



# UNIVERSITÀ DI PISA

---

## OCEANOGRAFIA FISICA SU GRANDE SCALA

**MARCO BIANUCCI**

Anno accademico 2023/24  
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.

To gauge understanding, ongoing evaluations will be conducted through tests and/or meetings between the teacher and the group of students working on the project.

#### 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 Niño-La Niña e le ricadute a livello globale, le caratteristiche e le criticità delle correnti termohaline.

Upon completing the course:

- The student will have gained fundamental knowledge about the dynamics of large-scale ocean currents.
- The student will be proficient in reading and interpreting scientific literature on current topics, including the sensitivity of oceans to anthropogenic and natural global climate change, dynamics of El Niño-La Niña, and characteristics of critical thermohaline currents.

#### Modalità di verifica delle capacità

Alcune lezioni saranno dedicate allo svolgimento di alcuni esercizi/progetti su problematiche di oceanografia, tesi al comprendere le nozioni base del corso.

Some lessons will be devoted to carrying out some exercises/projects on oceanography problems, aimed at understanding the basics of the course.

#### 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



## UNIVERSITÀ DI PISA

---

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.
  - 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



## UNIVERSITÀ DI PISA

---

- Teorema del limite centrale.
  - Cenni sulla teoria della risposta lineare.
  - Espansione di Kramers-Moyal,
  - 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 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.

### Bibliografia e materiale didattico

Joseph Pedlosky "Geophysical Fluid Dynamics", Springer, 1982

Benoit Cushman-Roisin, Jean-Marie Beckers "Introduction to Geophysical Fluid Dynamics", Elsevier, 2011

R. M. Samelson, "The Theory of Large-Scale Ocean Circulation", Cambridge University Press, 2011

### Modalità d'esame

- La prova orale consiste in un colloquio tra il candidato e il docente, o anche tra il candidato e altri collaboratori del docente titolare. Durante la prova orale potrà essere richiesto al candidato di risolvere anche problemi/esercizi scritti, davanti al docente o in separata sede. Mediamente la prova orale avrà una durata di circa tre quarti d'ora e si svolgerà in presenza, oltre che del candidato e del docente, anche di un altro docente del Dipartimento di Fisica.
  - La prova orale non è superata se il candidato mostra di non essere in grado di esprimersi in modo chiaro e di usare la terminologia corretta, oppure se il candidato non risponde correttamente almeno ad un certo tipo di domande (per esempio corrispondenti alla parte più basilare del corso). Il colloquio non avrà esito positivo se il candidato mostrerà ripetutamente l'incapacità di mettere in relazione parti del programma e nozioni che deve usare in modo congiunto per rispondere in modo corretto alle domande.
- The oral test involves an interview between the candidate and the teacher or other collaborators. It may include solving written problems or exercises during the interview. On average, the oral test lasts about three-quarters of an hour and is attended by the candidate, the lecturer, and another Physics Department faculty member.
  - The oral test is not considered successful if the candidate struggles to communicate clearly or use the correct terminology. Additionally, failing to answer certain types of questions, especially those related to the fundamental aspects of the course, results in an unsuccessful outcome. Repeated inability to connect different parts of the syllabus and apply necessary concepts leads to an unsuccessful interview.

Ultimo aggiornamento 24/10/2023 23:27