

Diario degli Esperimenti TIDES

Filippo Di Ludovico

January 7, 2026

1 Introduzione

Questo documento raccoglie i risultati delle prove di sensibilità effettuate sul modello NEMO per il caso TIDES (propagazione Onda di Kelvin in Adriatico idealizzato). L'obiettivo è analizzare la risposta del modello variando parametri come l'ampiezza della perturbazione iniziale.

2 Experiment A: Baseline (Riferimento)

Obiettivo: Stabilire una simulazione stabile.

2.1 Configurazione

- **Configurazione:** $A_0 = 1.0\text{m}$, Batimetria piatta 100m.
- **Estrazione:** Il percorso di estrazione per il diagramma di Hovmöller è mostrato in Figura ??.

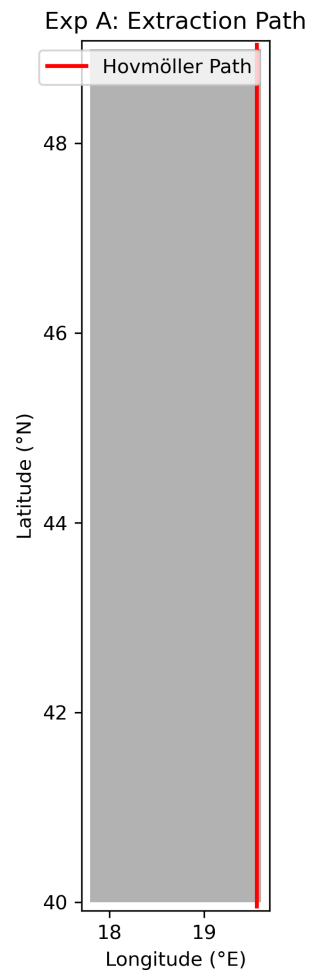


Figure 1: Percorso di estrazione (linea rossa) per il diagramma di Hovmöller (Exp A).

2.2 Risultati

- **Risultato:** Simulazione stabile con timestep 60s.

3 Experiment B: Amplitude Sensitivity (Linearity Check)

Obiettivo: Verificare la linearità della risposta del modello (SSH Output vs Input) e la dipendenza della velocità di fase dall'ampiezza.

3.1 Configurazione

Sono state eseguite tre run con perturbazione Gaussiana ($R = 20$ km) centrata a 19.0°E , 40.5°N :

- **AMP0.1:** $A_0 = 0.1$ m (Regime Lineare)
- **AMP0.5:** $A_0 = 0.5$ m
- **AMP1.0:** $A_0 = 1.0$ m (Regime Alta Ampiezza)

3.2 Analisi dei Risultati

3.2.1 1. Propagazione Spaziale

L'onda generata si propaga verso Nord lungo la costa orientale, come previsto per un'onda di Kelvin nell'emisfero Nord. Viene riflessa alla testata del bacino (Nord) e scende lungo la costa Ovest. La Figura ?? mostra l'evoluzione temporale dell'SSH.

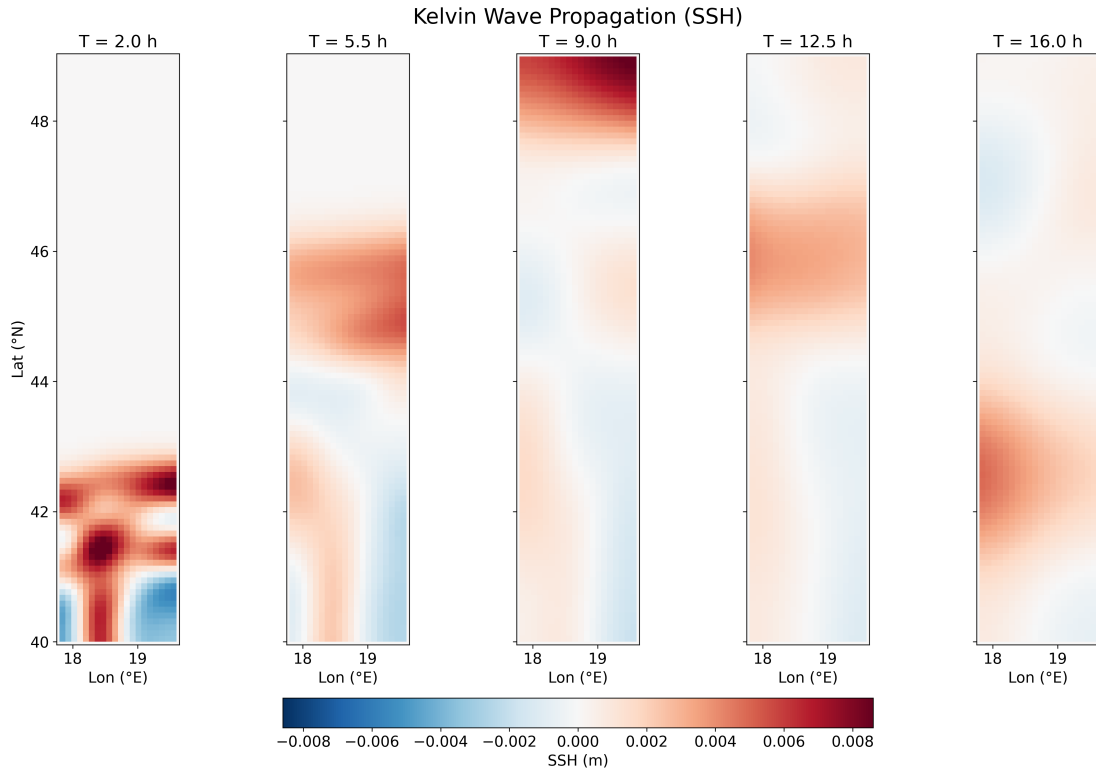


Figure 2: Snapshots dell'elevazione superficiale (SSH) a intervalli di 4 ore. L'onda viaggia in senso antiorario.

3.2.2 2. Verifica della Linearità

Abbiamo confrontato le serie temporali dell'SSH registrate a Venezia (Nord del bacino), normalizzate per l'ampiezza iniziale A_0 . Come mostrato in Figura ??, le curve normalizzate sono **perfettamente sovrapposte**. Questo indica che il modello risponde in modo lineare:

$$\frac{\text{SSH}(t)}{A_0} \approx \text{costante}$$

Non si osservano sfasamenti temporali significativi, suggerendo che la velocità di fase $c = \sqrt{gh}$ non è influenzata dall'ampiezza in questo regime di profondità (100m).

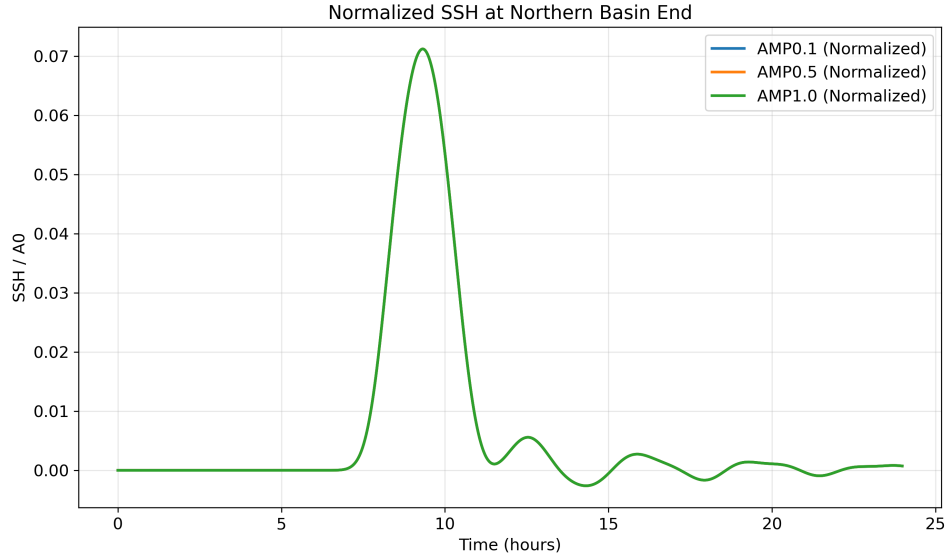


Figure 3: Confronto delle serie temporali normalizzate a Venezia. La sovrapposizione indica una risposta lineare.

Per quantificare eventuali effetti non lineari, abbiamo calcolato la mappa della varianza della differenza tra i run normalizzati (Figura ??). I valori sono trascurabili, confermando la linearità.

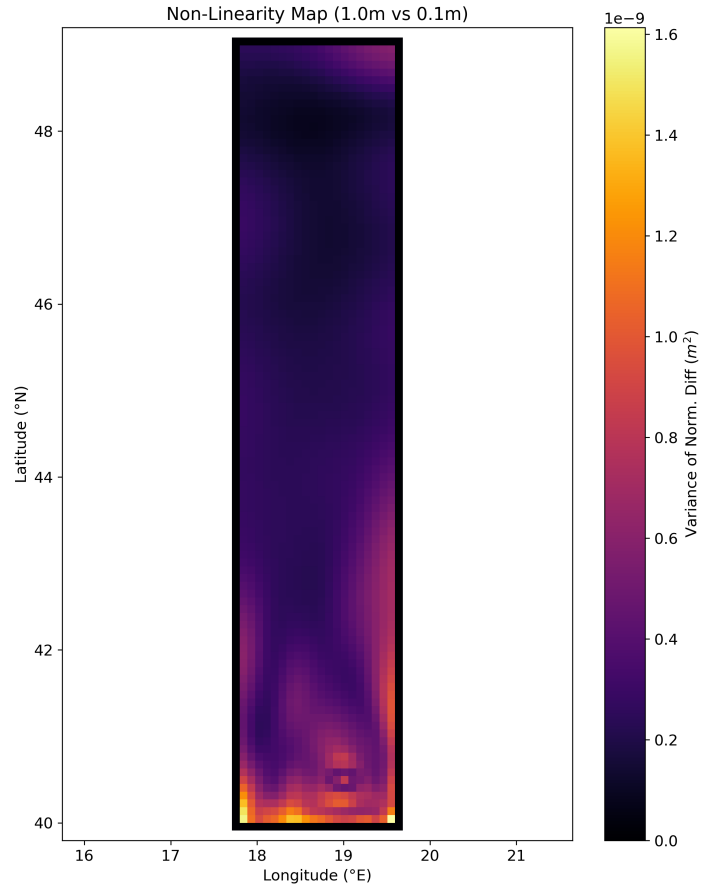


Figure 4: Mappa della non-linearità (Differenza tra run normalizzati).

3.2.3 3. Identificazione del Punto Anfidromico

Analizzando la varianza locale dell'SSH nel tempo (Figura ??), possiamo identificare i nodi dell'onda stazionaria (o quasi-stazionaria). Il minimo di varianza (zona blu scuro) indica la posizione del **Punto Anfidromico**. Per un bacino rettangolare piatto, ci aspettiamo che si trovi sull'asse centrale.

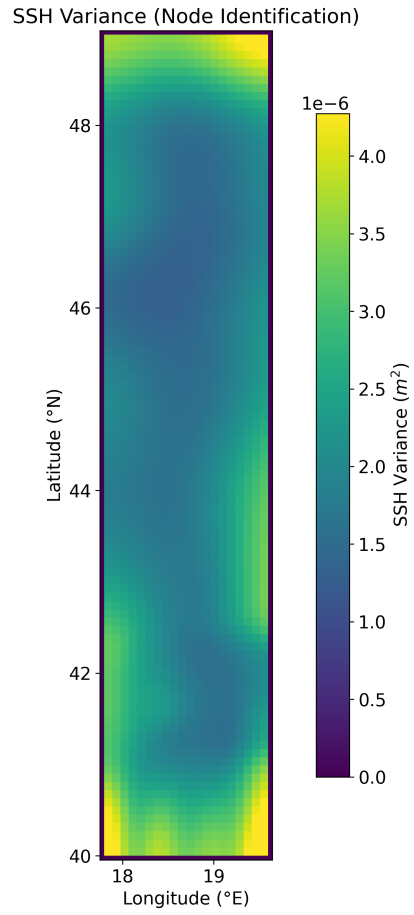


Figure 5: Mappa della varianza SSH. I minimi indicano potenziali punti anfidromici.

3.2.4 4. Diagramma di Hovmöller

Il diagramma di Hovmöller lungo la costa Est (Figura ??) conferma la propagazione uniforme verso Nord senza distorsioni significative del fronte d'onda.

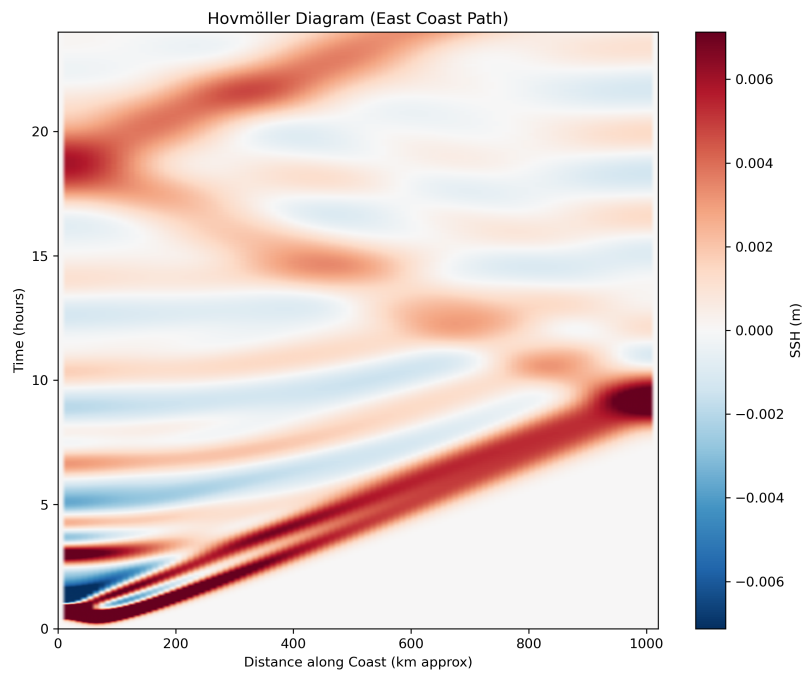


Figure 6: Diagramma di Hovmöller lungo la costa orientale.

3.3 Conclusioni

Il sistema si comporta in modo **lineare** per perturbazioni fino a 1.0 m su fondale di 100 m. La velocità di propagazione è costante e indipendente dall'ampiezza in questo range.

4 Experiment C: Bathymetry Sensitivity (Pendenza Adriatica)

Obiettivo: Analizzare la propagazione dell'onda di Kelvin su un fondale inclinato, simile a quello reale dell'Adriatico (da 1000m a Sud a 30m a Nord).

4.1 Configurazione

- **Batimetria:** Pendenza lineare $H(y)$ lungo l'asse Nord-Sud.

$$H(y) = 1000\text{m (Sud)} \rightarrow 30\text{m (Nord)}$$

La visualizzazione 3D del dominio è in Figura ??.

- **Perturbazione:** $A_0 = 0.1$ m (Regime Lineare) centrata a Sud-Est (Canale d'Otranto).
- **Parametri Numerici:** A causa della maggiore profondità ($H = 1000\text{m} \Rightarrow c \approx 100$ m/s), il timestep è stato ridotto a $\Delta t = 20$ s (invece di 60 s) per soddisfare la condizione CFL. Durata totale mantenuta a 24h ($N_{steps} = 4320$).

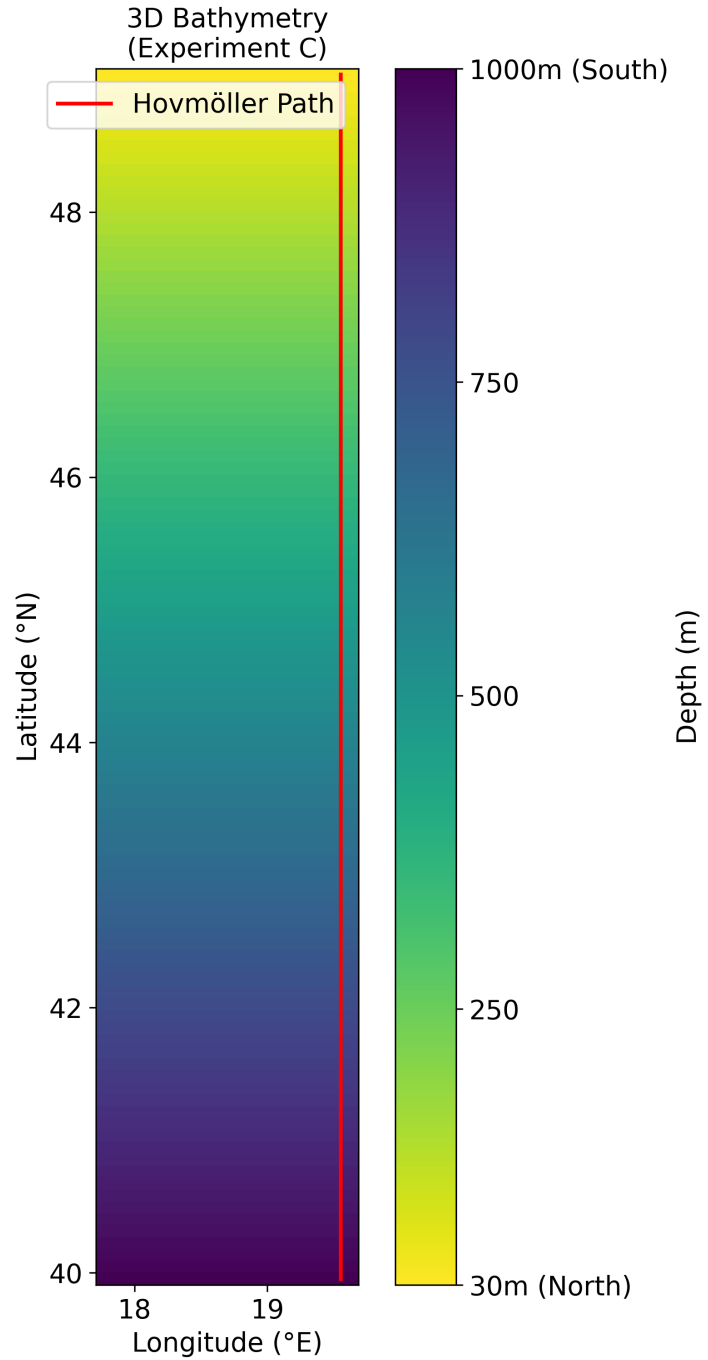


Figure 7: Batimetria 3D Esperimento C: Pendenza lineare lungo Y.

4.2 Analisi dei Risultati

4.2.1 1. Effetto Shoaling (Amplificazione)

La teoria prevede che l'ampiezza dell'onda aumenti quando la profondità diminuisce (Legge di Green: $A \propto H^{-1/4}$). Confrontando la serie temporale dell'SSH al Nord (Venezia) tra l'esperimento C (30m) e la Baseline (100m) in Figura ??, osserviamo chiaramente:

1. **Amplificazione:** Il picco dell'onda è significativamente più alto nel caso a profondità variabile.
2. **Rallentamento:** L'onda arriva più tardi rispetto al caso a 100m, poiché la velocità di fase $c = \sqrt{gh}$ diminuisce verso Nord.

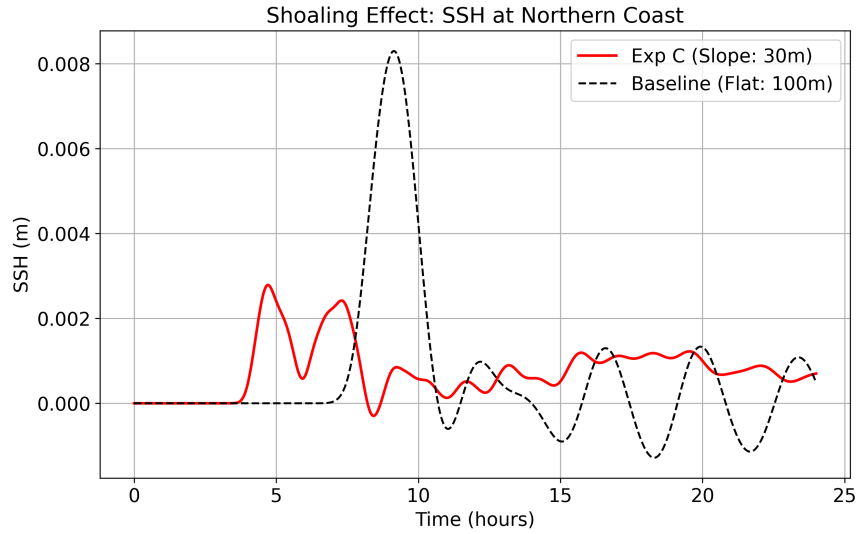


Figure 8: Confronto SSH a Nord: Exp C (Rosso, 30m) vs Baseline (Nero, 100m). Evidente lo shoaling e il ritardo di fase.

4.2.2 2. Diagramma di Hovmöller

Il diagramma spazio-tempo (Figura ??) mostra la curvatura del fronte d'onda. La pendenza della traccia indica la velocità (distanza/tempo). La pendenza diminuisce andando verso Nord (y crescente), confermando il rallentamento progressivo dell'onda.

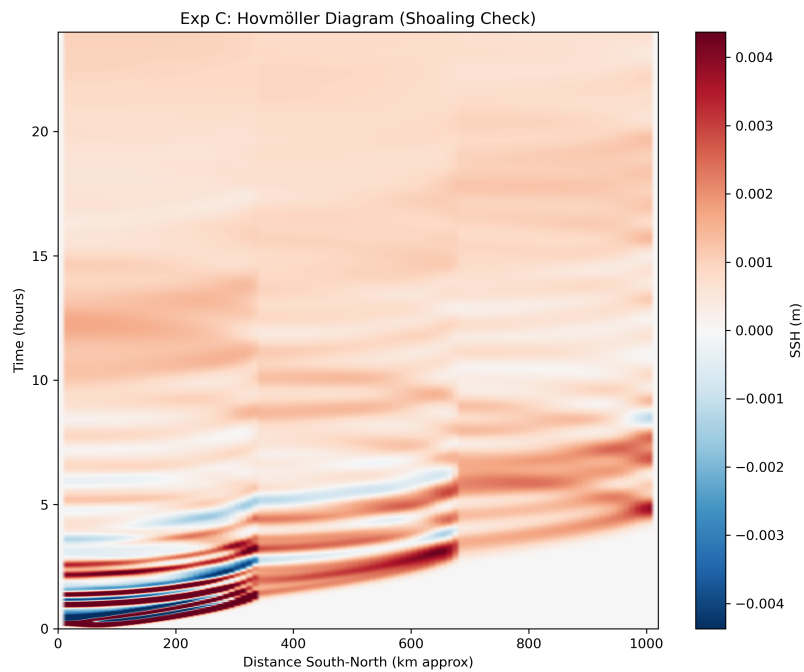


Figure 9: Diagramma di Hovmöller per Esperimento C. La curvatura indica la decelerazione verso Nord.

4.2.3 3. Evoluzione Spaziale

Gli snapshots in Figura ?? mostrano l'onda che si "accumula" e cresce mentre risale il bacino.

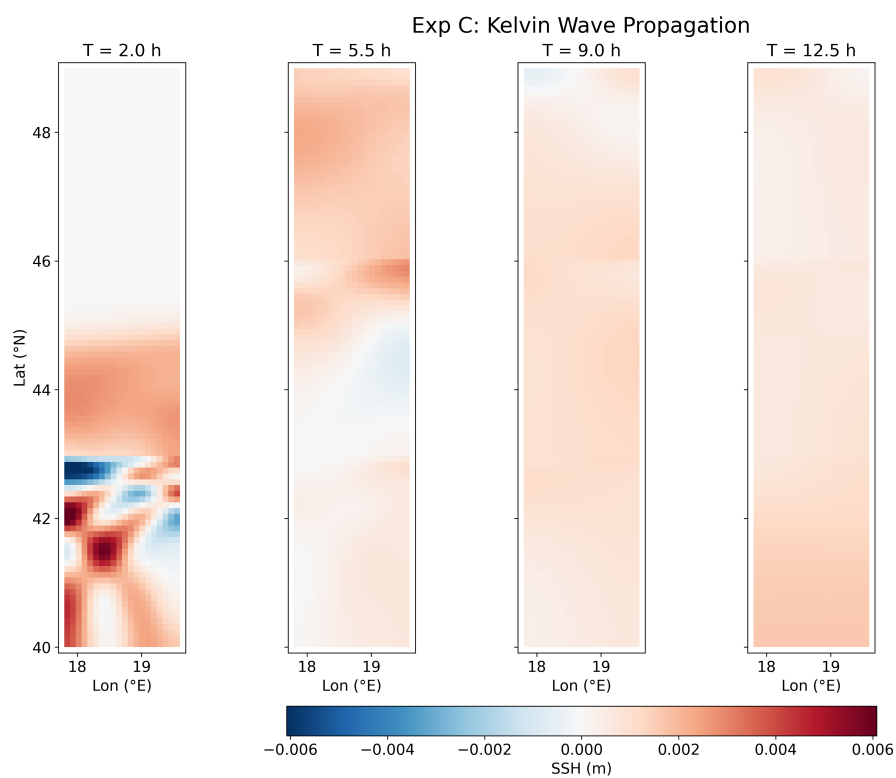


Figure 10: Snapshots Esperimento C. Notare l'aumento di intensità del colore (ampiezza) verso Nord.