



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA VITA E DELL'AMBIENTE

CORSO DI LAUREA IN SCIENZE BIOLOGICHE

LE BALENE NEL CICLO DEL CARBONIO

**La conservazione può
contribuire alla rimozione
di CO₂ atmosferico?**

Tesi di laurea di
Arianna Calderazzo

Sessione estiva 2023/2024

Docente Referente
Prof.ssa Cinzia Corinaldesi



INTRODUZIONE ED OBIETTIVI



Le balene, grazie alle loro enormi dimensioni e all'ampia distribuzione mondiale, influenzano l'ecosistema e il ciclo del carbonio negli oceani.



A fronte della grave emergenza climatica in atto, si stanno cercando sempre più soluzioni naturali per ridurre le emissioni di gas serra nell'atmosfera.



Per questo motivo è necessario approfondire e studiare l'impatto che potrebbe avere la conservazione di questi animali sul sequestro di CO₂ atmosferico.



Il tentativo è quello di quantificare quindi l'effettivo import-export di CO₂, il valore in termini di carbonio e in termini economici di un singolo individuo, tenendo conto della variazione della popolazione nel tempo.

La caccia alle balene è una pratica che fonda le sue origini nell'era paleolitica, ed ebbe il suo maggior sviluppo dal IX al XX secolo. Numerose popolazioni e nazioni fondarono la propria economia e sussistenza proprio sulla caccia dei grandi cetacei, che venivano utilizzati per la carne, per l'olio da illuminazione e per creare oggetti di uso domestico.

È stato stimato che solo nel XX secolo sono state uccise 2.9 milioni di grandi balene [2]

Dal 1925 sono state istituite le prime regolamentazioni alla caccia, ma nonostante ad oggi sia solo permessa per scopi scientifici e alcune eccezioni di natura culturale, alcuni stati eludono le norme e cacciano di frodo.

Con l'avvento della pesca industriale e dell'inquinamento dei mari, si aggiungono le minacce della pesca bycatch, la collisione con le navi, l'inquinamento acustico e l'ingestione di plastiche.



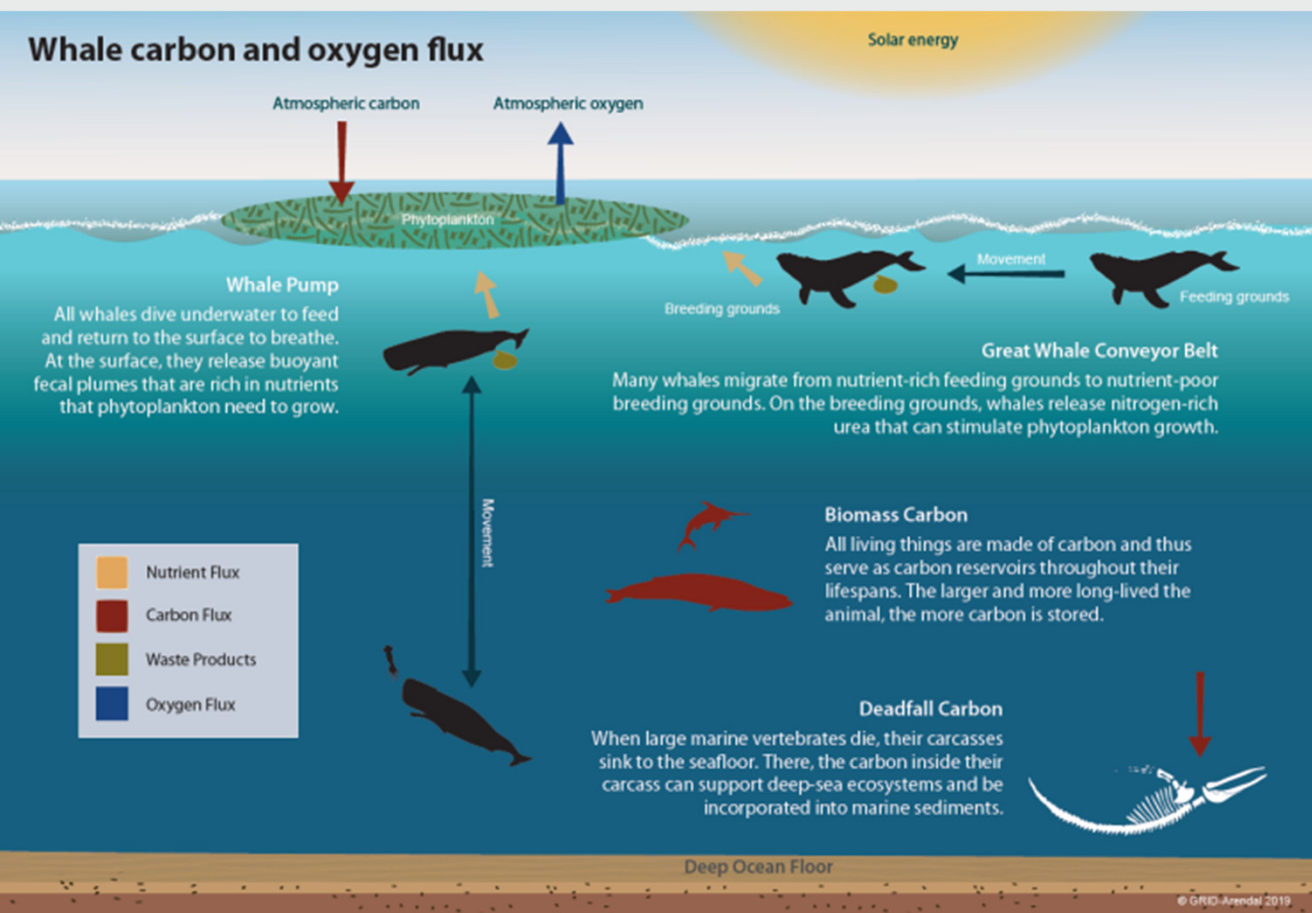
**IMPATTO
ANTROPICO**

LE BALENE E IL CICLO DEL CARBONIO

L'oceano è un importante "pozzo di carbonio", ovvero sequestra più CO₂ di quello che immette nell'atmosfera

bilancio netto di circa 2.5±0.6 GtC yr⁻¹ [4]

Nel decennio 2010-2019 ha assorbito il 22% delle emissioni umane. [3]



La **PBC** (pompa biologica del carbonio) è un processo mediante il quale l'ecosistema oceanico trasporta il carbonio dalla zona eufotica superficiale alle profondità dell'oceano. Questo avviene soprattutto grazie agli organismi fotosintetici, ma in parte anche ai grandi animali.

Per studiare l'impatto delle balene sulle dinamiche dei nutrienti e del carbonio nell'oceano, vanno analizzate sia le **vie dirette** che le **vie indirette**.

VIE DIRETTE: BIOMASSA

DIMENSIONI

Le Balene, famiglia di grandi cetacei che comprende Mysticeti e Capodogli, hanno dimensioni che variano da 6 a 33 mt, e da 5 a 200 t.

All'interno di questa famiglia troviamo l'animale più grande mai esistito sulla terra, la balenottera azzurra (*Balaenoptera musculus*) 33mt x 200t

RISERVA DI C

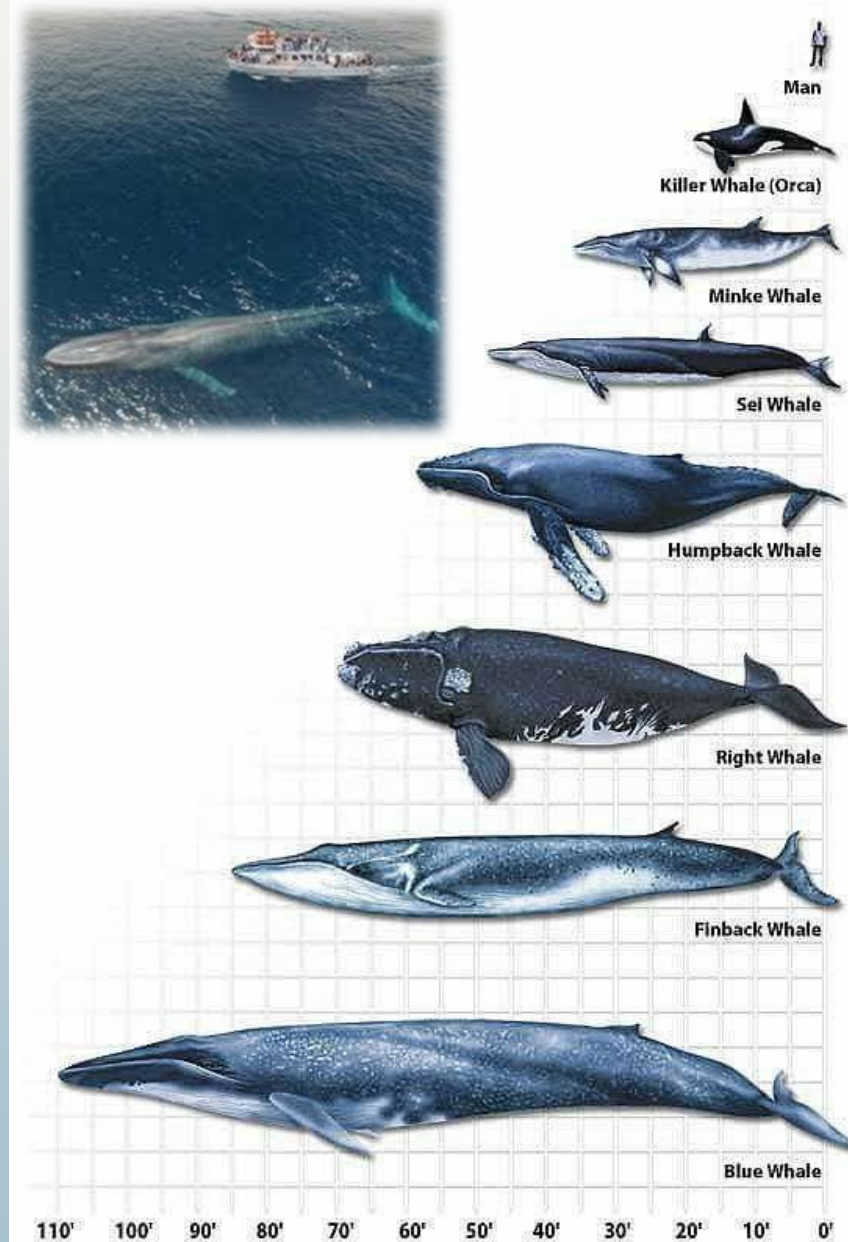
EFFICIENZA: la loro enorme massa, paragonata ad animali più piccoli, concentra più carbonio e rilascia meno CO₂

PERSISTENZA: essendo animali molto longevi, sono una riserva di carbonio a lunga durata.

IMPATTO UMANO

La caccia alle balene si stima abbia causato la perdita dell'81% di biomassa, che in termini di carbonio stoccato, sono 0.017 Gt perse. [4]

Inoltre, ha sicuramente alterato le forze top-down dell'ecosistema, con conseguente impatto sul ciclo del carbonio.



L'inabissamento di carcasse di balene sul fondale oceanico (almeno 1000 mt), grazie alla loro grande dimensione, contribuisce a trasferire carbonio in profondità.

La carcassa costituisce un vero e proprio ecosistema che fornisce nutrienti agli organismi abissali per decenni. La quantità di carbonio immagazzinata in una balena (circa 2t per una carcassa di 40t) è più o meno equivalente alla quantità di carbonio esportato in un ettaro di fondale oceanico in 100-200 anni. [10,11]

STADIO A
SCAVENGER
dopo 0.5-1.5 mesi

STADIO DEGLI
OPPORTUNISTI
dopo 4-24 mesi

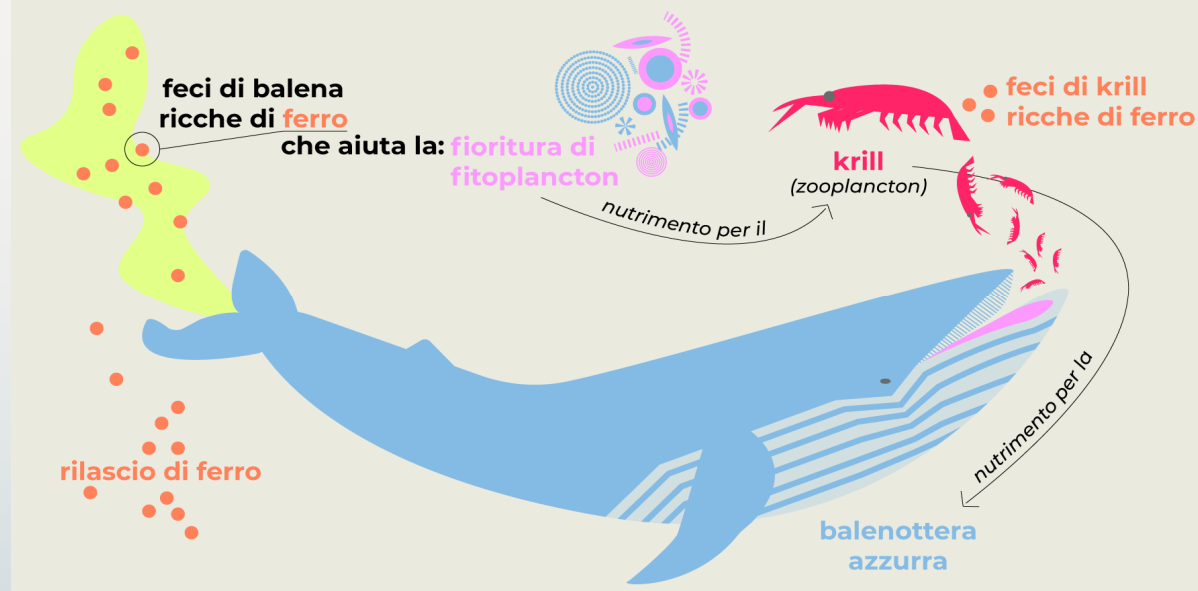
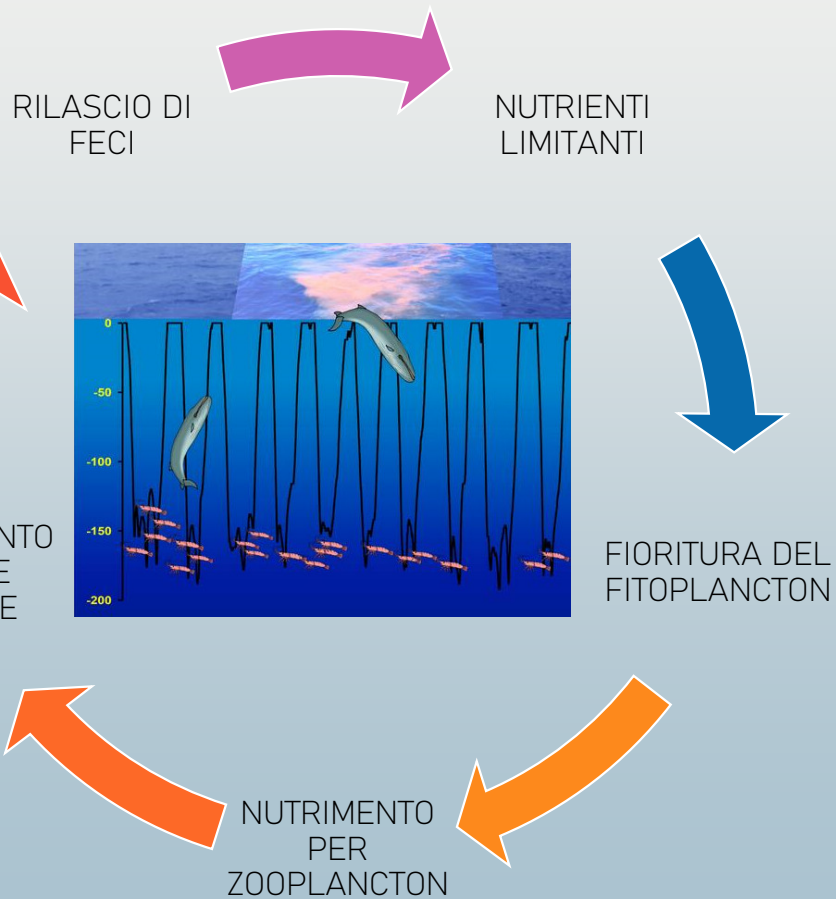
STADIO
SULFOFILICO
dai 5 ai 50 anni

STADIO A REEF
solo ossa



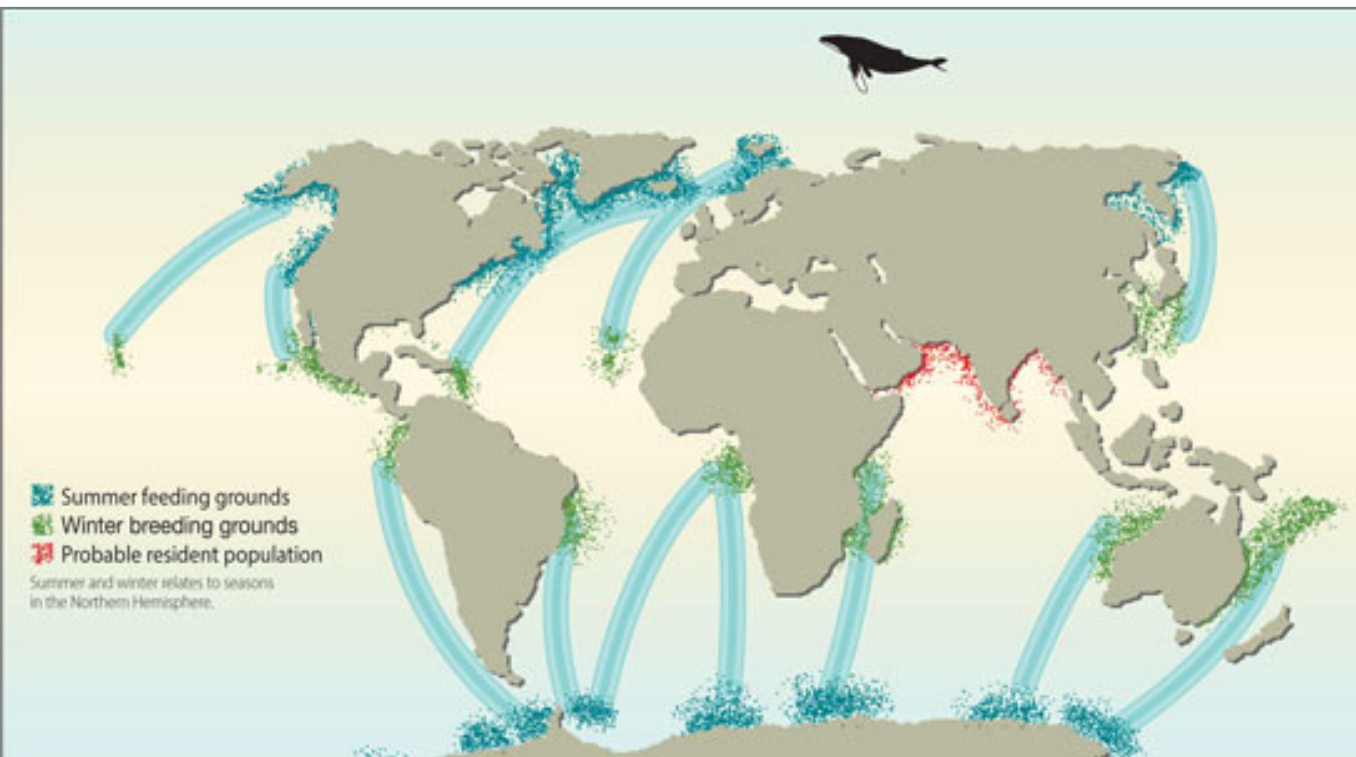
**VIE DIRETTE:
WHALE FALL**

VIE INDIRETTE: WHALE PUMP

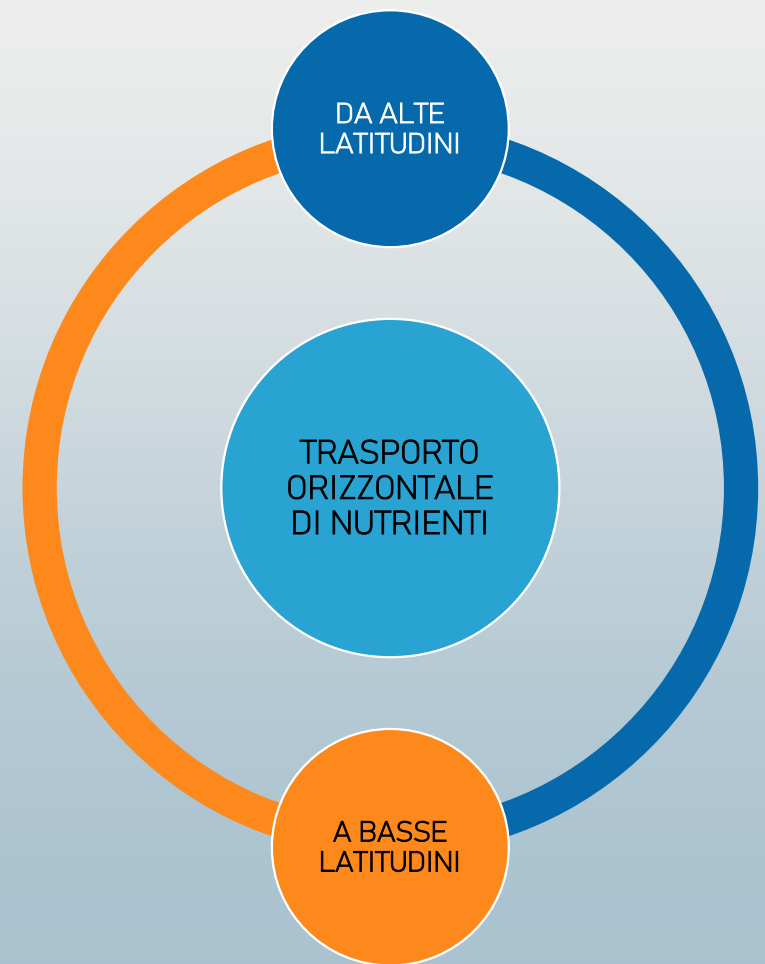


Il rilascio di escrementi da parte di animali di così grandi dimensioni, apporta una grande quantità di nutrienti limitanti (come il ferro), utili alla fissione di carbonio degli organismi fitoplanctonici. [7,8,9]

Animali come i Capodogli, che si nutrono in profondità (oltre i 1000mt), portano nutrimento **alloctono** in superficie, tramite un TRASPORTO VERTICALE. Balene che si nutrono negli strati superficiali apportano invece nutrimento **autoctono**.



VIE INDIRETTE: MIGRAZIONE



Le balene durante l'anno migrano per lunghe distanze, da zone ad alte latitudini ricche di nutrienti, dove trascorrono l'estate, a zone a basse latitudini scarse in nutrienti, dove trascorrono l'inverno. [1]

Le balene sono dei **capital breeders**, ovvero si nutrono durante l'estate e digiunano durante il periodo di accoppiamento (inverno).

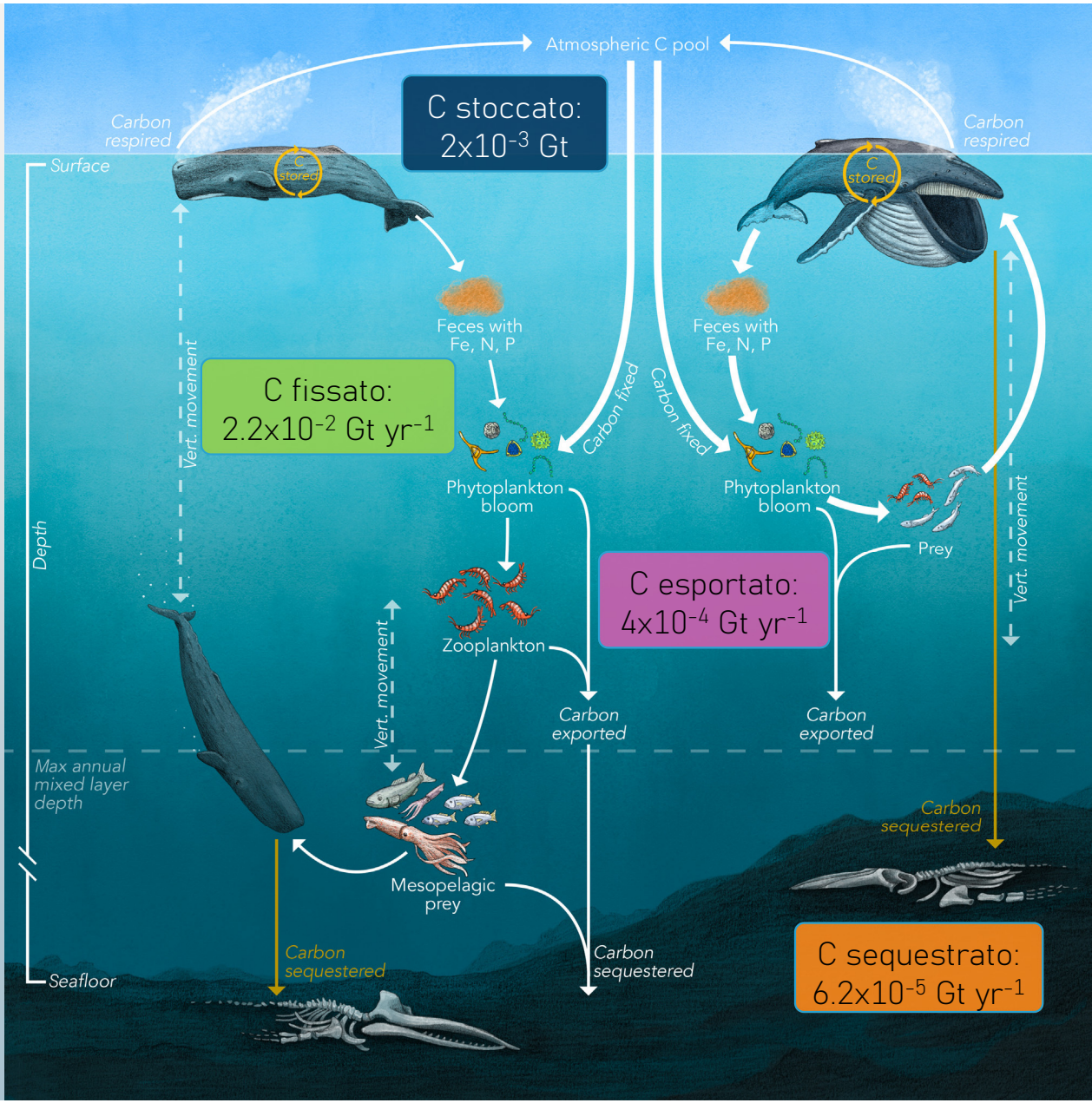
QUANTIFICARE IL RUOLO DELLE BALENE: IN TERMINI DI CO2

Cinque studi hanno cercato di quantificare il ruolo delle balene nel ciclo del carbonio tramite le vie dirette ed indirette. [1,4,7,8,9]

Ma ci sono diversi limiti:

- Il C stoccato non considera la biomassa dei capodogli; [4]
- Il whale pump è stato calcolato solo su 5 specie dell'oceano antartico. [7,8,9]
- L'effetto della migrazione è stata calcolata solo per le balenottere azzurre dell'emisfero sud. [1]

Riusciamo ad avere una stima più precisa delle vie dirette, rispetto alle vie indirette.



QUANTIFICARE IL RUOLO DELLE BALENE: IN TERMINI ECONOMICI

STEP 1: IDENTIFICARE E CALCOLARE I SERVIZI PRODOTTI DALLE BALENE



STEP 2: PREVEDERE IL VALORE DI MERCATO DEI SERVIZI NEL FUTURO



STEP 3: STABILIRE UN TASSO DI SVALUTAZIONE NEL TEMPO



TRAMITE UN'EQUAZIONE SI OTTIENE IL VALORE ECONOMICO DI UNA SINGOLA BALENA

Basato sullo studio di Chami, R. et al. (2020) [6], condotto sulle balene che frequentano le coste brasiliane (tutte le 9 specie di Mysticeti e i Capodogli) e sulle balenottere azzurre sulle coste del Cile.

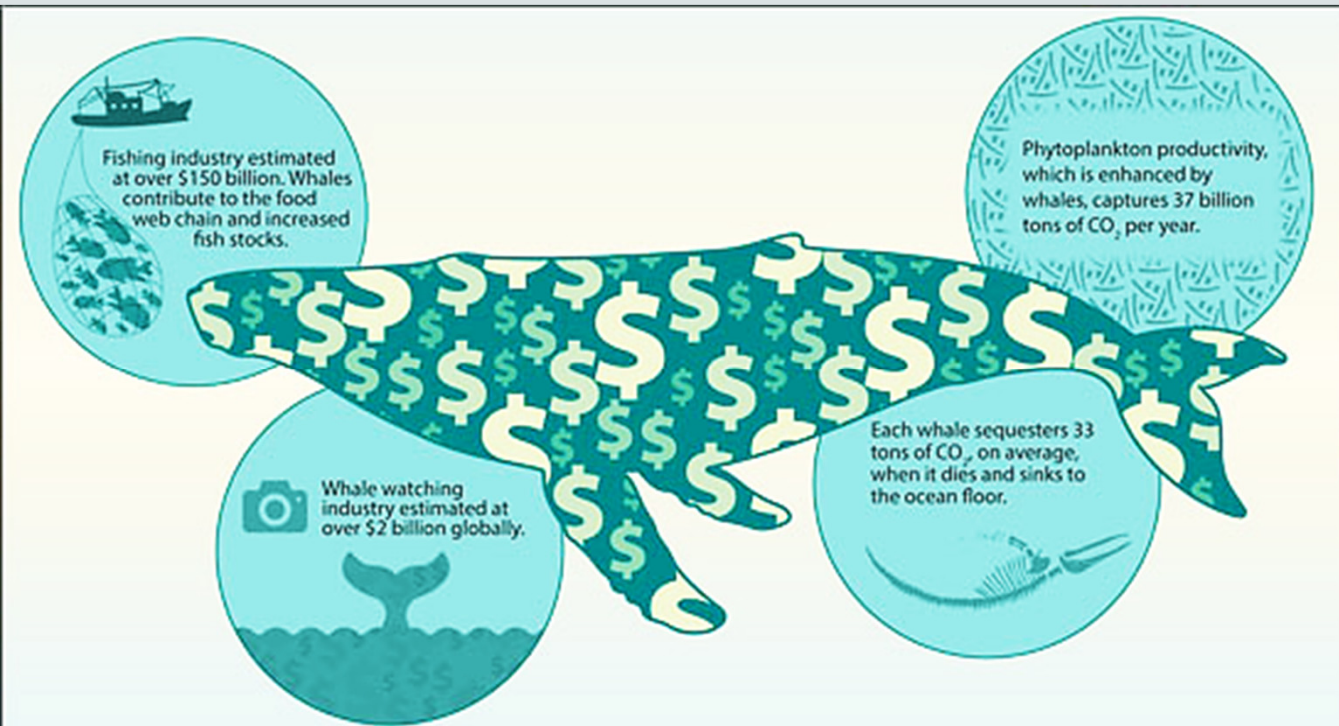


Table 3: Values of Current Service Flows/Stock of Carbon

Species	Current Values of Annual Service Flows:			Value of Stock:
	Ecotourism	Phytoplankton Carbon Capture	Fisheries Enhancement	Carbon on Body
Blue	\$310,941	\$1,421,994	\$233,206	\$74,754
Bryde's	\$3,730,269	\$17,059,268	\$2,797,702	\$357,927
Fin	\$3,462,555	\$15,834,959	\$2,596,917	\$816,453
Gray				
Humpback	\$54,506,095	\$249,267,274	\$40,879,571	\$12,496,213
Minke	\$4,162,488	\$19,035,891	\$3,121,866	\$969,621
Right	\$2,072,994	\$9,480,217	\$1,554,746	\$456,281
Sei	\$472,296	\$2,159,906	\$354,222	\$111,226
Sperm	\$26,688,674	\$122,052,644	\$20,016,506	\$6,207,708
Totals (Brazil):	\$95,406,313	\$436,312,152	\$71,554,736	\$21,490,183
Blue (Chile)	\$3,707,269	\$16,954,085	\$2,780,452	\$845,183

Media del valore economico di una singola balena: \$2.000.000

QUANTIFICARE IL RUOLO DELLE BALENE: BIO-ECONOMIC FRAMEWORK

STEP 1: CALCOLARE LE
DINAMICHE DI POPOLAZIONE
SPECIE-SPECIFICHE

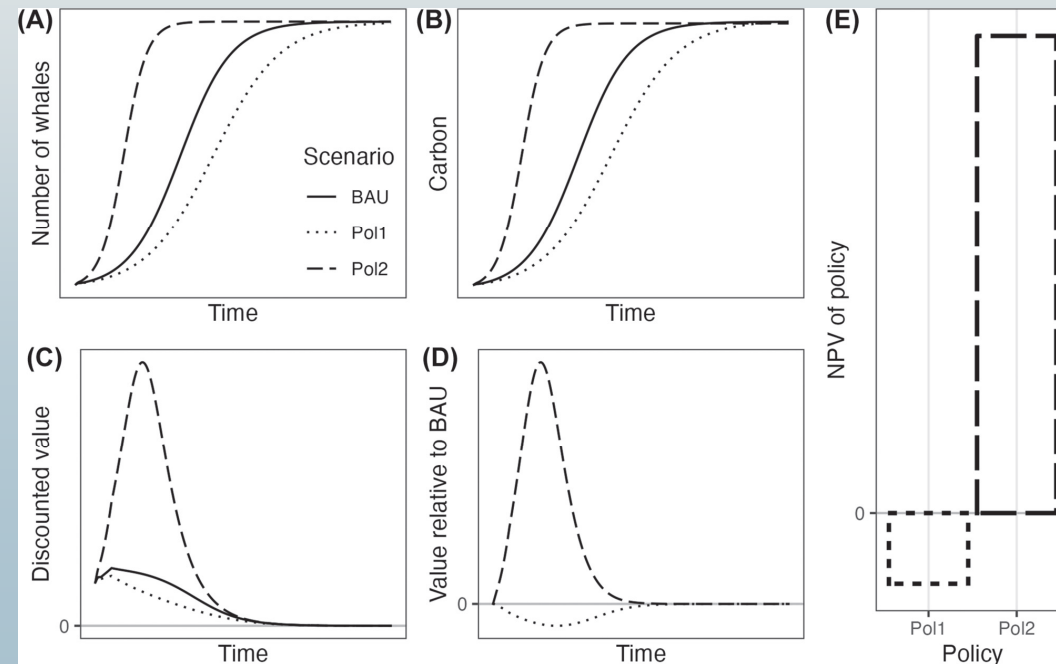
STEP 2: CALCOLARE LA DINAMICHE
DEL CARBONIO (vie dirette ed
indirette)

STEP 3: VALUTAZIONE ECONOMICA
SULLA BASE DEL VALORE DI
MERCATO DEL CARBONIO

TRAMITE UN'EQUAZIONE SI OTTIENE
IL VALORE ECONOMICO DI UNA
SINGOLA BALENA

STEP 4: PREDIRE L'IMPATTO CHE
AVREBBERO DIVERSI INTERVENTI DI
CONSERVAZIONE DELLE BALENE

Nel futuro: Integrare gli Earth system models (modelli che simulano il movimento del carbonio in atmosfera, su terra e in mare) per avere una quantificazione più accurata delle vie indirette.



CONCLUSIONI E PROSPETTIVE FUTURE



- Allo stato attuale la quantificazione del ruolo delle balene nel ciclo del carbonio è incompleta; se le vie dirette sono stimate con un certo grado di precisione, quelle indirette rimangono una frontiera poco conosciuta, e di grande potenziale.
- Indubbiamente, misure di conservazione e ripristino delle popolazioni di balena avrebbero un impatto positivo sul sequestro di CO₂. In particolare, grazie a dimensioni e longevità, sono una strategia meno rischiosa, a lunga permanenza e più efficiente, rispetto a soluzioni di geoingegneria.
- Si auspica, da una parte, l'inserimento della conservazione delle balene all'interno della protezione del blue carbon ecosystem, che al momento si riferisce soprattutto alle aree costiere; dall'altra una continua ricerca e miglior quantificazione del ruolo delle balene nel sequestro di CO₂.

BIBLIOGRAFIA

- Pearson, Heidi C. et al. (2023) Whales in the carbon cycle: can recovery remove carbon dioxide?
- 1-Roman, J. et al. (2014) Whales as marine ecosystem engineers.
- 2-Rocha, jr., Clapham, ivashchenko (2014) Emptying the Oceans: A Summary of Industrial Whaling Catches in the 20th Century
- 3-Friedlingstein, P. et al. (2020) Global carbon budget 2020.
- 4-Pershing, A.J. et al. (2010) The impact of whaling on the ocean carbon cycle: why bigger was better
- 5-Chami, R. et al. (2019) Nature's solution to climate change: a strategy to protect whales can limit greenhouse gases and global warming.
- 6-Chami, R. et al. (2020) On valuing nature-based solutions to climate change: a framework with application to elephants and whales.
- 7-Savoca, M.S. et al. (2021) Baleen whale prey consumption based on high-resolution foraging measurements.
- 8-Lavery, T.J. et al. (2010) Iron defecation by sperm whales stimulates carbon export in the Southern Ocean.
- 9-Lavery, T.J. et al. (2014) Whales sustain fisheries: blue whales stimulate primary production in the Southern Ocean.
- 10-Smith, C, J. Roman, and J. B. Nation. 2019. "A Metapopulation Model for Whale-Fall Specialists: The Largest Whales Are Essential to Prevent Species Extinctions—The Sea."
- 11-Biologia Marina, Roberto Danovaro-UTET (2019)

RIASSUNTO ESTESO



Le grandi balene (misticeti e capodogli), grazie alle loro enormi dimensioni e all'ampia distribuzione, influenzano l'ecosistema e la dinamica del carbonio.

Le balene immagazzinano carbonio direttamente nella loro biomassa e contribuiscono all'esportazione di esso attraverso l'affondamento delle carcasse. Gli escrementi delle balene possono stimolare la crescita e la cattura, da parte del fitoplancton, di CO₂ atmosferica; tali vie indirette rappresentano il potenziale maggiore di sequestro del carbonio delle balene, ma sono poco conosciute.

Nel cercare di quantificare il valore della conservazione delle balene sia in termini ecologici (di CO₂) che economici, viene proposto un modello bio-economico che tenga conto anche delle variazioni delle popolazioni nel tempo, in contrasto con precedenti modelli basati solo sui servizi economici derivati dalle balene.

Infine, si suggeriscono ricerche per affrontare le principali incognite (ad esempio, la biodisponibilità dei nutrienti derivati dalle balene per il fitoplancton, la variabilità specifica in relazione a specie e regioni); e l'inserimento della conservazione delle balene nelle iniziative di protezione del blue carbon ecosystem.