

RELAZIONE PROGETTO ANTARTIDE

III SCIENTIFICO

Scuola Italiana di Montevideo

2024



INDICE DEI CONTENUTI

1. Introduzione
2. Dati
3. Analisi dei dati
 - a. Approssimazione lungo la traiettoria circolare: parallelo con latitudine media.***
 - b. Informazioni aggiuntive per capire meglio il movimento della boa: distribuzione delle velocità, distanza totale percorsa***
 - c. Studio del movimento eliminando il drift (con intelligenza artificiale)***
4. Discussione della tecnica di analisi con l'intelligenza artificiale
5. Conclusione



INTRODUZIONE

Lo scopo del progetto è osservare e analizzare la traiettoria della boa, il “Drifter”, nel suo percorso nella Corrente Circumpolare Antartica (CCA). Tuttavia, si sono presentati alcuni problemi tecnici durante l’elaborazione, poiché il drifter che ci è stato assegnato (Drifter 7295) ha rilevato pochi ed imprecisi dati di temperatura. Per questo motivo ci siamo concentrati sull’analisi della traiettoria compiuta dal drifter nel periodo della sua attività.

Sulla base delle informazioni disponibili, abbiamo stimato lo spostamento, la distanza percorsa, e la velocità. I risultati sono stati ottenuti tramite un’analisi dei dati (*consultabili nella sezione “**DATI**”*) e rappresentati visivamente tramite grafici per evidenziare i trend e le variazioni.

Abbiamo approssimato la traiettoria come circolare, calcolato la velocità di deriva, e analizzato in dettaglio il movimento. Infine, abbiamo eliminato la componente della deriva verso Est, analizzando il movimento residuo come un “random walk”.



DATI

I dati che stiamo utilizzando vengono dal sito del progetto Argo dell'Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale:

1. https://argo.ogs.it/adopt/drifter.php?id_project=132

Drifter

Dati del drifter

Modello	WMO	Argos/imei	Data di Deploy	Lat	Lon	Data Ultima Posizione	Lat	Lon	Stato	Links
SVP	5501757	300534061495970	09-Jan-2023 12:00	-62.05	171.16	30-Aug-2024 13:00	-59.67	-92.09	D	edit list html

Informazioni Scuola
Indirizzo: Uruguay
Link: <https://scuolaitaliana.edu.uv/u/>

Info sul Progetto
Adottato dalla Classe: Scuola Italiana di Montevideo - Liceo
Responsabile: Carlo De Toni
drifter adottato dal: 01-Jan-1970 al: 01-Jan-1970

2. https://argo.ogs.it/api/api.php?key=ogs112211&sqr=SELECT%20tbl_drifter.id_drifter,%20tbl_drifter.serial_number,%20tbl_drifter ril.tempo,%20tbl_drifter ril.lat,%20tbl_drifter ril.lon,%20tbl_drifter ril.sst%20%20FROM%20tbl_drifter%20INNER%20JOIN%20tbl_drifter ril%20ON%20tbl_drifter.id_drifter%20=%20tbl_drifter ril.id_drifter%20WHERE%20tbl_drifter.id_drifter=7295%20ORDER%20BY%20tbl_drifter ril.tempo%20DESC;

Esempio di come si presentano i dati:

id_drifter	serial_number	tempo	lat	lon	sst
7295		2024-08-30 13:00:00	-59.66731	-92.09023	
7295		2024-08-30 11:00:00	-59.66485	-92.08743	
7295		2024-08-30 10:00:00	-59.66614	-92.08898	
7295		2024-08-30 08:04:00	-59.66802	-92.09008	
7295		2024-08-30 05:00:00	-59.67305	-92.08957	
7295		2024-08-30 04:01:00	-59.67474	-92.08869	
7295		2024-08-30 03:01:00	-59.67557	-92.0894	
7295		2024-08-30 02:00:00	-59.678	-92.08984	
7295		2024-08-30 01:00:00	-59.6805	-92.08834	
7295		2024-08-30 00:02:00	-59.68247	-92.08764	
7295		2024-08-29 21:04:00	-59.69074	-92.08537	
7295		2024-08-29 19:04:00	-59.69151	-92.07374	
7295		2024-08-29 18:04:00	-59.69732	-92.07357	
7295		2024-08-29 17:04:00	-59.70178	-92.07425	

3. LINK KML PER LA NOSTRA BOA: [Link to kml generator](#)



L'immagine mostra la traiettoria della nostra boa in Google Earth.

4. Fogli di google - In questo Foglio

Per una parte dell'analisi dei dati ci siamo serviti dei Fogli di Google. Questo è il link al documento utilizzato:

[+ ANTARTIDE DATI](#)

5. Errori

Un aspetto importante riguardo ai dati è che questi non sono forniti di errore, quindi in tutta l'analisi non abbiamo considerato gli errori sulle misure.



DATI DI TEMPERATURA

Dai dati ricavati dalla boa antartica della SIM, abbiamo confrontato altre 9 boe, 8 anche antartiche e 1 mediterranea. A partire da queste informazioni siamo riusciti a calcolare la temperatura media di questo drifter e abbiamo concluso che alcune di queste boe non sono molto affidabili.

TEMPERATURA MEDIA	
Codice boa	Temperatura media
7526(AAD)	0,7976190476
7492(AAD)	4,846153846
7489(AAD)	2,0444444444
7490(AAD)	-0,4444444444
7491(AAD)	-0,3529411765
7494(AAD)	0,3157894737
7498(AAD)	0,3636363636
7499(AAD)	0,3157894737
7336 (mediterranean)	20,79166667
7295(SIM)	25

QUANTITÀ DI INFORMAZIONI REGISTRATE	
Codice boa	Registrazioni
7526(AAD)	9692
7492(AAD)	6261
7489(AAD)	6084
7490(AAD)	3132
7491(AAD)	3222
7494(AAD)	2781
7498(AAD)	3156
7499(AAD)	2781
7336 (mediterranean)	10008
7295(SIM)	37

Siccome i dati ricevuti dalle boe 7526 (AAD), 7490 (AAD), 7491 (AAD), 7494 (AAD), 7498 (AAD) e 7499 (AAD) sono quelli più simili tra loro e ragionevoli, considerando le condizioni climatiche delle zone antartiche, possiamo dedurre che queste sono quelle che funzionano correttamente. Quella della SIM (7295), invece, attraverso 37 registrazioni di dati, ha ottenuto una media di 25°C. Una media evidentemente assurda considerando l'area oceanica antartica, dove si trova, e la media della boa mediterranea (7336) che, attraverso 10008 registrazioni di dati, ha registrato una temperatura media di 20,7°C. Questa media è più veritiera considerando l'area percorsa.



PERCORSO E SPOSTAMENTO TOTALE

Come prima analisi abbiamo approssimato la traiettoria come un moto circolare uniforme lungo un parallelo medio.

Come lo abbiamo fatto?

Abbiamo dei dati di tempo, latitudine e longitudine. In totale, abbiamo 13312 dati ricavati dal drifter. Il percorso, a seconda delle registrazioni, è iniziato il **9/01/2023 12:00:00 (-62,05000; 171,16000)** e finito il **30/08/2024 13:00:00 (-59,66731 -92,09023)**.

Con i dati di posizione e tempo abbiamo calcolato lo spostamento totale della boa lungo un'approssimazione a una circonferenza, attraverso la seguente formula:

$$R \times \theta = l \rightarrow (r \times \sin(90^\circ + \varphi) \times \Delta LONGITUDINE)$$

Questa formula dà la lunghezza di un arco di un parallelo tra due punti di cui si conoscono la latitudine e longitudine.

θ : Angolo dello spostamento (si calcola con $\Delta LONGITUDINE$) e deve essere calcolata in radianti

r : Raggio della terra = 6371 km.

R : Lo calcoliamo con il raggio della terra per il seno dell'angolo.

φ : latitudine media, trovata mediante la media nel foglio di calcolo dove si trovavano tutti i dati di latitudine

Il procedimento dei calcoli è stato il seguente:

$$r \times \sin(90^\circ + \varphi) \times |longitudine\ finale - longitudine\ iniziale + 2\pi|$$

Per farli abbiamo tenuto in considerazione che i valori della longitudine devono essere in radianti e dentro il valore assoluto, dato che il valore dello spostamento approssimato (l), non può essere negativo, è una lunghezza.

Inoltre, dobbiamo aggiungere 360° per tenere conto dell'attraversamento della linea di cambiamento di data.

Dunque:

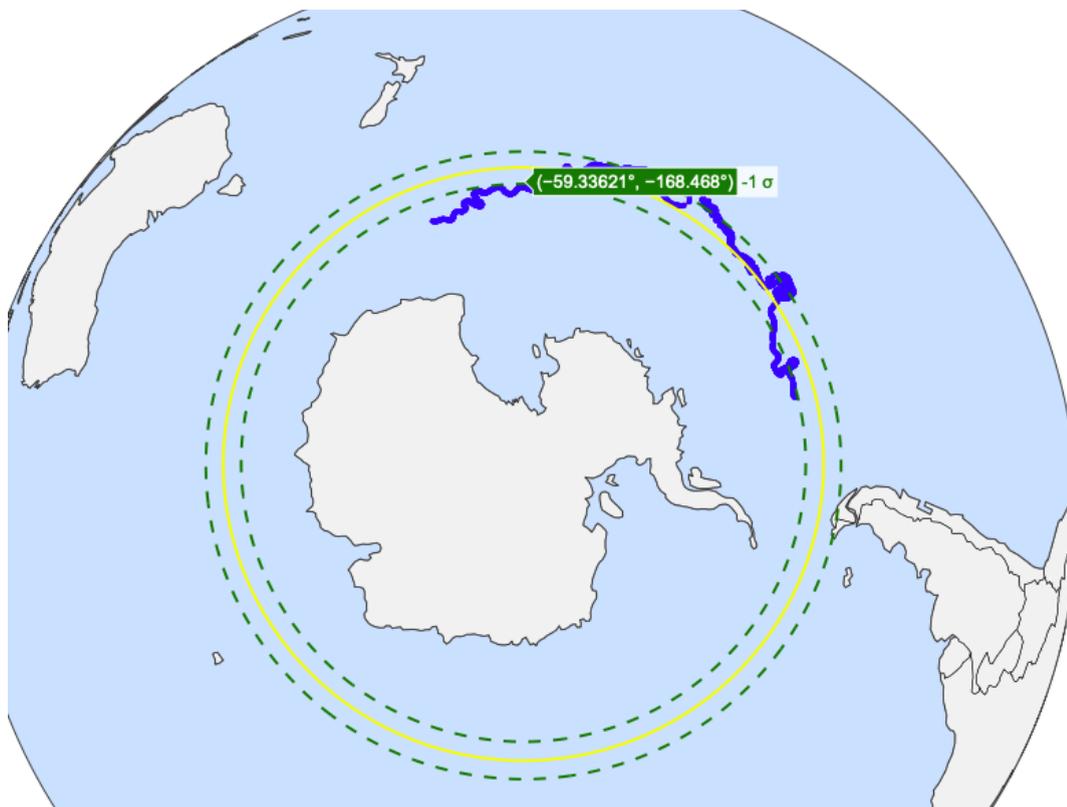
$$l = 6371km \times \sin(90^\circ - 57,14^\circ) \times (| - 1,6073rad - 2.9873rad + 2\pi |)$$

$$l = 6371km \times \sin(32,86^\circ) \times (| - 4,5946rad + 2\pi |)$$

$$l = 6371km \times (0,5426) \times (1,689rad)$$

$$l = 5846km$$

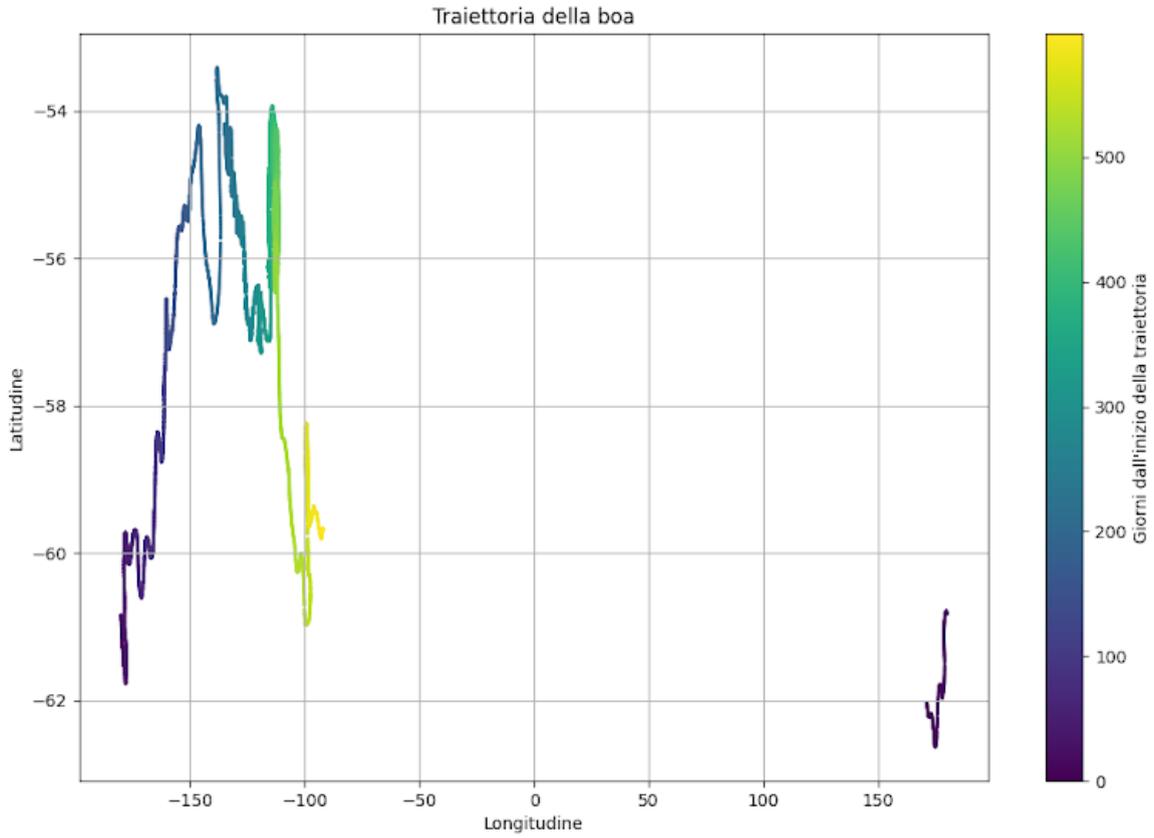
Successivamente, mediante un codice Python è stata rappresentata la traiettoria, approssimandosi alla circonferenza **(GRAFICO a1)**.



(GRAFICO a1)



Abbiamo inoltre rappresentato lo spostamento in un piano
longitudine-latitudine **(GRAFICO α2)**.



(GRAFICO α2)



VELOCITÀ MEDIA

Dai calcoli precedenti, dove si calcola la distanza percorsa se lo spostamento viene approssimato a una circonferenza lungo un parallelo, si può calcolare la velocità media con la quale il drifter si è spostato. È importante chiarire che si approssima a un parallelo perché la distanza tra due punti nella superficie della Terra è diversa, dovuto alla curvatura terrestre.

Inoltre alla longitudine e la latitudine, il drifter raccoglieva dati di tempo, quindi si può usare la seguente formula:

$$v_m = \frac{l}{\Delta t}$$

l : valore che si è calcolato prima, lo spostamento approssimato

Δt : dai dati si sa che l'intervallo di tempo nel quale il drifter ha funzionato è 599 giorni, che corrispondono a 14376 ore.

Dunque:

$$599 \text{ giorni} \times 24 \text{ h} = 14376 \text{ h}$$

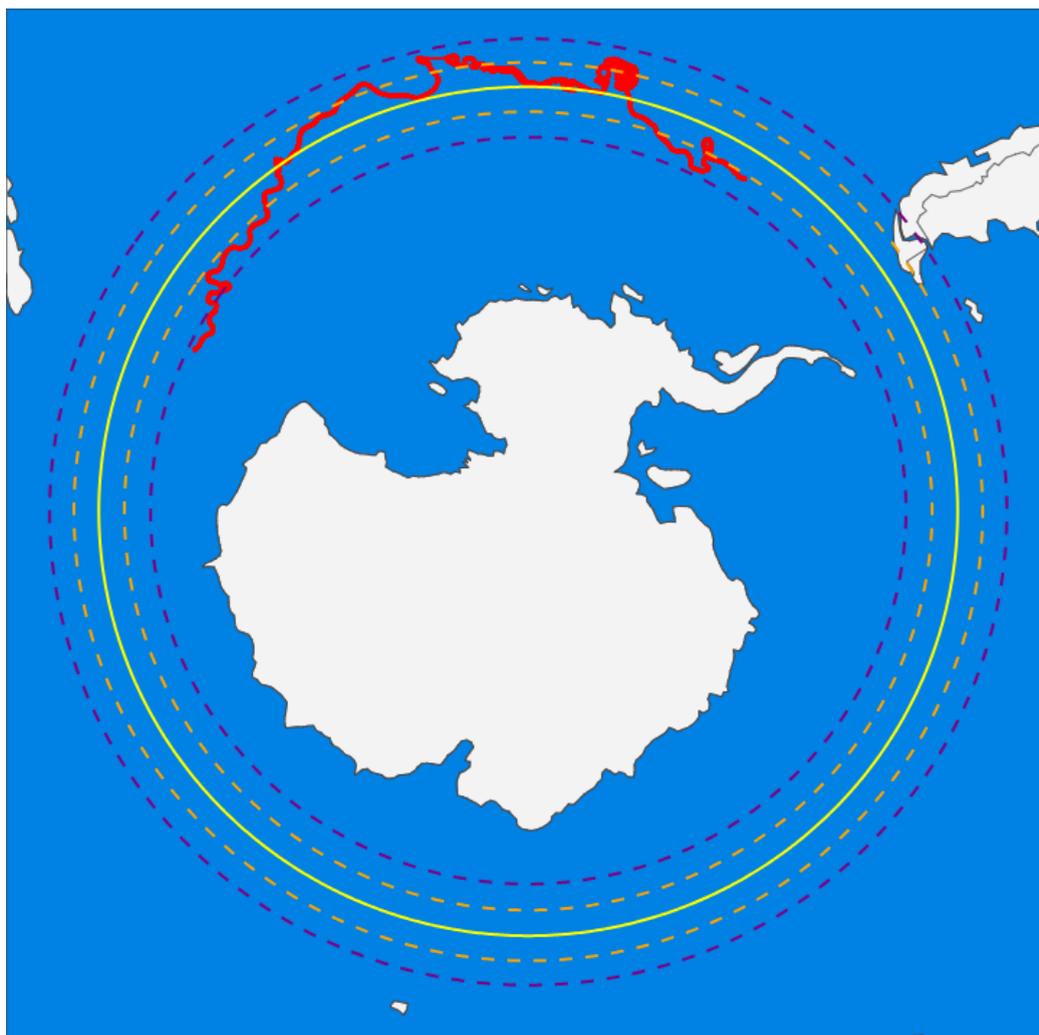
→ Realmente i giorni sono 598 completi, ma del primo e dell'ultimo giorno ci sono dati soltanto di mezzogiorno. Quindi, per questo motivo, se si sommano le due metà ai giorni interi, si ottengono 599 giorni.

$$v_m = \frac{5846 \text{ km}}{14376 \text{ h}} \quad v_m = 0,4066 \text{ km/h} = 9,76 \text{ km/giorno}$$

Abbiamo approssimato la traiettoria con un movimento circolare lungo un parallelo per stimare la velocità media della corrente. Per fare questo abbiamo calcolato la latitudine media (**GRAFICO a3**), poi abbiamo calcolato la distanza tra il punto finale e il punto iniziale su un parallelo (la distanza

minima tra due punti sulla superficie terrestre è diversa, ma noi supponiamo che la boa si muova lungo un parallelo).

Possiamo rappresentare la circonferenza insieme alla traiettoria in un'unica mappa mostrando il margine di errore sulla circonferenza.



(GRAFICO a3)

L'immagine è un esempio di come dovrebbe vedersi. La linea gialla rappresenta la latitudine media, la linea rossa rappresenta la traiettoria reale che il drifter ha compiuto. Le linee tratteggiate arancione rappresentano $\pm 1\sigma$ e le linee tratteggiate viola $\pm 2\sigma$. Queste ultime rappresentano la banda di errore esistente, che corrisponde alla deviazione della traiettoria. La gran maggioranza dei dati sono dentro questi margini, quindi ha senso approssimare il movimento a una circonferenza.

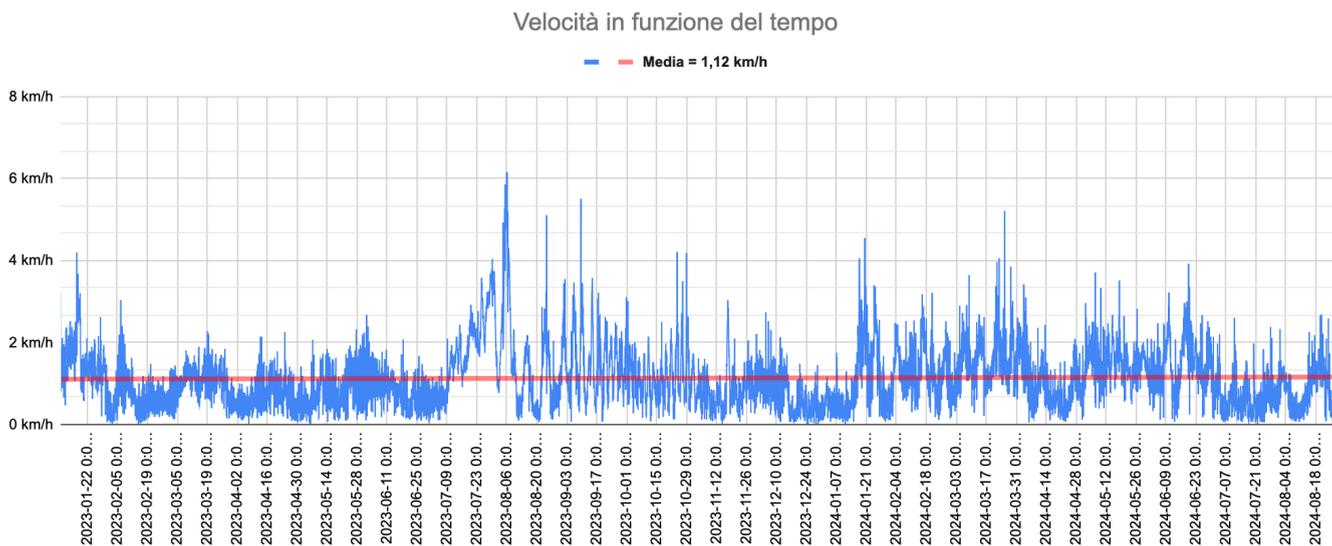


La colonna “Distanza (km)” **ANTARTIDE DATI** mostra la distanza tra due punti consecutivi, che, per calcolarla, abbiamo usato la formula *haversine* per la distanza tra due punti su una superficie sferica. Poi, se si sommano tutte le distanze, otteniamo la distanza totale percorsa, che è 16000km. Se confrontiamo questi dati con l'approssimazione alla circonferenza, i risultati hanno senso.

Poi nella colonna “Velocità (km/h)” **ANTARTIDE DATI** abbiamo calcolato le velocità in ogni spostamento. La velocità media tra i due punti consecutivi è stata calcolata facendo lo spostamento tra i due punti consecutivi diviso l'intervallo di tempo, cioè:

$$v_m = \frac{l}{\Delta t}$$

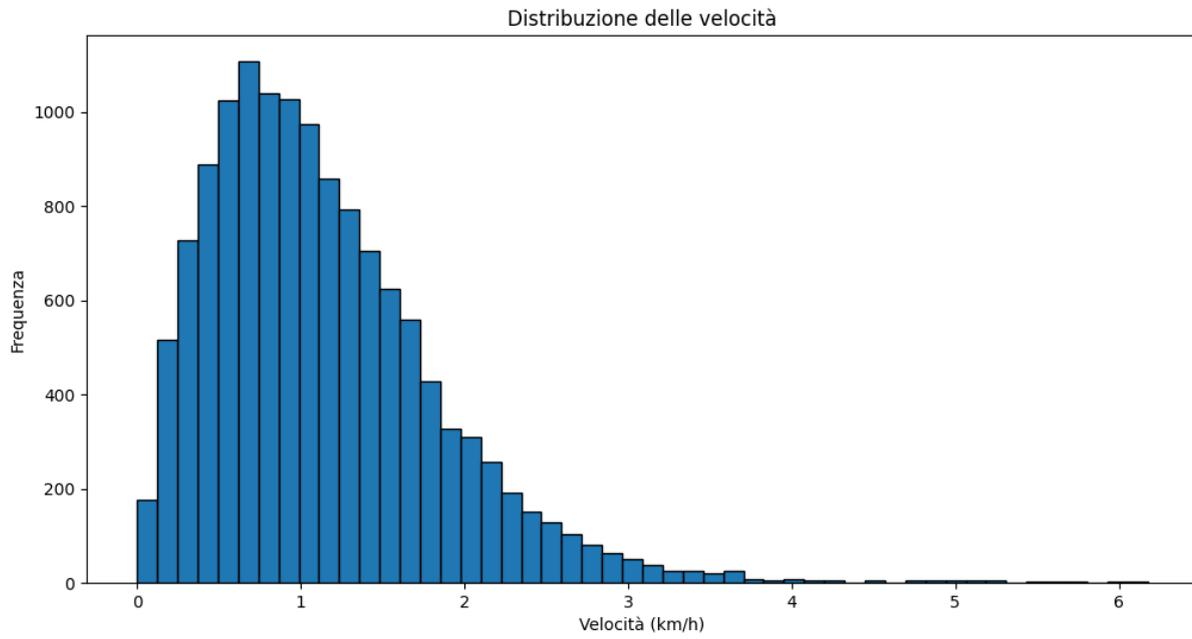
Infine, il procedimento si ripete per tutti i punti, e in base a tutti i dati di velocità medie ricavate facciamo il grafico **(GRAFICO α4)**.



(GRAFICO α4)



Il seguente grafico mostra invece la distribuzione delle velocità **(GRAFICO a5)**.



(GRAFICO a5)



RANDOM WALK

Il movimento conosciuto come *random walk* consiste in un corpo che si sposta in modo casuale dove non c'è correlazione tra le direzioni di due passi consecutivi.

R_n corrisponde al vettore dal punto di origine dello spostamento fino al punto finale, dopo un numero n di passi.

L è il vettore della distanza tra due passi consecutivi, la quale è sempre uguale.

$$R_n = R_{n-1} + L$$

Il random walk può essere rappresentato dall'equazione:

$$R_n^{rms} = L\sqrt{n}$$

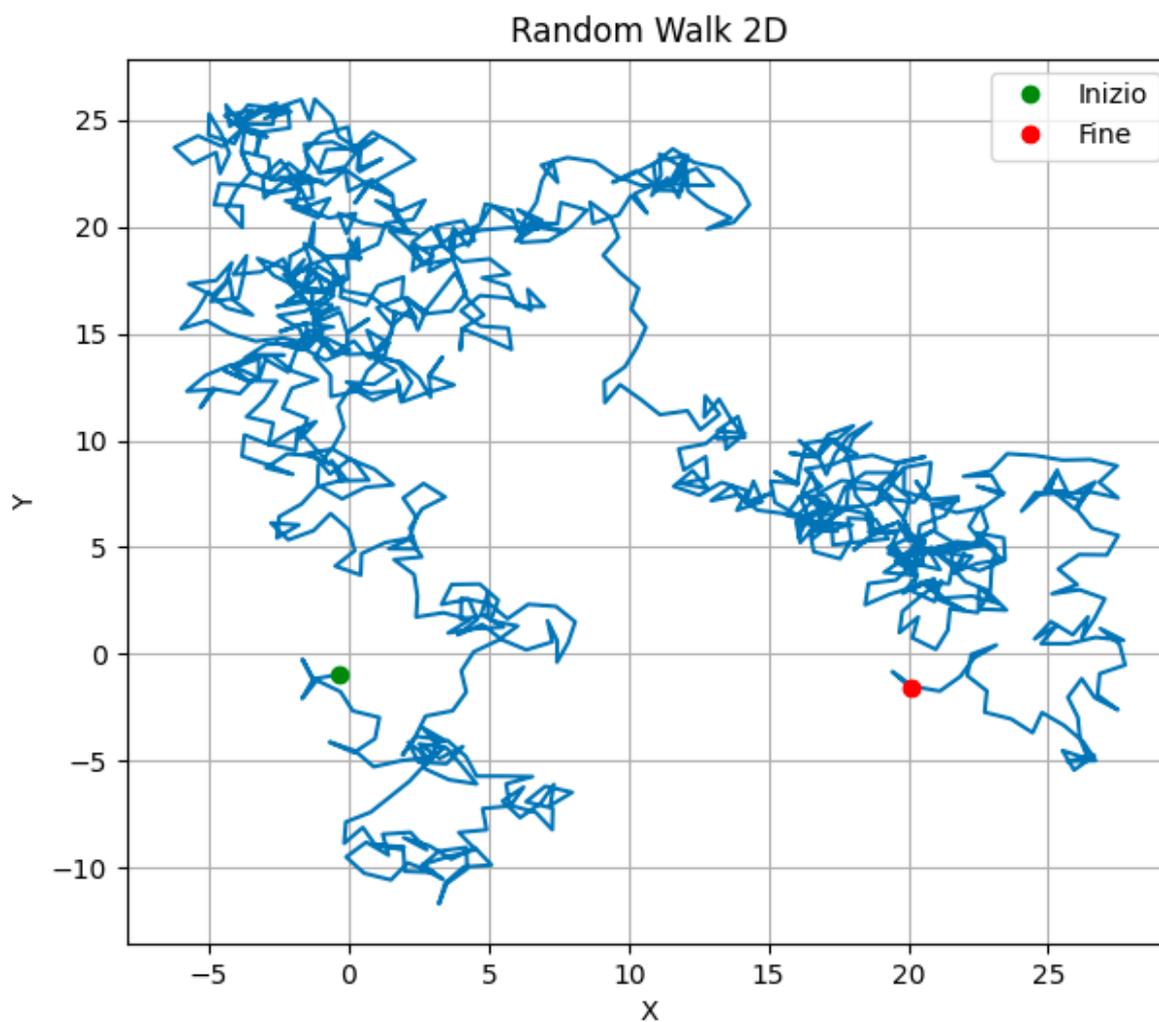
in cui si vede che lo spostamento quadratico medio (rms) è proporzionale alla radice quadrata del numero di passi, che possiamo pensare come il tempo.

Il random walk è caratteristico del moto in alcuni liquidi, ed ha una relazione con il flusso turbolento. Dopo aver fatto una ricerca, sappiamo che la corrente circumpolare antartica è un fluido che presenta turbolenza.

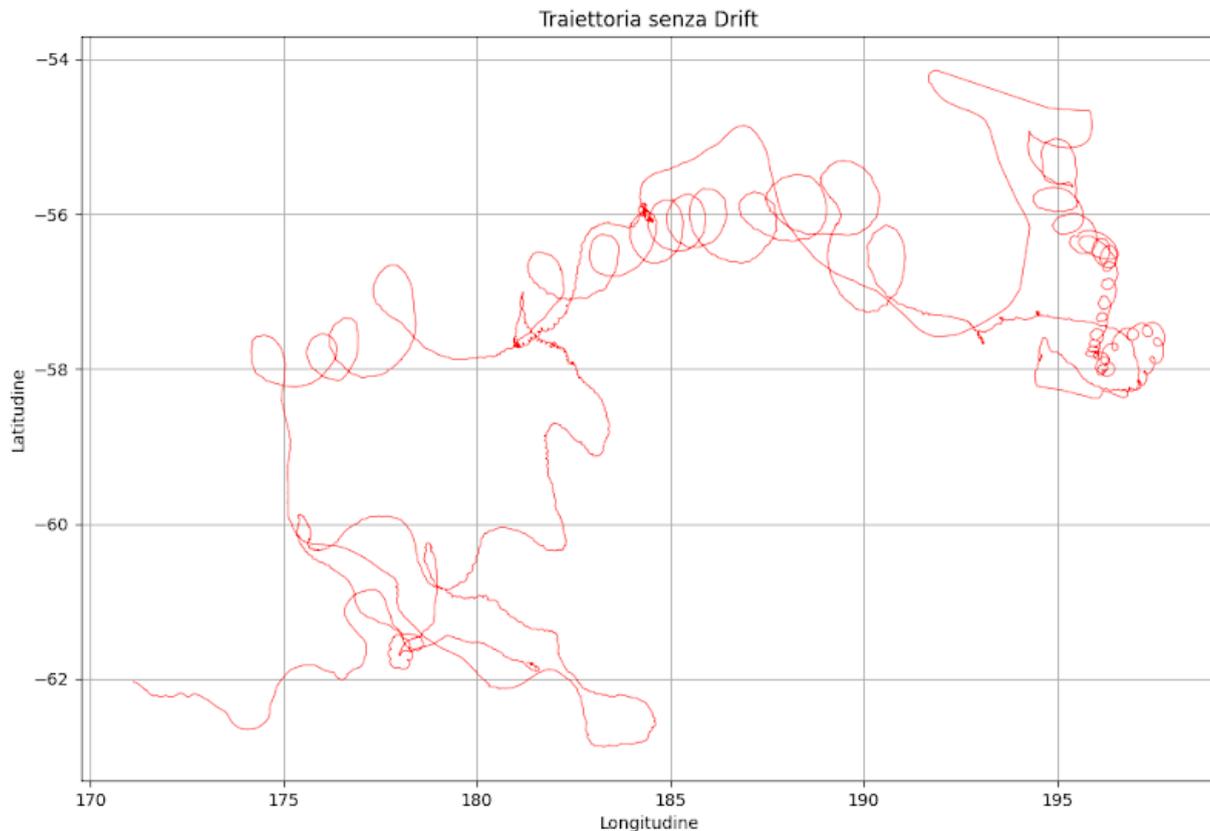
Questo fatto ci ha dato l'idea di analizzare la traiettoria del nostro drifter e discutere se può essere considerata come un random walk. Bisogna chiarire che per fare questo, per forza dobbiamo togliere lo spostamento verso est provocato dalla CCA. Visto che questa corrente ha un'attività predeterminata verso est, trascinerrebbe il drifter verso questa direzione e il movimento non sarebbe più aleatorio.

Per realizzare l'analisi abbiamo chiesto all'intelligenza artificiale di analizzare i dati del drifter secondo l'ipotesi del random walk.

Quella che si vede qui (**GRAFICO a6**) è una simulazione di un random walk fatta dall'intelligenza artificiale. Ci serve per avere un'idea e confrontare il grafico fatto dopo in base al movimento del drifter.



Successivamente abbiamo chiesto all'AI di fare un codice Python che serva per costruire un grafico con i dati presi dal drifter, analizzandoli secondo l'ipotesi di random walk. Il grafico ottenuto è questo (GRAFICO a7):



(GRAFICO a7)

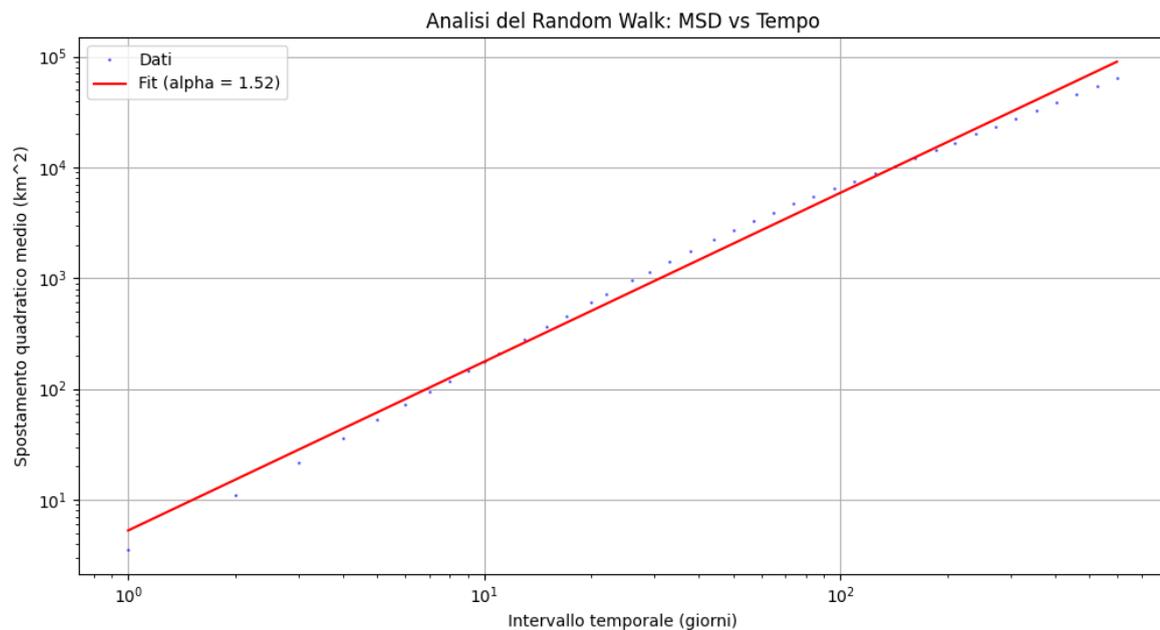
Confrontando il grafico con i dati veri (2) e la simulazione (1) ci troviamo davanti a due grafici abbastanza simili. Comunque, questo non è ancora sufficiente per concludere che la traiettoria del nostro drifter, senza considerare il *drift* verso est, possa essere considerata come un random walk.

Per poter determinare se era possibile sostenere quell'affermazione e usarla come conclusione, è stato ottenuto un grafico dello spostamento quadratico medio in funzione del tempo in giorni **(GRAFICO a8)**.

Il grafico risultato è quello a continuazione:



Dall'analisi sappiamo che il coefficiente risultante è 1,52, se il moto fosse un random walk, il coefficiente dovrebbe essere esattamente 1,00. Il coefficiente trovato ($\alpha = 1,52$) è l'esponente che ha il tempo se si considera lo spostamento al quadrato. Se l'esponente è 1 significa che lo spostamento è proporzionale alla radice quadrata del tempo, mentre se l'esponente è diverso da 1, come succede nel nostro caso, non è più la radice quadrata.



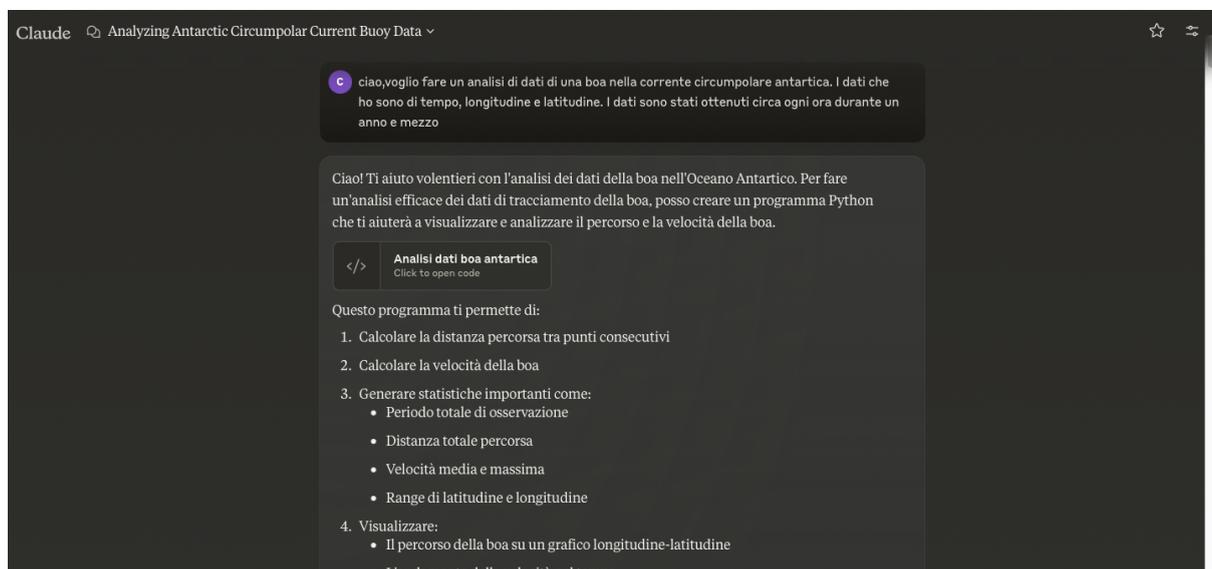
(GRAFICO a8)

Per chiarire perché la pendenza è l'esponente si deve pensare al fatto che il grafico è in scala logaritmica. In altre parole, sull'asse y c'è il logaritmo dello spostamento quadratico medio, mentre sull'asse x c'è il logaritmo del tempo. Per le proprietà dei logaritmi l'esponente si mette moltiplicando all'inizio e diventa quindi la pendenza della retta.

Se si fa un paragone tra il risultato ottenuto e quello teorico, la differenza non è molta, ma c'è una differenza significativa. Non essendo uguale alla radice quadrata, il random walk non descrive il movimento del drifter.

TECNICA DI ANALISI CON L' AI

Le quattro immagini seguenti mostrano parte del nostro processo usando l'intelligenza artificiale per l'analisi dei dati. Dato che è necessario l'uso di diversi script che non sappiamo fare, utilizziamo "Claude", che li fa in modo chiaro e preciso. Claude fa diversi script in Python che servono ad illustrare diversi rapporti dei grafici, in modo che sia chiaro, semplice e preciso interpretare i dati che abbiamo usato in questa analisi.



Claude Analyzing Antarctic Circumpolar Current Buoy Data

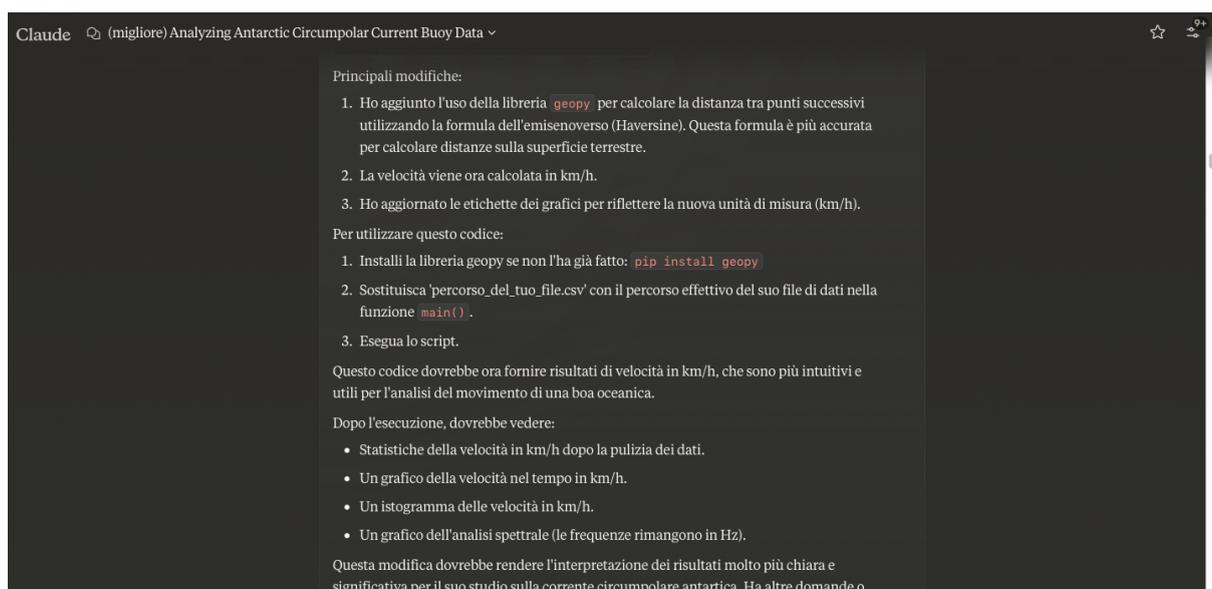
Ciao, voglio fare un'analisi di dati di una boa nella corrente circumpolare antartica. I dati che ho sono di tempo, longitudine e latitudine. I dati sono stati ottenuti circa ogni ora durante un anno e mezzo

Ciao! Ti aiuto volentieri con l'analisi dei dati della boa nell'Oceano Antartico. Per fare un'analisi efficace dei dati di tracciamento della boa, posso creare un programma Python che ti aiuterà a visualizzare e analizzare il percorso e la velocità della boa.

`</>` **Analisi dati boa antartica**
Click to open code

Questo programma ti permette di:

1. Calcolare la distanza percorsa tra punti consecutivi
2. Calcolare la velocità della boa
3. Generare statistiche importanti come:
 - Periodo totale di osservazione
 - Distanza totale percorsa
 - Velocità media e massima
 - Range di latitudine e longitudine
4. Visualizzare:
 - Il percorso della boa su un grafico longitudine-latitudine
 - L'andamento della velocità nel tempo



Claude (migliore) Analyzing Antarctic Circumpolar Current Buoy Data

Principali modifiche:

1. Ho aggiunto l'uso della libreria `geopy` per calcolare la distanza tra punti successivi utilizzando la formula dell'emisfero (Haversine). Questa formula è più accurata per calcolare distanze sulla superficie terrestre.
2. La velocità viene ora calcolata in km/h.
3. Ho aggiornato le etichette dei grafici per riflettere la nuova unità di misura (km/h).

Per utilizzare questo codice:

1. Installa la libreria `geopy` se non l'ha già fatto: `pip install geopy`
2. Sostituisci `'percorso_del_tuo_file.csv'` con il percorso effettivo del tuo file di dati nella funzione `main()`.
3. Esegui lo script.

Questo codice dovrebbe ora fornire risultati di velocità in km/h, che sono più intuitivi e utili per l'analisi del movimento di una boa oceanica.

Dopo l'esecuzione, dovrebbe vedere:

- Statistiche della velocità in km/h dopo la pulizia dei dati.
- Un grafico della velocità nel tempo in km/h.
- Un istogramma delle velocità in km/h.
- Un grafico dell'analisi spettrale (le frequenze rimangono in Hz).

Questa modifica dovrebbe rendere l'interpretazione dei risultati molto più chiara e significativa per il tuo studio sulla corrente circumpolare antartica. Ha altre domande o



Claude (migliore) Analyzing Antarctic Circumpolar Current Buoy Data

C In questo caso ha senso analizzare il movimento della boa come se fosse un random walk con drift dato dalla velocità verso est calcolata in precedenza?

La sua intuizione è molto interessante e pertinente. Analizzare il movimento della boa come un random walk con drift potrebbe effettivamente fornire ulteriori informazioni sulla natura del flusso nella Corrente Circumpolare Antartica (ACC). Questo approccio può aiutarci a separare il movimento generale (drift) dalle fluttuazioni casuali (turbolenza).

Vediamo come potremmo implementare questa analisi:

`</>` **Analisi dati boa antartica (con random walk analysis)**
Click to open code

Questa nuova funzione `analyze_random_walk` fa diverse cose:

1. Calcola lo spostamento cumulativo lungo la longitudine, tenendo conto della latitudine media.
2. Converte questo spostamento in chilometri.
3. Esegue un'analisi di regressione lineare per stimare il drift (velocità media).
4. Calcola le deviazioni dal drift stimato.
5. Stima un coefficiente di diffusione basato su queste deviazioni.
6. Visualizza i risultati e confronta la velocità stimata con quella calcolata in precedenza.

Claude (migliore) Analyzing Antarctic Circumpolar Current Buoy Data

C Puoi sistemare questi grafici in modo che ci sia continuità nella linea di cambio data? Tipo iniziando in 170 e terminando in -90 di longitudine. Forse c'è un problema con il calcolo di alpha?

Certamente, capisco la tua preoccupazione riguardo alla continuità nella linea di cambio data e al calcolo di alpha. Modifichiamo il codice per gestire meglio la visualizzazione della traiettoria attraverso la linea di cambio data e riesaminiamo il calcolo di alpha.

Ecco una versione aggiornata del codice:

`</>` **Analisi dati boa antartica (correzione linea cambio data e alpha)**
Click to open code

Le principali modifiche sono:

1. Gestione della linea di cambio data:
 - Ho aggiunto una funzione `adjust_longitudes()` che aggiusta le longitudini per garantire la continuità visiva.
 - Le longitudini vengono ora visualizzate in un intervallo continuo (ad esempio, da 170 a 270 invece di saltare da 180 a -180).
2. Miglioramento del calcolo di alpha:
 - Ho modificato il range di dati utilizzato per il fit di alpha, escludendo i primi punti (che potrebbero essere influenzati da effetti a breve termine) e utilizzando solo la prima metà dei dati.
 - Questo dovrebbe fornire una stima più robusta di alpha.



CONCLUSIONE

Questo progetto ci ha dato l'opportunità di esplorare il movimento della boa nella Corrente Circumpolare Antartica in modi che non ci aspettavamo all'inizio. Lavorando con modelli matematici, formule geografiche e strumenti di intelligenza artificiale, siamo riusciti a calcolare la velocità media del drift verso Est. Approfondendo questi calcoli, abbiamo imparato a utilizzare la formula di *haversine* per capire la distanza tra i vari punti della traiettoria, stimando che la boa abbia percorso circa 16.000 km.

La parte più interessante è stata usare l'intelligenza artificiale per isolare i movimenti più casuali, che abbiamo modellizzato con il *random walk*, e che sono legati alla turbolenza naturale della corrente. È stato sorprendente vedere come l'AI possa "ripulire" i dati, mostrandoci il movimento reale e complesso della boa nella CCA, confermando molto di ciò che si sa su questo fenomeno.

In conclusione, questo progetto non solo ci ha insegnato concetti scientifici e metodi di calcolo, ma ci ha anche fatto apprezzare la potenza della tecnologia quando applicata alla scienza. Abbiamo visto in prima persona quanto possa essere complesso e affascinante capire meglio il nostro pianeta e come la combinazione di dati e intuizioni scientifiche ci possa avvicinare alla natura in modi nuovi e inaspettati.