più alta produttività netta di carbonio tra tutti gli ecosistemi.

Catturando l’anidride carbonica e immagazzinandola nella loro biomassa, le specie di mangrovie sono in grado di ridurre la quantità di carbonio in eccesso nell’aria, diminuendo così il contributo del gas serra al riscaldamento globale. Le mangrovie sono particolarmente adatte per la cattura del carbonio perché accumulano la maggior parte del carbonio sul fondo dell’oceano, mentre le foreste terrestri ne conservano la maggior parte in alberi e rami.

Gli ambienti marini e costieri come le mangrovie, le praterie di alghe catturano il carbonio dall’aria e usano le loro lunghe radici per seppellirlo in profondità nel suolo.

Gli ecosistemi costieri continuano a sequestrare grandi quantità di carbonio per tutto il loro ciclo di vita. Piuttosto che nelle piante, la maggior parte del carbonio rimane rinchiusa nel sedimento sottostante, dove può rimanere per secoli o addirittura per millenni, quindi, solo una quantità ridotta viene rilasciata quando la pianta muore.

Si stima che gli habitat costieri immagazzinano fino a 50 volte più carbonio nei loro suoli, rispetto alle foreste tropicali, e anche più di 10 volte delle foreste temperate. Si ritiene che anche queste cifre notevoli possano essere sottostimate, poiché i tassi di accumulo non tengono conto delle pompe mareali che spostano il carbonio dagli ambienti costieri verso l’oceano aperto.

Questa immensa capacità di sequestro del carbonio di questi habitat costieri è stata quasi completamente ignorata e può anche essere una componente vitale degli sforzi globali per mitigare il cambiamento climatico. Per questo motivo è importante non solo prevenire ulteriori perdite, ma anche aumentare le aree di mangrovie attraverso il loro ripristino.

Ma a cosa servono le mangrovie e come vengono utilizzate precisamente?

Le mangrovie svolgono molteplici ruoli positivi. Anzitutto, le foreste di mangrovie giocano un ruolo molto importante nella lotta al cambiamento climatico. Esse, infatti, come abbiamo più volte sottolineato, assorbono grossi quantitativi di CO₂.

Allo stesso tempo, le mangrovie sono anche una fonte di cibo e riparo per pesci e altri animali. Nonostante tutte queste meravigliose proprietà, purtroppo le mangrovie non sono immortali. Il cambiamento climatico, unito all’innalzamento dei mari, potrebbe spazzarle via.

Andiamo a vedere nel dettaglio le risorse offerte dalle mangrovie:

-Mangrovie e CO₂. Le mangrovie assorbono anidride carbonica e la conservano per secoli nel terreno acquifero. Riescono infatti a conservare fino a 10 volte più anidride carbonica per ogni ettaro di terra rispetto

alle “normali” e comuni foreste terrestri. Per questa loro capacità, costituiscono una vera e propria manna per la salute dell’intero pianeta.

-Legna da ardere. I ramoscelli di mangrovie hanno un elevato potere calorifico e, per questo, vengono usati per produrre carbone e legna da ardere. Si pensi che una tonnellata di legna da ardere di mangrovia corrisponde a 5 tonnellate di carbone indiano, e in più, brucia producendo calore ma senza generare fumo.

-Materiale da costruzione. Il legno di mangrovie, essendo piuttosto duro, viene anche impiegato come legname da costruzione. Le foglie, soprattutto quelle del genere *Nypa*, vengono utilizzate per rivestire di paglia tetti, stuoie e cestini.

-Fonte di nutrimento. Le mangrovie costituiscono mangimi economici e nutrienti per bufali, pecore, capre e cammelli. Questi animali sono infatti autorizzati a pascolare nelle aree di mangrovie. Questa pratica è comune nei Paesi come India, Pakistan e Indonesia.

-Produzione di miele. Le mangrovie attirano le api mellifere e quindi facilitano le attività di apicoltura in particolari zone. Le foreste più grandi del mondo (Sundarbans) permettono a 2000 persone di lavorare in quanto sono impegnate ad estrarre circa 111 tonnellate di miele ogni anno, ovvero il 90% della produzione di miele dalle mangrovie in India.

-Protezione da raggi UV. Le mangrovie sono dotate di particolari meccanismi per affrontare i raggi solari intensi e le radiazioni solari UV-B. Questa loro capacità rende l’ambiente circostante libero dagli effetti nocivi delle radiazioni UV-B. Le specie di *Avicennia*, ad esempio, crescono in aree con forte luce solare e quindi si adattano senza problemi alle zone aride. Le specie *Rhizophoraceae* mostrano invece maggiore tolleranza ai raggi UV-B.

-Riduzione dell’effetto serra. Le mangrovie sono tra le foreste più ricche di carbonio nei tropici. Attraverso il processo di fotosintesi clorofilliana, riescono a rimuovere la CO₂ dall’atmosfera, andando così a ridurre gli effetti legati ai gas serra, una delle cause principali del riscaldamento globale. Inoltre, mostrano un maggiore accumulo di biomassa all’aumentare dei livelli di CO₂. La biomassa sotterranea molto elevata garantisce stabilità nei substrati morbidi in cui crescono queste piante. Tra il 55% e l’85% della biomassa fuori terra è contenuta nel tronco, nei rami legnosi; mentre il 15-17% della biomassa è contenuto nelle radici aeree.

-Protezione da eventi estremi come tempeste e tsunami. Le foreste di mangrovie proteggono la costa dalla furia delle tempeste e dei cicloni. L’esempio eclatante è il super-ciclone avvenuto in India il 29 ottobre 1999 con una velocità del vento pari a 310 km/h. Nella maggior parte delle aree prive di mangrovie si è registrato

il caos più assoluto con ben 10.000 morti. Praticamente nulla è invece accaduto nelle regioni con fitte foreste.

Le foreste di mangrovie proteggono le coste anche dagli tsunami. Svolgono un effetto attenuante che dipende da due processi fisici dello tsunami: l'attacco delle onde e il flusso di rimorchio. La risposta agli attacchi delle onde dipende dalle caratteristiche fisiche della vegetazione stessa, mentre la risposta al flusso di traino si basa sulla "forza di trascinamento" causata dalle piante stesse, da cui consegue prevenzione dell'erosione costiera.

Possiamo quindi dire che, il ruolo protettivo delle foreste dipende sia da caratteristiche proprie della vegetazione (densità della foresta, altezza, composizione delle specie, diametro delle radici e dei tronchi...) che dalle caratteristiche dello tsunami (altezza delle onde, periodo delle onde, profondità dell'acqua...). Per la riduzione dei danni provocati da tsunami, le mangrovie risulterebbero più efficaci rispetto a strutture come dighe in cemento. Per dare l'esempio 30 alberi in 10 mq, in una fascia larga 100m, possono ridurre la pressione massima del flusso di maremoto di oltre il 90%, se l'altezza dell'onda non supera i 5 metri.

-Protezione delle coste da erosione e inondazioni. Spesso le inondazioni sono provocate da maremoti e/o forti piogge. Grazie al loro sistema radicale, le mangrovie sono in grado di proteggere le costa dalle inondazioni. Inoltre, possono impedire l'ingresso di acqua salata dal mare verso l'entroterra, proteggendo così i sistemi idrici sotterranei. Con l'aumentare della densità di vegetazione, si riducono le onde. Le mangrovie riducono al minimo l'azione delle onde e, in questo modo, riescono a prevenire l'erosione della costa. Queste foreste formano delle vere e proprie "dighe viventi" che, ovviamente, sono molto più convenienti delle dighe artificiali.

-Assorbimento dei sedimenti sospesi. Le foreste di mangrovie riescono ad intrappolare i sedimenti e quindi agiscono come "pozzi di assorbimento" dei sedimenti sospesi. Catturano i sedimenti dell'acqua di mare tramite le radici aeree. Le particelle sospese si depositano quindi nelle foreste durante la bassa marea. Questi sedimenti riescono a trattenere i nutrienti. Nello specifico, le foreste partecipano al riciclo del carbonio, zolfo e azoto.

Le mangrovie riescono inoltre a sopravvivere anche allo scarico dei rifiuti organici prodotti dall'uomo. Capacità dovuta a 3 fattori:

- il flusso, attraverso l'habitat, disperde i rifiuti su vaste aree,
- la vegetazione stessa filtra i nutrienti dall'acqua,
- i sedimenti delle mangrovie, le alghe, e i microbi assorbono grandi quantità di agenti inquinanti.

Va anche sottolineato che i sedimenti hanno un'elevata capacità di assorbire e trattenere i metalli pesanti, prevenendone così la diffusione sulle limitrofe zone costiere. I metalli pesanti non vengono comunque assorbiti dalle piante grazie a specifici adattamenti fisiologici che ne impediscono l'accumulo.

-Supporto per la fauna ittica, e non solo. Le foreste di mangrovie sono molto importanti per la produzione ittica. Per molte specie di pesci sono una sorta di vivaio. Quasi l'80% della pesca dipende – in maniera diretta o indiretta – dalle mangrovie e da altri ecosistemi costieri. Ma oltre ai pesci, le mangrovie sostengono anche una varietà di animali selvatici come cervi, coccodrilli, tartarughe marine, scimmie, serpenti, maiali, gatti selvatici, le tigri del Bengala, insetti e uccelli vari.

Le parti che si staccano dalle piante di mangrovie (foglie, steli, fiori e frutti...), quando cadono, vengono decomposti da microrganismi presenti nel terreno. In questo processo, vengono rilasciati nutrienti che vanno ad arricchire le acque circostanti. La materia organica decomposta, in aggiunta alla biomassa microbica, diventa un prodotto ricco di proteine e molto utile come alimento per una grande varietà di organismi.

-Produzione di biomassa. Lo strato decomposto dai detriti e dai resti di mangrovie, come foglie, semi, rami...prende il nome di “lettiera”. Questa è un'importante fonte di carbonio che contribuisce in maniera significativa al ciclo globale di carbonio. La biomassa delle foreste di mangrovie può raggiungere 700 t/ha. Ovviamente, stress specifici dell'habitat (suoli poveri, aridità...) possono causare variazioni nella produzione della lettiera.

La decomposizione della lettiera contribuisce alla produzione di materia organica disciolta, potenzialmente utile per arricchire le acque costiere e sostenere e alimentare la pesca.

CAPITOLO 3 IL CARBONIO BLU

3.1 Blue carbon

Quando si parla di mangrovie si fa riferimento, nello specifico, al carbonio blu o “blue carbon” e con esso si intende infatti il carbonio che viene immagazzinato negli ecosistemi costieri e marini. Esso viene catturato dagli oceani e dagli ecosistemi costieri del mondo, diversamente dal carbonio verde che viene immagazzinato dalle foreste e dai loro suoli. Nello specifico il gruppo intergovernativo sul cambiamento climatico (IPCC) definisce il concetto di “carbonio blu” come i “flussi di carbonio, guidati biologicamente e stoccati in sistemi marini che possono essere gestiti”.



Figura 16: il carbonio viene immagazzinato nei sedimenti oceanici e nei rizomi della pianta marina denominata Posidonia oceanica, che ospita tra le sue foglie innumerevoli forme viventi: pesci, molluschi, alghe marine ecc.

Il Blue Carbon catturato dagli organismi che vivono negli oceani è immagazzinato, sottoforma di biomassa e sedimenti, principalmente nei mangrovieti per l'appunto, ma anche nelle torbiere e nelle praterie fanerogame come, ad esempio, le praterie di Posidonia (Fig. 16).

Nonostante la biomassa vegetale nell'oceano sia inferiore a quella terrestre (0.05%), essa assorbe quasi la stessa quantità di carbonio annuale degli organismi vegetali terrestri, e rappresenta quindi depositi di Blue Carbon (o carbon sink) molto efficienti.

Le piante marine in particolare contengono nei sedimenti riserve di carbonio organico superiori a quelle stoccate dagli ecosistemi forestali terrestri. Tali ecosistemi, tra i quali troviamo l'habitat delle praterie di Posidonia, sono inseriti nella Rete Natura 2000, una rete ecologica europea creata per garantire il mantenimento a lungo termine degli habitat naturali e delle specie di flora e di fauna minacciati o rari.

Nonostante gli habitat siano protetti a livello nazionale e internazionale, purtroppo stanno scomparendo ad un ritmo quattro volte superiore di quelli terrestri.

Il degrado e la perdita di questi ecosistemi porterebbero ad un'emissione pari al 10% delle emissioni derivanti dalla deforestazione.

Gli ecosistemi Blue Carbon ricoprono circa il 2% dei fondali oceanici, ma immagazzinano il 50% del carbonio sepolto nei sedimenti marini. La loro capacità di immagazzinamento è 10 volte maggiore di quella delle foreste temperate e 50 volte maggiore di quella delle foreste tropicali.

È importante precisare però, che per poter essere utile alla mitigazione del cambiamento il carbonio deve essere sequestrato a lungo termine (100 anni almeno), quindi è la frazione organica sequestrata che assume da questo punto di vista il ruolo principale.

La tutela e la conservazione di questi habitat costieri e marini, rappresenta una valida strategia per il raggiungimento degli obiettivi dell'Accordo di Parigi, l'accordo globale sui cambiamenti climatici raggiunto nel 2015, che prevede un piano d'azione per limitare il riscaldamento globale al di sotto di 2° centigradi.

3.2 Serbatoi di carbonio blu

Storicamente gli oceani, l'atmosfera, i suoli e gli ecosistemi forestali terrestri sono stati i più grandi serbatoi naturali di carbonio. Benché gli habitat vegetali nell'oceano coprano meno dello 0.5% dei fondali marini, sono responsabili di oltre il 50% e, potenzialmente sino al 70% dello stoccaggio del carbonio nei sedimenti oceanici. Le mangrovie, le paludi salmastre, e le praterie di fanerogame marine costituiscono la maggior parte degli habitat vegetali negli oceani, ma rappresentano solo lo 0.05% della biomassa vegetale terrestre. Possono immagazzinare una quantità equivalente di carbonio all'anno e sono serbatoi di carbonio molto efficienti, sequestrando carbonio nei sedimenti sottostanti, nella biomassa sotterranea e nella biomassa morta. Il carbonio blu può essere trattenuto per milioni di anni nei sedimenti vegetali sottostanti derivanti da foglie, steli, rami o radici.

Benché gli ecosistemi costieri con vegetazione coprano un'area inferiore e abbiano meno biomassa fuori terra rispetto alle piante terrestri, possono avere un impatto sul sequestro di carbonio a lungo termine, specialmente nei serbatoi di sedimentazione.

Una delle più grandi preoccupazioni però è che questi essenziali ecosistemi marini stiano scomparendo più velocemente di qualsiasi altro ecosistema del pianeta, con delle stime del 2-7% all'anno. Questo rappresenta non solo una grave perdita per quanto riguarda il sequestro di carbonio, ma anche una perdita in termini di habitat fondamentali per la gestione del clima, la protezione delle coste e la conservazione della salute del nostro pianeta.

3.3 Altri ecosistemi del carbonio blu

Oltre le mangrovie, ci sono altri ecosistemi che si occupano del sequestro del carbonio blu nel nostro pianeta come ad esempio le paludi salmastre, le praterie marine e le alghe.

- 1) Le paludi salmastre sono dominate da vegetazione erbacea e si trovano dalle coste dell'Artico a quelle subtropicali. Le paludi hanno un'elevata produttività, con gran parte della produzione primaria di biomassa sottoterra; una biomassa che può formare depositi fino a 8 metri di profondità. Le paludi costituiscono un prezioso habitat per piante, uccelli, avannotti e proteggono le coste dalle inondazioni riducendo l'eutrofizzazione nelle acque costiere. Come le mangrovie e le fanerogame marine sono importanti carbon sink; infatti, sono molto efficienti nel catturare la CO₂. Si tratta di 3 processi principali: c'è la crescita delle piante che catturano la CO₂ dall'atmosfera attraverso la fotosintesi, poi ci sono i sedimenti che arrivano con la marea e che possono depositarsi, contribuendo a seppellire ulteriormente l'anidride carbonica e, infine, i sedimenti anossici che hanno pochissimo ossigeno e che riducono la decomposizione permettendo al carbonio di rimanere immagazzinato per lunghi periodi di tempo.

Un altro vantaggio delle paludi salmastre è che emettono molto meno metano rispetto alle zone umide d'acqua dolce, come confermano gli studi dell'University College di Dublino. "Normalmente un ecosistema emetterebbe anche più metano nell'atmosfera, ma grazie alla salinità dell'acqua di mare, la produzione di metano viene mitigata. Quindi le piante delle zone umide costiere emettono meno metano di quelle di acqua dolce".

- 2) Le praterie marine (o fanerogame marine) sono un gruppo di circa 60 specie di angiosperme che si sono adattate alla vita acquatica e possono crescere nelle praterie lungo le coste di tutti i continenti, ad eccezione dell'Antartide. Le praterie marine si formano fino ad una profondità di 50 metri, a seconda della qualità dell'acqua e della disponibilità della luce e, possono comprendere fino a 12 specie diverse di prateria. Queste praterie sono habitat altamente produttivi, che forniscono molti servizi ecosistemici, tra cui la stabilizzazione dei sedimenti, l'habitat e la biodiversità, il miglioramento della qualità dell'acqua e il sequestro di carbonio e dei nutrienti. La superficie documentata delle praterie marine è di circa 177.000 km², ma l'area effettiva è stimata tra 300.000 e 600.000 km². Benché le praterie marine rappresentino solo lo 0.1% della superficie del fondo oceanico, rappresentano dal 10 al 18% del seppellimento totale di carbonio nell'oceano. Il carbonio si accumula anche qui nei sedimenti marini, che sono anossici e che quindi possono conservare il carbonio organico anche su scale millenarie. Elevati tassi di accumulo di carbonio, bassi contenuti di ossigeno, bassa conduttività dei sedimenti e tassi di decomposizione microbica più lenti, incoraggiano il seppellimento e l'accumulo di carbonio in questi sedimenti costieri.

Mentre gli habitat terrestri perdono le loro riserve di carbonio a causa della decomposizione, incendi o deforestazione, i serbatoi di carbonio marini, possono trattenere il carbonio per periodi di tempo molto lunghi.

- 3) Le alghe, sia macroalghe che microalghe, sono studiate come possibili mezzi di cattura e sequestro del carbonio. Poiché le alghe mancano della lignina complessa delle piante terrestri, il carbonio delle alghe viene rilasciato nell'atmosfera più velocemente del carbonio catturato sulla terra. A causa del loro basso contenuto lipidico, le microalghe sono state proposte come serbatoio di carbonio a breve termine da utilizzare come materia prima per la produzione di biocarburanti, biodiesel e biometano in particolare. Le macroalghe, invece, non hanno un elevato contenuto lipidico e hanno un potenziale limitato come materia prima per il biodiesel, anche se possono essere utilizzate come materia prima per la produzione di altri biocarburanti. In Corea del Sud sono state utilizzate come parte di un programma di mitigazione del riscaldamento globale, con la creazione di una fascia costiera di rimozione della CO₂ composta da ecosistemi naturali e artificiali.

Le mangrovie insieme alle praterie marine e alle barriere coralline, spesso coesistono e lavorano insieme: le prime intrappolano agenti inquinanti e sedimenti, che altrimenti finirebbero in mare; le seconde costituiscono un'ulteriore barriera per limo e fango, che soffocherebbero i coralli; e le ultime, proteggono le altre dalla forza delle onde oceaniche. Senza un anello di questa catena, questo tipo di ecosistema collasserebbe.

3.4 Sedimentazione e seppellimento del carbonio blu

Il carbonio viene sequestrato nel sistema oceanico solo se raggiunge il fondo marino ed è ricoperto da uno strato di sedimenti. La materia organica che non è sepolta da uno strato di sedimenti sufficientemente profondo è soggetta a risospensione a causa del cambiamento delle correnti oceaniche, della bioturbazione da parte di organismi che vivono nello strato superiore dei sedimenti marini e della decomposizione da parte di batteri eterotrofi. Il sequestro del carbonio si verifica solo se i tassi di seppellimento da parte dei sedimenti superano i tassi a lungo termine di erosione, bioturbazione e decomposizione.

3.5 Ecosistemi in pericolo: i cambiamenti causati dall'uomo

Purtroppo, soltanto negli ultimi decenni abbiamo compreso l'importanza delle mangrovie e, ironia della sorte, questo è successo quando la sua scomparsa ha iniziato ad accelerarsi. Si stima che la Thailandia abbia perso circa l'84% di queste foreste costiere, mentre la Costa d'Avorio, la Repubblica di Guinea-Bissau, la Tanzania, il Messico, la Repubblica di Panama, la Malesia, la Birmania, il Pakistan e le Filippine hanno detto addio a più del 60% delle loro mangrovie.

Molte migliaia di chilometri quadrati di foresta sono state distrutte per far spazio a risaie, piantagioni di alberi della gomma, palme da olio e altre coltivazioni. Fertilizzanti, pesticidi e cambiamenti nei naturali flussi di marea dovuti alla creazione di sistemi di irrigazione mettono in crisi una pianta così robusta. Lo sviluppo costiero, poi, rappresenta una minaccia: tutti desiderano essere vicino al mare, ma la cementificazione ha il suo prezzo e un turismo troppo invasivo e poco rispettoso può rappresentare un problema. Anche il settore dell'acquacoltura, soprattutto di gamberi e gamberetti, entra in competizione con questo tipo di habitat: centinaia di migliaia di chilometri quadrati di zone umide verdeggianti e rigogliose sono state spazzate via per fare spazio agli stagni artificiali dove allevare questi animali, attività molto redditizia, ma estremamente distruttiva per l'ambiente.

A tutto ciò si aggiungono anche la costruzione di dighe e la canalizzazione dei fiumi che crea una serie di problemi nelle zone costiere, tra cui delta che affondano, spiagge che si restringono e paludi salmastre che scompaiono. A causa di tutto questo, la capacità dei litorali di seppellire carbonio blu potrebbe essere compromessa. Distruggere la capacità degli ecosistemi costieri di sequestrare carbonio blu non significherebbe altro che accelerare la crisi climatica che stiamo vivendo.

CAPITOLO 4 GLOBAL WARMING

4.1 Le mangrovie in pericolo

Si è visto come, nei precedenti capitoli, ecosistemi quali mangrovie, paludi salmastre, torbiere, praterie di fanerogame ma anche tanti altri, siano ecosistemi autosufficienti che riescono a mantenere l'equilibrio al loro interno e permettere alla vita di proliferare; tuttavia, dei fattori esterni rischiano di alterare questo equilibrio, andando ad indebolirlo o perfino eliminarlo, con conseguenze spesso disastrose per la vita stessa.

Quando parliamo di fattori esterni non possiamo che pensare all'uomo. La specie umana, infatti, nel corso dei secoli della sua storia di predominio del mondo ha alterato, modificato ed eliminato persino creato ecosistemi a suo piacimento, per permettersi di crescere come specie. Questo processo ha danneggiato tutte le altre specie, finendo per minacciare la vita stessa dell'uomo. Un vero e proprio auto-avvelenamento a lungo termine, iniziato dal periodo industriale, che ci pone oggi a dover compiere delle scelte per evitare scenari peggiori.

L'uomo agisce sul pianeta come un dittatore, andando a modificare l'ambiente circostante a suo piacimento, per assecondare i suoi bisogni, a discapito delle altre specie. Non solo, l'uomo agisce anche sulle specie stesse: allevamenti, caccia e la pesca intensiva solo alcuni dei processi che stanno portando ad un danneggiamento della biodiversità.

Si tratta di un caso di auto-avvelenamento da parte dell'uomo: agendo in maniera sconsiderata, egli sta causando danni irreversibili al pianeta. Processi come la desertificazione e la deforestazione, ma anche l'innalzamento del livello del mare, vanno a distruggere in primo piano gli habitat degli animali, ma agiscono indirettamente anche sull'uomo stesso. Un mutamento negli equilibri tra le specie animali non può che danneggiare anche l'uomo, in un processo che arriva a nuocere tutte le specie viventi, dalle più grandi alle più microscopiche.

Abbiamo osservato come le foreste di mangrovie rappresentano uno degli ecosistemi più importanti sul pianeta terra, perché, oltre ad essere delle vere e proprie oasi di biodiversità, queste piante sono estremamente importanti per il genere umano. Se è vero che le mangrovie siano un fedele alleato contro il cambiamento climatico, è altrettanto vero che le foreste di mangrovie subiscono negativamente gli effetti dello stesso. L'innalzamento dei mari, l'aumento di CO₂, la deforestazione, l'aumento della temperatura dell'aria e dell'acqua e l'intensificarsi delle precipitazioni mettono a dura prova la loro sopravvivenza. In

passato, la causa principale della diminuzione delle mangrovie era la deforestazione che, tra il 1980 e il 2000, ne ha causato una perdita del 35%.

Oggi una delle minacce più gravi alla loro esistenza deriva dall'innalzamento del livello del mare causato da cambiamenti climatici. Infatti, mentre le radici di una mangrovia vivono sott'acqua, il tronco vive sopra la linea di galleggiamento e, quando l'acqua diventa troppo alta, gli alberi annegano. La diminuzione di mangrovie non va sottovalutata: quando le piante vengono sradicate non solo smettono di assorbire CO₂ ma addirittura rilasciano nell'atmosfera tutta quella che precedentemente è stata immagazzinata, aumentando considerevolmente il riscaldamento globale.

4.2 La crisi globale

Come già accennato nell'introduzione, con il rapido aumento delle temperature globali, l'umanità sta assistendo ad un numero sempre maggiore di eventi climatici disastrosi.

Ma cosa è accaduto negli ultimi anni dal punto di vista climatico?

Ondate di calore violente, incendi più intensi, piogge più pesanti, aumento della siccità, perdita di specie, sono solo alcuni dei fenomeni causati da un rapido aumento delle temperature, provocato da drastiche emissioni di anidride carbonica.

“Abbiamo avuto senza dubbio, grandi eventi estremi in diversi parti del mondo - spiega lo scienziato del clima Zeke Hasufather, del gruppo della ricerca di Berkeley Earth -. Le temperature globali e quelle della superficie marina, in particolare nella regione dell'Atlantico Settentrionale, sono state fuori scala. Il ghiaccio marino antartico è stato eccezionalmente basso. Se mi aveste chiesto cosa mi sarei aspettato di vedere quest'estate, non avrei detto questa concomitanza di eventi estremi”.

Nel frattempo, le mappe e i grafici raffigurati di seguito illustrano in modo vivido il caos climatico globale che stiamo vivendo già oggi.

1) TEMPERATURE RECORD IN TUTTO IL MONDO

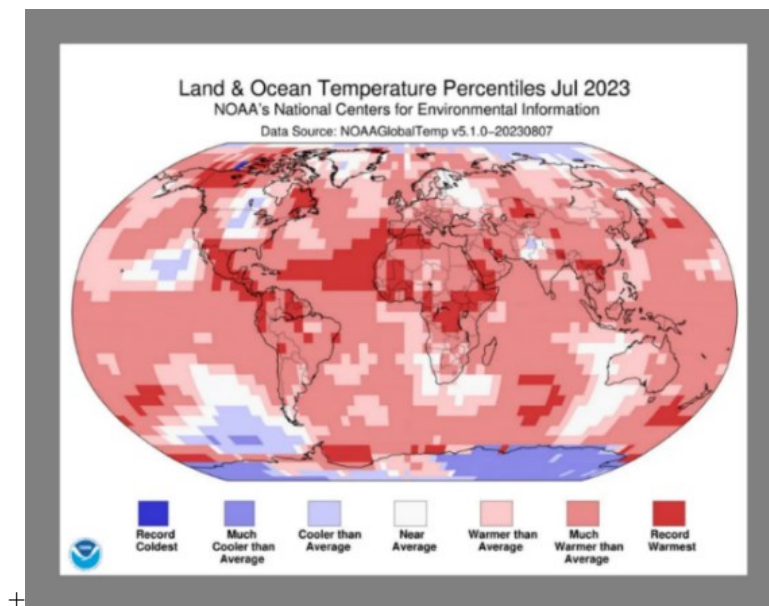


Figura 17: le temperature record mondiali nel luglio 2023.

Secondo la Nasa, questo giugno è stato il più caldo mai registrato. Poi è arrivato luglio, che non solo è stato il luglio più caldo, ma anche il mese più caldo da quando sono iniziate le rilevazioni nel 1880. “Quello a cui stiamo assistendo non è che solo quest’anno sono stati battuti dei record, ma che questi eventi da record si verificano più frequentemente, che è quello che secondo le ricerche dovremmo aspettarci accada in risposta ai cambiamenti climatici antropogenici in alcune regioni”, spiega Tiffany Shaw, scienziata del clima dell’Università di Chicago. Nella mappa qui sopra, la Natural oceanic and atmospheric administration (Noaa) statunitense mostra il caldo implacabile che ha colpito il mondo a luglio. Il rosso più scuro – intorno al Messico e all’America centrale, al Canada settentrionale e all’Alaska, e all’Africa equatoriale – mostra le aree che hanno registrato temperature record a luglio. Il rosso più chiaro indica che un’area è stata molto più calda della media, mentre il rosso tenue segnala che la zona in questione è stata semplicemente più calda della media. Secondo il Noaa, meno dell’1% della superficie mondiale ha registrato un freddo record a luglio.

2) LE TEMPERATURE GLOBALI DI LUGLIO FINO AL 2023

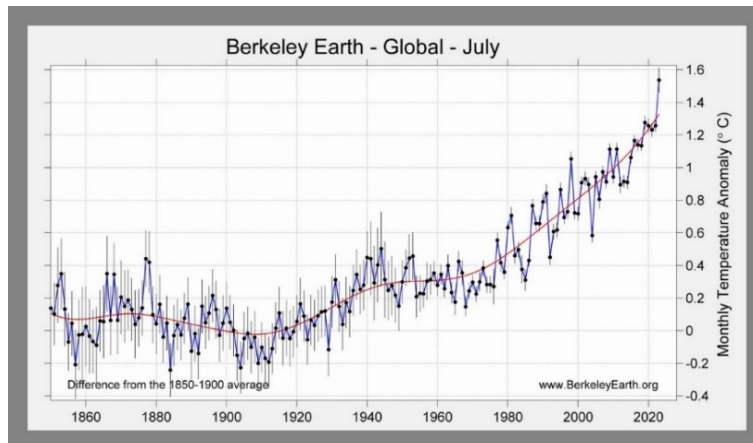


Figura 18: le crescenti temperature dei mesi di luglio dal 1850 al 2023.

In questo grafico del Berkeley Earth vediamo un altro modo di guardare alle temperature anomale di luglio. La temperatura media globale di luglio ha superato di 1.54 gradi Celsius la media tra il 1850 e il 1900, l'intervallo usato come riferimento per il periodo preindustriale.

Quando le trattative verso l'Accordo di Parigi hanno stabilito che l'umanità avrebbe cercato di limitare l'aumento delle temperature a 1.5 gradi rispetto ai livelli preindustriali, si trattava di temperature già sostenute. In altre parole, questo luglio potrebbe aver superato di 1.54 gradi le temperature preindustriali, ma nel complesso il mondo si è scaldato di 1.1 gradi.

Ma come si può vedere nel grafico del Berkeley Earth, la temperatura di luglio 2023 (quella più a destra) è balzata molto al di sopra degli anni precedenti, battendo il record precedente di 0.26 gradi, raggiunto a luglio del 2019. Quindi, mentre l'obiettivo dell'Accordo di Parigi non è stato ancora raggiunto in termini di medie registrate su molti anni, il rapporto del Berkeley Earth conclude che "anomalie isolate al di sopra di 1.5° C sono un segno che la Terra si sta avvicinando a questo limite".

3) LE CUPOLE DI CALORE SOPRA GLI STATI UNITI

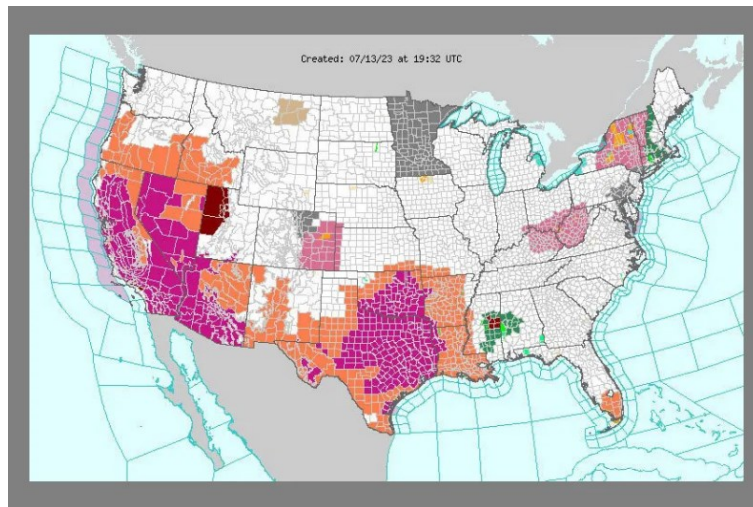


Figura 19: cupole di calore negli USA.

A luglio, una “cupola di calore” si è posata sulla zona meridionale e occidentale degli Stati Uniti. È un buon esempio di come il caldo estremo possa raggiungere dei picchi. In questa mappa del Servizio meteorologico nazionale statunitense relativa al 13 luglio, le aree soggette a segnalazione di calore eccessivo sono quelle in viola. Un mese dopo, un’altra cupola di calore ha colpito gli Stati Uniti centrali, con Lawrence, in Kansas, che ha registrato un indice di calore – che considera sia la temperatura che l’umidità – di circa 134 gradi Fahrenheit, equivalenti a 56 gradi celsius.

Queste cupole di calore sono mostri che si autoalimentano, grazie alla loro tendenza ad autoalimentarsi. Si formano quando l’aria scende dalle alte quote, riscaldandosi notevolmente prima di toccare il suolo. Con il passare dei giorni, l’umidità evapora dal paesaggio, aumentando ulteriormente le temperature. Una cupola di calore impedisce anche la formazione di nuvole e fa quindi sì che l’energia solare continui colpire il suolo con forza.

4) L'INCENDIO CHE HA DEVASTATO LAHAINA, A MAUI



Figura 20: l'incendio di Maui.

L'8 agosto, l'incendio più letale nella storia moderna degli Stati Uniti ha devastato la città costiera di Lahaina, a Maui, spinto da venti a quasi 100 km/h che si sono riversati come una valanga sul fianco di una montagna. Il numero dei morti è di 115 persone. La mappa mostra le fiamme gialle a infrarossi degli incendi attivi l'8 agosto.

I cambiamenti climatici rendono di anno in anno più intensi gli incendi, poiché le temperature atmosferiche più alte risucchiano l'umidità dal paesaggio, trasformando la vegetazione morta in cenere. Maui e le altre isole hawaiane sono infestate da erbe invasive, che crescono rapidamente durante la stagione delle piogge per poi disidratarsi durante la stagione secca. Questo effetto acceleratore ha contribuito a distruggere Lahaina, una città su un'isola tropicale che prima dell'arrivo dell'uomo assisteva solo di rado a incendi.

5) LA PERDITA DI GHIACCIO MARINO IN ANTARTIDE

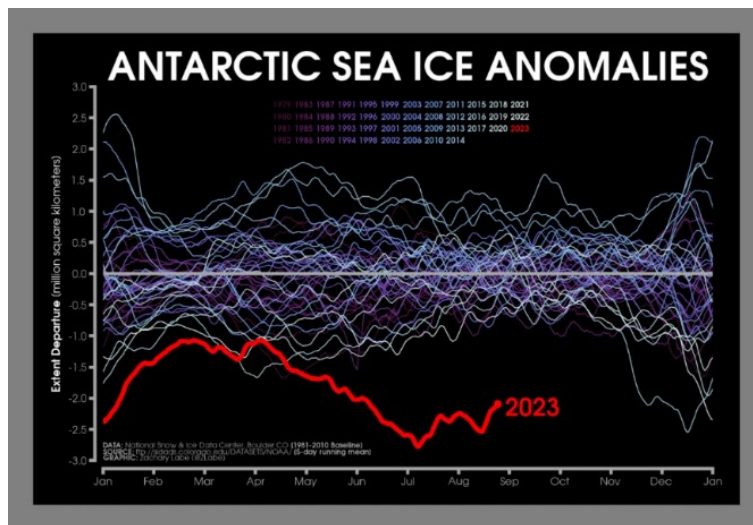


Figura 21: grafico dove si può osservare l'anomala perdita di ghiaccio nel 2023 a differenza degli altri anni.

La situazione in Antartide è preoccupante. Questo grafico mostra l'estensione (area occupata dal ghiaccio marino, che i ricercatori misurano in milioni di chilometri quadrati) del ghiaccio marino che galleggia intorno al continente: la linea che indica il 2023 è quella rossa, mentre le altre sono relative agli altri anni, a partire dal 1979.

Tutto ciò che si trova al di sopra della linea grigia orizzontale indica valori superiori alla media, mentre tutto ciò che si trova al di sotto è inferiore alla media. Come si evince dal grafico, quindi, il 2023 è molto al di sotto della media, con una perdita di ghiaccio marino antartico che attualmente ammonta a oltre 2 milioni di chilometri quadrati.

Gli scienziati stanno ancora cercando di capire se si tratta di un evento passeggero o se invece stiamo assistendo a un mutamento fondamentale nelle dinamiche del ghiaccio marino dell'Antartide. “Credo che si tratti di una combinazione di fattori atmosferici di difficile comprensione, sia che si tratti di variabilità climatica naturale che di cambiamenti climatici – afferma lo scienziato del clima Zachary Labe dell'Università di Princeton e del NOAA, che ha creato il grafico -. L'anomalia nell'evento estremo è davvero sorprendente. È davvero strana e rimangono ancora molti interrogativi sulle cause specifiche”.

La buona notizia è che dal momento che il ghiaccio marino dell'Antartide galleggia già sulla superficie dell'acqua, il suo scioglimento non porterebbe ad un aumento del livello del mare. La cattiva è che il ghiaccio marino contribuisce a proteggere enormi lastre di ghiaccio del continente dal vento e dalle onde, impedendo la loro rottura. Se il ghiacciaio Thwaites, soprannominato il ghiacciaio dell'apocalisse, si deteriorasse completamente trascinando nell'oceano il ghiaccio che lo circonda sulla terraferma, il livello del mare aumenterebbe di 3 metri.

6) L'IMPENNATA NELLE TEMPERATURE DELLA SUPERFICIE MARINA

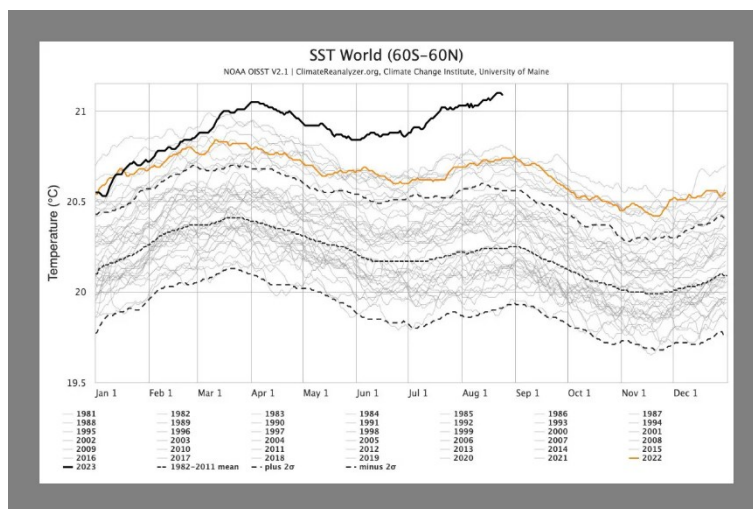


Figura 22: grafico che mostra le impennanti temperature della superficie del mare.

Da marzo le temperature globali della superficie del mare aumentano di pari passo con la diminuzione del ghiaccio marino antartico, e oggi sono molto al di sopra della norma. La linea nera continua del grafico qui sopra mostra la situazione relativa al 2023, mentre gli anni precedenti sono indicati dagli altri colori. La linea arancione corrisponde al 2022 (va sottolineato che quella rappresentata dal grafico è una media delle temperature superficiali del mare a livello mondiale, alcune aree sono ancora più calde).

Storicamente gli oceani hanno assorbito circa il 90% del calore in eccesso che gli esseri umani hanno immesso in atmosfera e ora stiamo osservando le devastanti conseguenze di questo fenomeno. A luglio, le temperature al largo della Florida hanno raggiunto i 38 gradi, causando lo sbiancamento di massa dei coralli. Gli scienziati sono anche preoccupati dal fatto che le temperature elevate della superficie del mare stanno influenzando il plankton, che è alla base del sistema alimentare dell'oceano.

A questo va aggiunto che, quando gli oceani si riscaldano, l'acqua più calda si espande: circa la metà dell'innalzamento del livello del mare deriva infatti da questa espansione termica, mentre l'altra metà è dovuta allo scioglimento dei ghiacci.

7) LA SITUAZIONE NELL'ATLANTICO SETTENTRIONALE

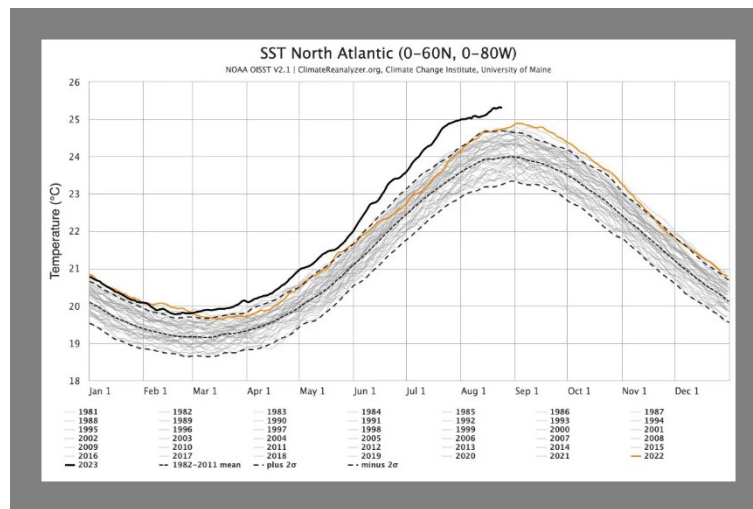


Figura 23: grafico che mostra le temperature dell'Atlantico settentrionale.

Questo grafico si concentra sulle temperature dell'Atlantico settentrionale. Il calore in eccesso qui è particolarmente preoccupante perché le acque calde alimentano gli uragani. In questa zona dell'oceano si profila un'interessante battaglia: El Niño (un fenomeno climatico periodico) si sta rafforzando nel Pacifico dando origine a una variazione improvvisa nell'intensità e nella direzione del vento – un fenomeno noto come wind shear – che potrebbe contrastare lo sviluppo degli uragani. All'inizio del mese però, il Noaa ha fornito un aggiornamento, affermando che nell'Atlantico gli effetti di El Niño potrebbero non manifestarsi in tempo per contenere gli uragani. Ora c'è il 60% di possibilità di una stagione degli uragani fuori dalla norma. Le acque calde di El Niño potrebbero anche aver contribuito a rafforzare l'uragano Hilary, che si è trasformato nel Pacifico orientale e ha marciato verso nord, approdando in Messico e nella California meridionale sotto forma di tempesta tropicale nei giorni scorsi. La tempesta ha scaricato una quantità d'acqua sorprendente, causando gravi inondazioni e colate di detriti.

8) LA SCHEGGIA IMPAZZITA: EL NIÑO

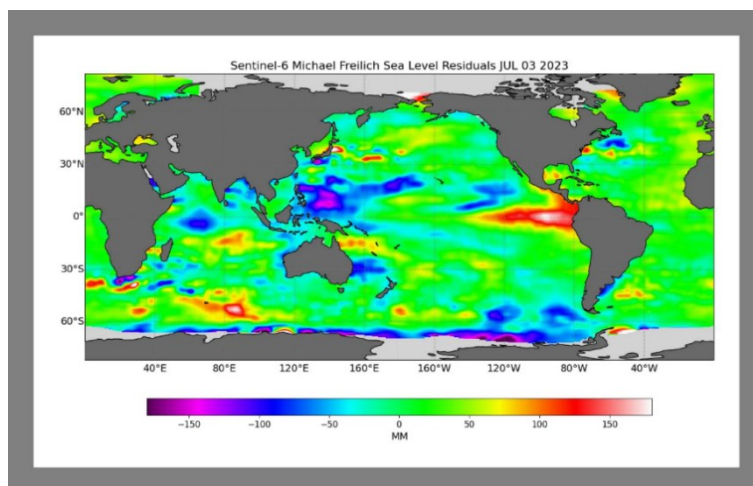


Figura 24: El Niño.

Guardando all'anno prossimo, El Niño (raffigurato sopra come la macchia rossa al largo della costa occidentale del Sud America) potrebbe far salire ulteriormente le temperature, con potenziali conseguenze economiche globali pari a migliaia di miliardi di dollari.

“In generale ci aspettiamo che gli effetti maggiori di El Niño si facciano sentire nel 2024 piuttosto che nel 2023 – dice Hausfather di Berkeley Earth -. Il 2023, a conti fatti, sarà probabilmente l'anno più caldo mai registrato, ma con un margine enorme rispetto al 2016 e al 2020. Almeno al momento, sembra che il 2024 sia sulla buona strada per far segnare il vero record in termini di temperature annuali”.

4.3 La politica nel cambiamento climatico

La politica del cambiamento climatico deriva da diverse prospettive su come rispondere alla crisi climatica. Il riscaldamento globale è determinato in gran parte dalle emissioni di gas a effetto serra dovute all'attività economica umana, in particolare la combustione di combustibili fossili, alcune industrie come la produzione di cemento e acciaio e l'uso del suolo per l'agricoltura e la silvicoltura. Dopo la rivoluzione industriale, i combustibili fossili hanno fornito la principale fonte di energia per lo sviluppo economico e tecnologico. La centralità dei combustibili fossili e di altre industrie ad alta intensità di carbonio ha provocato molta resistenza alla politica favorevole al clima, nonostante il diffuso consenso scientifico riguardo la necessità di questa politica.

Il cambiamento climatico è emerso per la prima volta come una questione politica nel 1970. Gli sforzi per mitigare il cambiamento climatico sono stati importanti nell'agenda politica internazionale fin dagli anni '90, e sono anche sempre più affrontati a livello nazionale e locale. Il cambiamento climatico è un problema globale complesso. Le emissioni di gas a effetto serra contribuiscono al riscaldamento globale in tutto il mondo, a prescindere dalla loro origine. Tuttavia, l'impatto del riscaldamento globale varia notevolmente a

seconda di quanto sia vulnerabile un luogo o un'economia ai suoi effetti. Il riscaldamento globale ha nel complesso un impatto negativo, che si prevede peggiorare con l'aumentare del riscaldamento. La capacità di beneficiare sia dei combustibili fossili che delle fonti energetiche rinnovabili varia notevolmente da nazione a nazione.

Diverse responsabilità e minacce legate al clima affrontate dalle nazioni del mondo hanno contribuito alle prime conferenze sul cambiamento climatico, producendo poco al di là delle dichiarazioni generali di intenti per affrontare il problema, e impegni non vincolanti dei paesi sviluppati per ridurre le emissioni. Nel XXI secolo si è prestata maggiore attenzione a meccanismi come il finanziamento del clima per consentire alle nazioni vulnerabili di adattarsi ai cambiamenti climatici. In alcune nazioni e giurisdizioni locali, sono state adottate politiche favorevoli al clima che vanno ben oltre ciò che è stato impegnativo a livello internazionale. Tuttavia, le riduzioni locali delle emissioni di gas a effetto serra raggiunta da tali politiche hanno una capacità limitata di rallentare il riscaldamento globale a meno che il volume complessivo delle emissioni di gas a effetto serra non diminuisca in tutto il pianeta.

Dal 2020, la possibilità di sostituire l'energia da combustibili fossili con fonti di energia rinnovabile è aumentata in modo significativo, con alcuni paesi che ora generano quasi tutta la loro elettricità da fonti rinnovabili. La consapevolezza pubblica della minaccia del cambiamento climatico è aumentata, in gran parte a causa del movimento sociale guidato dai giovani e della visibilità degli impatti del cambiamento climatico, come eventi meteorologici estremi e inondazioni causate dall'aumento del livello del mare. Molti sondaggi mostrano che una percentuale crescente di elettori è favorevole ad affrontare il cambiamento climatico come un'alta priorità, rendendo più facile per i politici impegnarsi in politiche che includono l'azione per il clima. La pandemia del COVID-19 e la recessione economica portano a una diffusa richiesta di una "ripresa verde", con alcune politiche come l'Unione europea che integrano con successo l'azione per il clima nel cambiamento politico.

4.4 La COP

COP è l'acronimo di Conference of Parties, la riunione annuale dei Paesi che hanno ratificato la Convenzione Quadro delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici (United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC).

La Convenzione è un trattato ambientale internazionale che fu firmato durante la Conferenza sull'Ambiente e sullo Sviluppo delle Nazioni Unite, informalmente conosciuta come Summit della Terra, tenutasi a Rio de Janeiro nel 1992. Il trattato punta alla riduzione delle emissioni dei gas serra, alla base dell'ipotesi di riscaldamento globale. Il trattato non poneva limiti obbligatori per le emissioni di gas serra ma prevedeva la stipula di protocolli che avrebbero posto i limiti obbligatori di emissioni: il principale di questi è il protocollo di Kyoto.

4.4.1 COP 28: tra vittorie e sconfitte

Si è conclusa da poco la COP28, a Dubai tenutasi dal 30 novembre al 12 dicembre del 2023. È stata la ventottesima Conferenza delle Parti della Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici e si è tenuta all'Expo City di Dubai, sotto la presidenza degli Emirati Arabi Uniti.

L'evento ha visto la partecipazione di oltre 97.000 delegati, tra cui Capi di Stato, funzionari governativi, rappresentanti aziendali, accademici e giovani.

Durante la conferenza, è stato approvato il Fondo per perdite e danni, con un contributo iniziale degli Emirati di circa 100 milioni di dollari. Alcuni leader, tra cui il presidente del consiglio italiano Giorgia Meloni, hanno annunciato impegni finanziari per affrontare le perdite e i danni causati dai cambiamenti climatici.

Gli accordi firmati includono la Dichiarazione sull'Agricoltura sostenibile e l'azione climatica, che coinvolge 134 Paesi e prevede la mobilitazione di oltre 2,5 milioni di dollari. C'è anche la Dichiarazione di triplicare l'energia nucleare, firmata da 22 paesi, che riconosce il ruolo chiave dell'energia nucleare nel raggiungimento degli obiettivi climatici.

L'impegno globale per le energie rinnovabili e l'efficienza energetica, presentato da Unione Europea e Presidenza di COP28, mira a triplicare la capacità di generazione dell'energia rinnovabile entro il 2030.

Altre iniziative includono la Dichiarazione sul clima e sulla salute, l'Africa Green Industrialisation Initiative, il progetto Ocean Breakthroughs e soprattutto l'Alleanza delle mangrovie per il clima.

Nonostante le importanti scelte, come impegno alla transizione dei combustibili fossili è possibile definire l'incontro una semi-sconfitta legata ai grandi assistenti: il presidente degli Stati Uniti Joe Biden e il Capo di Stato cinese Xi Jinping, rappresentanti delle più grandi potenze inquinanti del mondo.

CONCLUSIONI

Con il presente elaborato mi sono posto l'obiettivo di far capire come le mangrovie, in particolare, risultino un ecosistema fondamentale, nonché una risorsa per la vita di noi esseri umani ma soprattutto per quella del pianeta.

Si è visto infatti come, tra le tante funzioni, le mangrovie possono agire come barriera naturale contro le tempeste e tsunami, ridurre l'erosione delle coste e trattenere il terreno attraverso il loro sistema radicale, ma soprattutto ridurre la quantità di gas serra nell'atmosfera con un'efficacia di ben 10 volte rispetto una foresta boreale, tropicale o temperata.

Di conseguenza questi importantissimi habitat rappresentano non solo un ecosistema vitale per la biodiversità, ma una barriera naturale contro gli effetti deleteri della crisi climatica che da molti anni ormai stiamo vivendo.

È importante quindi da parte nostra doverli preservare poiché una loro scomparsa non farebbe altro che accelerare il cambiamento climatico amplificando fenomeni meteorologici estremi, mettendo a repentaglio non solo la nostra vita ma anche quella delle comunità costiere e degli ecosistemi circostanti.

Preservare e ripristinare le mangrovie rappresenta quindi una necessità urgente per proteggere la salute del pianeta e garantire un futuro sostenibile per le generazioni a venire.

Come già scritto nell'introduzione ci troviamo ad affrontare da anni ormai una sfida globale, e ciò richiede azioni immediate, collaborazioni internazionali e un impegno collettivo per preservare habitat come questo che a loro volta sono vitali per ridurre la crisi climatica e possono quindi esserci realmente utili.

È importante quindi preservare efficacemente le mangrovie, adottare politiche di conservazione, coinvolgere le comunità locali, ma soprattutto promuovere pratiche sempre più sostenibili che proteggano e ripristino questi ecosistemi vitali.

Ci tengo a ringraziare in particolar modo il professore Cristiano Casucci, mio relatore, per avermi dato l'opportunità di affrontare questa tematica e di avermi accompagnato nella stesura di questo elaborato.

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

“Carbon sequestration in mangrove forests” pubblicato da Daniel M Alongi (2012), *Carbon Management*, 3:3, pp. 313-322, <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.4155/cmt.12.20>

“Carbon sequestration and annual increase of carbon stock in a mangrove stock” pubblicato da R. Ray, D. Ganguly, C. Chowdhury, M. Dey, S. Das, M.K. Dutta, S.K. Mandal, N. Majumder, T.K. De, S.K. Mukhopadhyay, T.K. Jana (2011), *ATMOSPHERIC ENVIRONMENT*, pp 5016-5024, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.04.074>

“Mapping global distribution of mangrove forests at 10-m resolution” pubblicato da Mingming Jia, Zongming Wang, Dehua Mao, Chunying Ren, Kaishan Song, Chuanpeng Zhao, Chao Wang, Xiangming Xiao, Yeqiao Wang (2023), *Science Bulletin*, Volume 68, pp. 1306-1316. <https://doi.org/10.1016/j.scib.2023.05.004>

“Mangrovie, alleate contro i cambiamenti climatici, decimate in Indonesia” pubblicato da Maria Rita D’Orsogna (Agosto 2022), in *IL GIORNALE Dell’Ambiente*. <https://ilgiornaledellambiente.it/mangrovie-cambiamenti-climatici-decimate-indonesia/>

“Mangrovie: cosa sono e come possono aiutarci” scritto da Lara Zambonelli (2022), in *treedom let’s green the planet*. <https://blog.treedom.net/it/mangroves>

“10 mappe e grafici per capire l’estate nera del clima” scritto da Matt Simon (2023), in *WIRED* <https://www.wired.it/article/clima-mappe-grafici-per-capire-estate-nera-2023/>

“Il Ruolo Ecologico delle Mangrovie” di Elisa (2020), in *Ambiente* <https://www.ecosistemi biodiversita.it/il-ruolo-ecologico-delle-mangrovie/>

“Ecosistemi in crescita: le foreste di mangrovie” (2021), in *Missione Scienza* <https://www.previdir.it/ecosistemi-in-crescita-le-foreste-di-mangrovie/>

“Le mangrovie: un vero e proprio ecosistema da proteggere” pubblicato da Giulia Negri (2020), in *OggiScienza* <https://oggiscienza.it/2020/07/14/mangrovie-ecosistema-da-proteggere/index.html>

“How do mangroves store CO2?” pubblicato da Martin Zimmer, in Leibniz Centre for Tropical Marine Research in *HELMHOLTZ*

<https://www.helmholtz-klima.de/en/faq/how-mangroves-store-co2>

“Le mangrovie contro il cambiamento climatico” di Virginia Corti in *THE BLACK BAG*

<https://www.theblackbag.org/mangrovie/#:~:text=Le%20mangrovie%20sono%20in%20pericolo&text=In%20passato%20la%20causa%20principale,mare%20causato%20dai%20cambiamenti%20climatici>

“Cop28: cos'è e cosa ci si aspetta dal Global Stocktake” di Francesco Suman (2023), in *Il Bo Live UniPD*

<https://ilbolive.unipd.it/it/news/cop28-cose-cosa-ci-si-aspetta-dal-global-stocktake#:~:text=L'accordo%20di%20Parigi%20%C3%A8,di%201%2C5%2C%20B0C>

“Mangrovie: un ecosistema prezioso al servizio di tutti” di Davide Serva (2021), in *thedifferentgroup*

<https://www.thedifferentgroup.com/2021/08/30/mangrovie/>

“Coastal Blue Carbon” di NOAA (2023), in *National Ocean Service*

<https://oceanservice.noaa.gov/ecosystems/coastal-blue-carbon/#:~:text=Current%20studies%20suggest%20that%20mangroves,equivalent%20area%20than%20tropical%20forests.>

<https://www.seaforestlife.eu/it/il-progetto/blue-carbon.html>

https://it.wikipedia.org/wiki/Carbonio_blu

https://it.wikipedia.org/wiki/Fotosintesi_clorofilliana

<https://www.chimica-online.it/biologia/fase-luminosa-della-fotosintesi.htm>

https://en.wikipedia.org/wiki/Mangrove_tree_distribution

<https://it.wikipedia.org/wiki/Sundarbans>

https://it.wikipedia.org/wiki/Parco_nazionale_delle_Sundarbans

<https://en.wikipedia.org/wiki/Mangrove>

