



# UNIVERSITÀ DI PISA

---

## OCEANOGRAFIA FISICA SU GRANDE SCALA

**MARCO BIANUCCI**

Anno accademico 2022/23  
CdS FISICA  
Codice 375BB  
CFU 9

Moduli	Settore/i	Tipo	Ore	Docente/i
OCEANOGRAFIA FISICA SU GRANDE SCALA	FIS/03	LEZIONI	54	MARCO BIANUCCI

### Obiettivi di apprendimento

#### Conoscenze

- avrà compreso il ruolo della rotazione terrestre nel caratterizzare le specificità della fluidodinamica geofisica
- avrà acquisito familiarità col metodo utilizzato in geofisica di semplificazione delle equazioni fondamentali attraverso l'introduzione di vincoli da dati osservativi.
- avrà compreso la profonda differenza tra la complessa dinamica oceanica a piccola scala e la dinamica emergente a grande scala
- avrà acquisito le conoscenze di base di meccanica statistica utili a trattare alcune osservabili oceaniche come variabili d'interesse soggette a perturbazioni stocastiche.

#### Modalità di verifica delle conoscenze

Per l'accertamento delle conoscenze saranno svolte delle prove in itinere utilizzando test e/o incontri tra il docente e il gruppo di studenti che sviluppa il progetto

#### Capacità

Al termine del corso:

- lo studente avrà acquisito le conoscenze di base che regolano la dinamica delle correnti oceaniche a grande scala.
- lo studente sarà in grado di leggere e interpretare la letteratura scientifica su tematiche di grande attualità quali la sensibilità degli oceani rispetto ai cambiamenti climatici globali di origine antropica e naturale, la dinamica de El Nino-La Nina e le ricadute a livello globale, le caratteristiche e le criticità delle correnti termoaline.

#### Prerequisiti (conoscenze iniziali)

Non sono necessari prerequisiti oltre quelli di base per un corso della laurea magistrale.

#### Programma (contenuti dell'insegnamento)

Università di Pisa

Corso di studi WFI-LM – FISICA, Secondo semestre.

Oceanografia Fisica su Grande Scala

PROGRAMMA DETTAGLIATO

1. Identificazione delle tematiche di cui si occupa l'oceanografia fisica a grande scala.
2. Basi di fluidodinamica (introduzione alle Equazioni di Navier-Stokes):
  - Rappresentazione Lagrangiana e Euleriana.
  - Passaggio da una rappresentazione all'altra.
  - Teorema del trasporto di Reynolds.
  - Equazione di continuità, equazione dell'impulso e equazione cardinale del momento angolare per fluidi viscosi generici.
  - Tensore degli sforzi.
3. Bilancio dell'energia e termodinamica per un fluido non viscoso e viscoso.
4. L'effetto della rotazione terrestre.
  - Coordinate polari sferiche.



## UNIVERSITÀ DI PISA

---

- Importanza relativa della forza di Coriolis e della forza centrifuga nel sistema di riferimento terrestre.
  - Coordinate locali terrestri.
  - Le equazioni di Navier Stokes, del calore, salinità e di stato in coordinate locali.
5. Scaling: considerazioni sugli ordini di grandezza in gioco e peso relativo delle componenti delle equazioni di NS.
- Valutazione degli ordini di grandezza relativi ai fenomeni su grande scala terrestre.
  - L'approssimazione idrostatica.
  - L'effetto delle pressione sulla densità: linearizzazione dell'equazione di stato.
6. Equazioni di NS semplificate per la dinamica a grande scala.
- L'approssimazione di Boussinesq per l'equazione dell'impulso e l'equazione di continuità.
  - Equazione del calore e approssimazione di Boussinesq.
7. La temperatura potenziale.
8. Shallow water equations.
- Ipotesi sottostanti.
  - Condizioni a contorno, equazione di continuità integrata sullo spessore dello strato.
  - Caso di strato con superficie libera e fondo fisso.
  - Caso alternativo di strato che poggia su un altro strato più denso a riposo: reduced gravity.
  - Prime considerazioni sulle possibili onde trasportate dalle SWE.
9. Geostrophic Flow e il teorema di Taylor-Proudman.
10. Approssimazione lineare delle SWE: onde di Kelvin e onde di Poincaré.
11. The bottom Ekman layer and the surface Ekman layer: Ekman transport and Ekman pumping.
12. Onde di Kelvin equatoriali.
13. Equazione formale della vorticità potenziale
- Caso generale, includendo la rotazione terrestre e la tridimensionalità dello spazio.
  - La vorticità potenziale nel caso Shallow Water.
  - La vorticità potenziale di Ertel.
14. La Streamfunction:
- La decomposizione di Helmotz e la relazione con il potenziale vettore per il campo velocità.
  - Calcolo del flusso attraverso una superficie e relazione con le componenti del potenziale vettore e della decomposizione di Helmotz.
15. Teorema della circolazione di Kelvin.
- Relazione tra il teorema di Kelvin e l'equazione della vorticità.
16. Modello generale geostrofico della circolazione oceanica e trasporto di Sverdrup.
- Necessità della viscosità per le corrette condizioni a contorno.
  - Intensificazione delle correnti a Ovest.
17. Le correnti termoaline. Modelli per la MOC (Meridional Overturnic Circulation).
18. Quasi Geostrophic equations.
- Shallow Water in f-plane.
  - Le onde di Rossby barotropiche
  - Le onde di Rossby barocliniche.
19. La Corrente del Golfo come parte della corrente geostrofica del bacino Atlantico.
- L'ipotesi di Parsons-Veronis sulla separazione della Corrente del Golfo.
20. Introduzione alla Meccanica Statistica:
- Concetti introduttivi
  - Teorema del limite centrale.
  - Cenni sulla teoria della risposta lineare.
  - Espansione di Kramers-Moyall,
  - Espansione in cumulanti.
  - Processo di Ornstein-Uhlenbeck.
  - Metodo dei cumulanti operatori.
  - Processi stocastici.
  - Equazione di Liouville.
  - Metodo proiettivo di Zwanzig.
- Applicazione al Recharge Oscillator.
  - Introduzione al calcolo del Mean First Passage Time (MFPT).
21. Separazione delle equazioni di NS in parte a grande scala e parte a piccola scala, approssimazione stocastica della dinamica a



## UNIVERSITÀ DI PISA

---

piccola scala.

22. Introduzione all'El Niño Southern Oscillation (ENSO):

- La dinamica oceanica equatoriale.
- Gli indici del Niño.
- Caratteristiche non Gaussiane della statistica delle oscillazioni.
- Dalle Shallow Water Equations al Recharge Oscillator (RO) tramite l'approssimazione two boxes two layers.

- Accenno al RO forzato da rumore moltiplicativo come modello per simulare le oscillazioni dell'indice NINO3: effetti nel tempo di ricorrenza degli eventi estremi.

23. Introduzione alla North Atlantic Oscillation (NAO).

24. Il modello Intergyre-Gyre per la NAO.

*Ultimo aggiornamento 11/02/2023 18:04*