



**Università Politecnica delle Marche**

**Facoltà di Ingegneria**

**Corso di Laurea Triennale in Ingegneria Civile Ambientale**

Simulazioni numeriche 2D dell'oscillazione non forzata di un Wave  
Energy Converter di tipo PowerBuoy

2D numerical simulation of a PowerBuoy Wave Energy Converter  
non-forced oscillation

Relatore:

**Professor Maurizio Brocchini**

Correlatore:

**Ph.D Gianluca Zitti**

Tesi di Laurea di:

**Maria Balletti**

Anno accademico 2018/2019

# Indice

<b>1. Introduzione</b> .....	8
1.1 Sfruttamento dell'energia ondosa.....	9
1.2 Discussione sugli impianti <i>off-shore</i> .....	11
1.3 Il progetto PON PLACE.....	12
1.4 Classificazione dei dispositivi di conversione WEC.....	15
1.5 PowerBuoy .....	17
<b>2 Il modello</b>	
2.1 Il Software: cenni di fluidodinamica computazionale .....	18
2.2 La geometria .....	20
2.3 Name Selections.....	23
2.4 Mesh.....	25
2.5 Set Up .....	27
2.5.1 General.....	28
2.5.2 Models e Materials.....	28
2.5.3 Cell Zone Conditions .....	29
2.5.4 Boundary Conditions.....	29
2.5.5 Mesh Interface.....	31
2.5.6 Dynamic Mesh.....	32
2.5.7 Reference Values.....	34
2.6 Solution .....	35
2.6.1 Methods .....	35
2.6.2 Controls .....	37
2.6.3 Monitors e Report Definition .....	38
2.6.4 Initialization .....	39
2.6.5 Calculation Activities.....	40
2.6.6 Run Calculation.....	41
2.7 Results - Animations e Reports.....	41

<b>3 Simulazioni e Risultati</b>	
3.1 Simulazioni sulla massa .....	43
3.2 Simulazioni sull'altezza d'acqua .....	52
<b>4 Discussione dei risultati</b> .....	65
<b>5 Conclusioni e sviluppi futuri</b> .....	68
<b>Bibliografia e Sitografia</b> .....	69

## **Elenco delle figure**

Figura 1.1 Progetto dell'impianto di Bochaux-Praceique

Figura 1.2 Anatra di Salter in un esperimento di laboratorio

Figura 1.3 La Transocean Winner trasportata dalle correnti sulle spiagge della Scozia

Figura 1.4 Inquadramento generale dell'area di studio

Figura 1.5 Carta nautica essenziale

Figura 1.6 Sezione di un profilo costiero, suddivisa nelle tre categorie: onshore, nearshore e off-shore

Figura 1.7 Schema a blocchi della conversione dell'energia marina in potenza elettrica

Figura 1.8 Rappresentazione grafica del PowerBuoy di OPT

Figura 2.1: Schermata di partenza Ansys Fluent-Fluid Flow

Figura 2.2: OPT PowerBuoy geometries: (a) symmetric float with monopile, F1-MP, (b) rhombus float with monopile, F3-MP, (c) symmetric float with spar-plate, F1-SP, and (d) rhombus float with spar-plate, F3-SP

Figura 2.3: OPT PowerBuoy utilizzato dall'UC Berkley: sistema FPA a due corpi

Figura 2.4: Sketch Geometria 2D

Figura 2.5: Geometria

Figura 2.6: Name Selections Surfaces

Figura 2.7: Name Selections Wall

Figura 2.8: Mesh realizzata

Figura 2.9: Mesh realizzata

Figura 2.10: Schermata del Set Up Ansys

Figura 2.11: Set Up-General

Figura 2.12: Cell Zone Conditions

Figura 2.13: Schema Interfaccia

Figura 2.14: Dynamich Mesh Methods

Figura 2.15: Reference Values Ansys

Figura 2.16: Solution Ansys

Figura 2.17: Solution Methods Ansys

Figura 2.18: Solution Methods Ansys

Figura 2.19: Solution Methods Ansys

Figura 2.20: Controls Ansys

Figura 2.21: Residual Monitors

Figura 2.22: Report File Definitions

Figura 2.23: Initial Values – Initialization Ansys

Figura 2.24: Calculation activities – Autosave

Figura 2.25: Results Ansys Set Up

Figura 2.26: Post Processing

Figura 3.1: Mappa di fase-3000kg,21m

Figura 3.2: Mappa di velocità-3000kg,21m

Figura 3.3: Grafico di spostamento verticale del floater nel tempo-3000kg,21m

Figura 3.4: Grafico di forza verticale sul floater nel tempo-3000kg,21m

Figura 3.5: Mappa di fase-2000kg,21m

Figura 3.6: Mappa di velocità-2000kg,21m

Figura 3.7: Grafico di spostamento verticale del floater nel tempo-2000kg,21m

Figura 3.8: Grafico di forza verticale sul floater nel tempo-2000kg,21m

Figura 3.9: Mappa di fase-1000kg,21m

Figura 3.10: Mappa di velocità-1000kg,21m

Figura 3.11: Grafico di spostamento verticale del floater nel tempo-1000kg,21m

Figura 3.12: Grafico di forza verticale sul floater nel tempo-1000kg,21m

Figura 3.13: Mappa di fase-500kg,21m

Figura 3.14: Mappa di velocità-500kg,21m

Figura 3.15: Grafico di spostamento verticale del floater nel tempo-500kg,21m

Figura 3.16: Grafico di forza verticale sul floater nel tempo-500kg,21m

Figura 3.17: Mappa di fase-2000kg,22m

Figura 3.18: Mappa di velocità-2000kg,22m

Figura 3.19: Grafico di spostamento verticale sul floater nel tempo-2000kg,22m

Figura 3.20: Grafico di forza verticale sul floater nel tempo-2000kg,22m

Figura 3.21: Mappa di fase-2000kg,21m

Figura 3.22: Mappa di velocità-2000kg,21m

Figura 3.23: Grafico di spostamento verticale del floater nel tempo-2000kg,21m

Figura 3.24: Grafico di forza verticale sul floater nel tempo-2000kg,21m

Figura 3.25: Mappa di fase-2000kg,20m

Figura 3.26: Mappa di velocità-2000kg,20m

Figura 3.27: Grafico di spostamento verticale del floater nel tempo-2000kg,20m

Figura 3.28: Grafico di forza verticale sul floater nel tempo-2000kg,20m

Figura 3.29: Mappa di fase-1000kg,22m

Figura 3.30: Mappa di velocità-1000kg,22m

Figura 3.31: Grafico di spostamento verticale del floater nel tempo-1000kg,22m

Figura 3.32: Grafico di forza verticale sul floater nel tempo-1000kg,22m

Figura 3.33: Mappa di fase-1000kg,21m

Figura 3.34: Mappa di velocità-1000kg,21m

Figura 3.35: Grafico di spostamento verticale del floater nel tempo-1000kg,21m

Figura 3.36: Grafico di forza verticale sul floater nel tempo-1000kg,21m

Figura 3.37: Mappa di fase-1000kg,20m

Figura 3.38: Mappa di velocità-1000kg,20m

Figura 3.39: Grafico di spostamento verticale del floater nel tempo-1000kg,20m

Figura 3.40: Grafico di forza verticale sul floater nel tempo-1000kg,20m

## **Elenco delle tabelle**

Tabella 1: Condizioni al contorno

Tabella 2: Condizioni di Mesh Dinamica

Tabella 3: Valori di picco simulazione ad altezza d'acqua costante

Tabella 4: Spostamento del floater simulazione a massa variabile 0,1s

Tabelle 5 e 6: Spostamento del floater simulazioni a massa costante, altezza d'acqua variabile

# 1. Introduzione

L'attenzione posta al mare da parte dei media per l'inquinamento da plastica, la sofferenza delle specie marine e l'innalzamento della temperatura è altissima e meno risonanza hanno altri aspetti che vedono il mare ancora protagonista, come i temi energetici e del "decommissioning", in particolare di piattaforme *off-shore*.

Gran parte dell'energia utilizzata ad oggi proviene da fonti fossili che si stanno esaurendo e gli impianti costruiti per la lavorazione di petrolio e gas sono ormai a fine vita ma il loro smantellamento è costoso e pericoloso. La congiunzione di questi due aspetti ha portato l'industria *off-shore* a considerare la possibilità di riconvertire le piattaforme in hub logistici dove intraprendere diverse attività, tra le quali la conversione dell'energia ondosa in energia elettrica.

Il mare rappresenterebbe infatti la più grande fonte di energia rinnovabile, pulita e non sfruttata al mondo, la ricerca sta facendo passi avanti in tal senso ma lo sviluppo di nuove tecnologie per il loro sfruttamento è ancora limitato se confrontato, ad esempio, a quello dell'energia solare.

In questo panorama nasce il progetto PON PLACE che si sviluppa in collaborazione con ENI e altri enti di ricerca pubblici e privati e si riferisce specificatamente all'area del Mar Adriatico. Nell'ambito del progetto ci si propone di produrre energia dal moto ondoso per il funzionamento degli impianti installati sulla piattaforma dismessa. Il dispositivo di conversione di riferimento per questo progetto è un WEC, Wave Energy Converter, di tipo PowerBuoy costituito da un galleggiante che assorbe energia da tutte le direzioni e converte il suo movimento relativo rispetto all'ancoraggio, in energia elettrica.

L'obiettivo degli studi e nello specifico di questa tesi è ottimizzarne le caratteristiche di massa poiché questa rappresenta, insieme alla rigidità, un importante parametro per la determinazione della frequenza propria di galleggiamento del sistema boa-ormeggio dunque dell'interazione tra il dispositivo e l'onda.

Le simulazioni sono state svolte in 2D allo scopo di rappresentare un primo step di progetto per il problema che verrà successivamente analizzato in forma tridimensionale.



## 1.1 Sfruttamento dell'energia ondosa

Dalla seconda rivoluzione industriale ad oggi, la richiesta di energia è stata in continuo aumento e si prevede che tale *trend* rimarrà invariato nei prossimi anni [1]. Secondo gli studi del “U.S. Energy Information Administration” (Istituto di statistica sull'energia del governo degli Stati Uniti) e di altri istituti, nonché delle compagnie petrolifere, le previsioni sull'andamento del fabbisogno energetico mondiale mostrano come quest'ultimo aumenterà del 35%, fissando un orizzonte temporale nel 2030 [1]. Al momento, la maggior parte dell'energia continua ad essere prodotta attraverso fonti fossili quali petrolio, carbone e gas naturale che, però, secondo gli esperti [2], si esauriranno in pochi decenni e per questa ragione sempre più si cerca di investire nella ricerca e nello sviluppo di nuove forme di energia, come ad esempio quella solare, quella idroelettrica o quella eolica.

Accanto a queste risorse rinnovabili più comunemente conosciute, si sta facendo strada un'altra risorsa con un elevato potenziale energetico, che rappresenterebbe la più grande fonte di energia pulita e rinnovabile non utilizzata al mondo: l'energia delle onde marine. [3] L'idea di sfruttare il mare per scopi energetici, in realtà, non è recente, poiché ci sono testimonianze storiche che vedono il popolo cinese sfruttare il moto ondoso per azionare i mulini [2]. Il primo brevetto, tuttavia, è stato depositato solo nel 1799 da Girard e figlio a Parigi [4]. Sempre in Francia, nel 1910, ci fu una prematura applicazione, volta a illuminare e ad alimentare la casa di Bochaux-Praceique, vicino a Bordeaux [4]. Il dispositivo utilizzato sembra essere del tipo a colonna d'acqua oscillante, come si può vedere in figura 1.1:

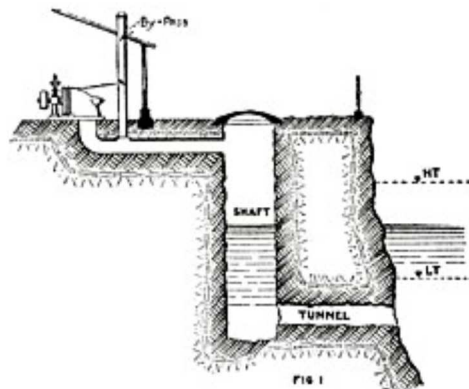
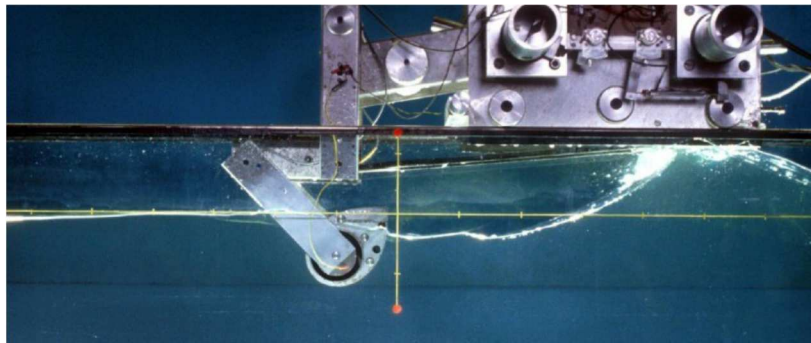


Figura 1.1: Progetto dell'impianto di Bochaux-Praceique [4]

Dal 1855 al 1973 solo in Gran Bretagna furono registrati 340 brevetti. Il primo, a compiere una ricerca approfondita con numerosi esperimenti, fu il giapponese Yoshio Masuda negli anni '40 del ventesimo secolo. Egli testò in mare varie idee di dispositivi a moto ondoso, producendo centinaia di unità utilizzate per alimentare le luci di navigazione. Nel 1973 l'interesse per il moto ondoso si rinnovò a causa della crisi petrolifera e molti ricercatori riesaminarono il potenziale di generare elettricità dalle onde oceaniche. Si ricordi Shalter Salter dell'università di Edimburgo, la cui invenzione, del 1974, divenne conosciuta come “l'anatra di Salter” o “anatra oscillante”, che venne poi ribattezzata come “anatra di Edimburgo”. In piccoli test su scala ridotta, il corpo curvo a forma di camma di anatra può fermare il 90% del movimento dell'onda, convertendo il 90% di questo in elettricità, con un'efficienza complessiva dell'81% [4].



*Figura 1.2: Anatra di Salter in un esperimento di laboratorio [4]*

Negli Anni Ottanta, in seguito al calo del prezzo del petrolio, l'interesse e il finanziamento per il moto ondoso venne meno, riducendosi drasticamente e solo all'alba del terzo millennio, a causa di una forte crisi energetica e ambientale si ricominciò ad investire in tutte le principali tecnologie di energia rinnovabile tra cui quelle legate al moto ondoso.

Due studi hanno posto le basi alla possibilità di estrarre energia dalle onde del mare e delle correnti marine [5]: l'Atlas of Wave Energy Resource in Europa (atlante della risorsa del moto ondoso in Europa) del 1996 e l'Exploitation of Tidal and Marine Currents (sfruttamento delle correnti marine e di marea) sempre dello stesso anno. La Commissione Europea finanziò i progetti, che avrebbero comprovato la fattibilità tecnica di questo tipo di estrazione di energia e furono così costruiti gli impianti pilota Pico e Limpet, tuttora in funzione.

Oggi, diversi progetti hanno provato la loro applicabilità su larga scala in condizioni operative difficili e alcuni impianti commerciali sono in costruzione in diverse parti del mondo.

È, tuttavia, richiesto un continuo apporto di ricerca e di sviluppo sia per migliorare le prestazioni tecnologiche di conversione sia per stabilire la loro competitività nel mercato energetico globale.

## **1.2 Discussione sugli impianti *off-shore***

Parallelamente a quanto detto riguardo alla necessità di generare energia pulita e rinnovabile, nell'ultimo decennio ha trovato spazio il tema del *decommissioning* delle piattaforme *off-shore*, ossia dello smantellamento delle piattaforme per l'estrazione di gas o petrolio che non vengono più utilizzate. Questo, infatti, è uno dei temi più dibattuti dall'industria *off-shore* che sempre più si trova alle prese con una serie di impianti ormai datati. In particolare, il dibattito sull'eliminazione degli impianti inutilizzati si è riaperto nel 1995 con la questione Brent Spar. [6] Il colosso mondiale in campo petrolchimico ed energetico "Shell" aveva deciso, con l'autorizzazione del governo britannico, di affondare Brent Spar, una struttura per il deposito di petrolio, in un sito a grande profondità nell'Atlantico settentrionale. Tale decisione è stata fortemente criticata dall'opinione pubblica a causa dei danni all'ambiente marino. Nella dichiarazione ministeriale successiva alla Conferenza del Mare del Nord, che si teneva nello stesso momento, la maggioranza dei ministri presenti, esclusi i ministri del Regno Unito e della Norvegia, si sono espressi a favore di un divieto generale dell'eliminazione in mare di tali impianti. In seguito a un boicottaggio dei consumatori di diversi paesi dell'UE dei prodotti Shell, la società ha, infine, annullato il suo piano, decidendo di smantellare la struttura dell'impianto e di riutilizzare lo scafo ai fini dell'estensione di una banchina in Norvegia. Tale soluzione singolare non ha, tuttavia, fornito una risposta generale per gli altri 600 impianti di questo tipo nelle acque europee, la maggior parte dei quali in acque britanniche e norvegesi.

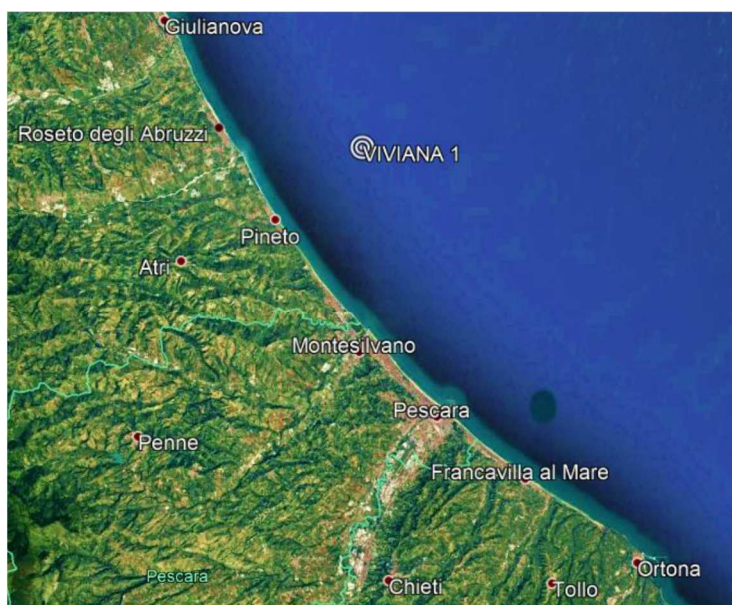
Gli interventi di disinstallazione e trasporto delle componenti fino ai siti di demolizione sono complessi costosi e non esenti da rischi. Lo dimostra la storia della piattaforma petrolifera, di 17mila tonnellate, Transocean Winner, arenatasi contro le coste dell'arcipelago scozzese Outer Hebrides nella notte del 7 agosto 2017 quando una tempesta ha causato la rottura del cavo da rimorchio del vessel Forward che la stava trasportando allo smantellamento [7]; ma gli esempi possono essere molti se si considera che solo nel corso del 2015 sono state sganciate più di 40 piattaforme durante la fase di trasporto verso la demolizione. A queste problematiche si aggiungono quelle di tutela della biodiversità degli ecosistemi che negli anni si sono creati sotto alle piattaforme.



*Figura 1.3: La Transocean Winner trasportata dalle correnti sulle spiagge della Scozia (UK Maritime and Coastguard Agency)*

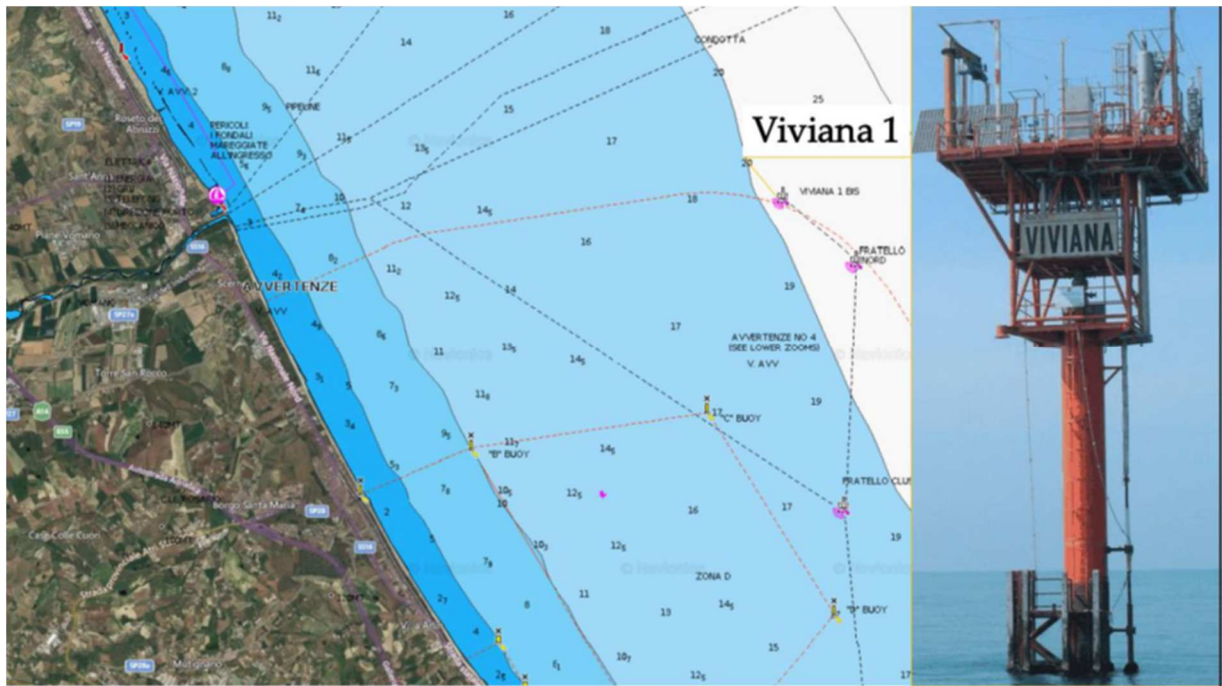
### **1.3 Il progetto PON PLACE**

In questo contesto si sviluppa il progetto PON PLACE [8] per la conversione di piattaforme *off-shore* per usi multipli eco-sostenibili al fine di trasformarle in *hub* per la produzione di beni vari, tra i quali anche l'energia elettrica. Il progetto, in collaborazione con Eni e altri enti di ricerca pubblici e privati, si sviluppa nell'area del Mar Adriatico centrale e riferisce specificamente alla zona marina al largo della Centrale Gas Pineto (provincia di Teramo) di proprietà della Società Adriatica Idrocarburi (100% ENI S.p.A.), in cui si trova allocato, a circa 5 miglia nautiche, l'impianto *off-shore* ENI "Viviana 1", identificabile al punto di coordinate 42°39'21,08' N; 14°09'18,48" E (Figura 1.4). Tale piattaforma costituirà l'*hub* logistico principale a supporto delle attività di ricerca del progetto PON "PLACE".



*Figura 1.4: Inquadramento generale dell'area di studio[13]*

Nel suo insieme, il tratto marino-costiero della zona si presenta come una costa bassa caratterizzata da spiagge a granulometria da fine a molto fine. I fondali, pertanto, presentano pendenze estremamente dolci: le batimetrie nella zona di interesse oscillano tra i 21 ed i 22 m (Figura 1.5).



*1.5: Carta nautica essenziale [8]*

In particolare, la parte del progetto d'interesse specifico per questa tesi riguarda lo studio dell'interazione tra un dispositivo di conversione con il clima meteo-marino del sito pilota già analizzato e studiato in una fase precedente.

## 1.4 Classificazione dei dispositivi di conversione WEC

In letteratura [9] i dispositivi per la conversione del moto ondoso vengono denominati WEC, acronimo di Wave Energy Converter. I brevetti registrati sono già più di mille e la classificazione delle diverse tipologie può essere fatta considerando più parametri:

- Posizione rispetto alla costa: si distinguono in *onshore*, *nearshore* e *off-shore*

I dispositivi *onshore* possono essere installati sul fondale marino in acque basse, o essere integrati in strutture frangiflutti o su scogliere rocciose mentre i dispositivi *nearshore* sono pensati per un impiego in acque profonde approssimativamente tra i 10 e i 20 metri, e da centinaia di metri fino a qualche chilometro lontano dalla costa. In ultimo i dispositivi *off-shore* sono ancorati al fondale marino in acque profonde, solitamente oltre i 49 metri di profondità; possono essere galleggianti o sommersi e rappresentano la più promettente categoria di convertitori a moto ondoso poiché possono sfruttare l'enorme potenziale del mare aperto.

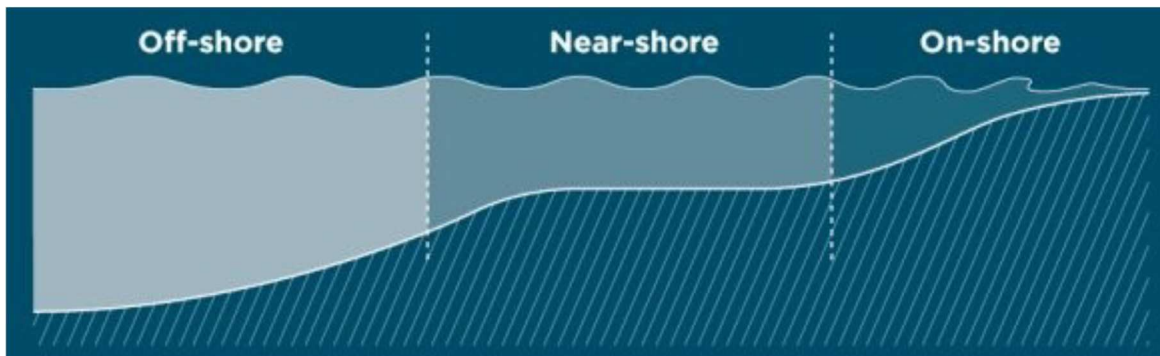


Figura 1.6: Sezione di un profilo costiero, suddivisa nelle tre categorie: *onshore*, *nearshore* e *off-shore*. [14]

- Principio di funzionamento: si distinguono in
  - o *Attenuator*: dispositivo galleggiante a due bracci che opera parallelamente alla direzione dell'onda cavalcandola. L'energia viene catturata quando l'onda attraversa i due corpi causandone un moto relativo.
  - o *Point Adsorber*: dispositivo galleggiante di piccole dimensioni rispetto alla lunghezza d'onda che assorbe energia da tutte le direzioni e converte il movimento relativo tra la parte superiore e la base in energia elettrica.

- *Oscillating Wave Surge Converter* (convertitori oscillanti a flutto d'onda): sono costituiti da una base su cui è montato un braccio che oscilla estraendo energia dai flutti d'acqua.
  - *Oscillating Water Column* (colonna d'acqua oscillante): struttura cava parzialmente sommersa che racchiude una colonna d'aria, sopra ad una colonna d'acqua. Le onde provocano la salita e la discesa della colonna d'acqua, che a sua volta comprime ed espande la colonna d'aria e mediante una turbina si genera elettricità.
  - *Overtopping* (a superamento): conosciuto in italiano come dispositivo a risalto idraulico, questo cattura l'acqua, mentre le onde irrompono nel bacino di stoccaggio per poi restituirla al mare, passando attraverso una convenzionale turbina a bassa prevalenza, che genera potenza.
  - *Submerged Pressure Differential* (differenziale di pressione sommerso): un point absorber sommerso, che utilizza la differenza di pressione sopra il dispositivo, tra le creste dell'onda e i cavi. E' composto da due parti principali: una camera cilindrica riempita d'aria, fissata al fondale marino, e un cilindro superiore mobile. Quando una cresta passa sopra al dispositivo, la pressione dell'acqua al di sopra comprime l'aria nel cilindro, spostando quello superiore in basso, l'opposto avviene quando passa un cavo d'onda. La pressione alternata pompa fluido attraverso un sistema per generare elettricità.
  - *Bulge Wave* (a gonfiaggio da onda): questo dispositivo consiste in un tubo di gomma riempito con acqua ancorato al fondale e diretto verso le onde. L'acqua entra dal retro del tubo, e l'onda che passa provoca delle variazioni di pressione per la lunghezza del tubo, creando un rigonfiamento che si accresce attraverso il tubo raccogliendo energia.
  - *Rotating Mass* (massa rotante): questo dispositivo sfrutta due forme di rotazione per catturare energia ondosa ossia il movimento del dispositivo ondeggiante e quello oscillante sulle onde.
- Sistema di Power Take Off (PTO): è il meccanismo che converte la potenza meccanica in input, estratta dalle onde, in potenza elettrica. Questi meccanismi possono variare da sistemi idraulici a turbine ad aria o generatori lineari.



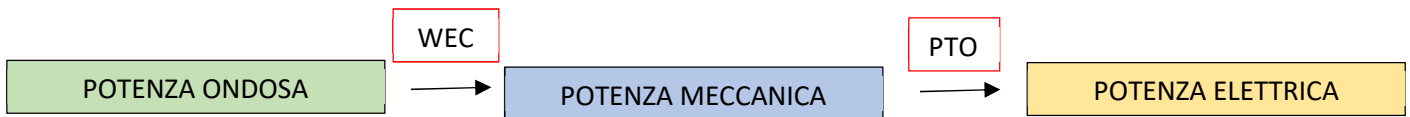


Figura 1.7: Schema a blocchi della conversione dell'energia marina in potenza elettrica

## 1.5 PowerBuoy

Nello specifico si descrive brevemente il dispositivo PowerBuoy [10], poiché è di riferimento per il progetto PON PLACE. L'Ocean Power Technologies (OPT), che è pioniere nella tecnologia di conversione dell'energia del moto ondoso in energia elettrica, ha ideato e commercializzato il dispositivo PowerBuoy. L'OTP PowerBuoy è un esempio di Floating Point Absorber (FPA), ossia una struttura galleggiante di piccole dimensioni rispetto alla lunghezza d'onda, che assorbe energia da tutte le direzioni, attraverso i movimenti relativi dovuti al moto ondoso. In particolare, il dispositivo in esame ha un grado di libertà nella direzione di sollevamento verticale e l'energia deriva dal movimento della parte superiore galleggiante rispetto alla base fissa. Può anche essere considerato come dispositivo semi sommerso, poiché la sezione mobile, ossia il galleggiante, tratta direttamente con l'onda ed è in superficie mentre l'ancoraggio è fisso e sommerso come mostra la rappresentazione semplificata in figura 1.8:

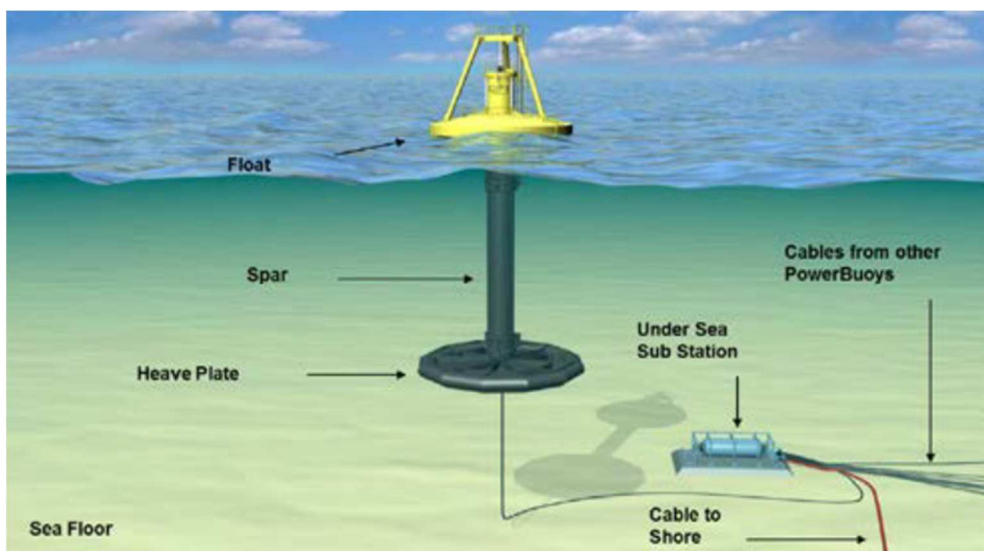


Figura 1.8: Rappresentazione grafica del PowerBuoy di OPT [10]

## 2. Il modello

### 2.1 Il software: cenni di fluidodinamica computazionale

La modellazione del problema in esame è stata risolta mediante utilizzo dell'ANSYS FLUENT (figura 2.1), un pacchetto software di fluidodinamica computazionale utilizzato per modellare flusso, turbolenza, trasferimento di calore e reazioni per applicazioni industriali.

La fluidodinamica computazionale (CFD ovvero Computational Fluid Dynamics) è un metodo di analisi dei sistemi caratterizzati da fluidi in movimento, scambio di calore e i fenomeni a loro relativi, come ad esempio le trasformazioni chimiche, attraverso l'uso di simulazioni tramite calcolatore. Questo metodo permette di unire il modello fisico a metodi numerici con numerosi vantaggi quali, ad esempio, ridurre i tempi di progettazione rispetto all'esperimento classico oltre che permettere lo studio di sistemi in condizioni difficili da replicare e valutare grandezze del sistema stesso difficili da misurare direttamente [11].

Per questo motivo ad oggi i pacchetti di software CFD hanno un ruolo importante nell'ingegneria e sono comunemente utilizzati.

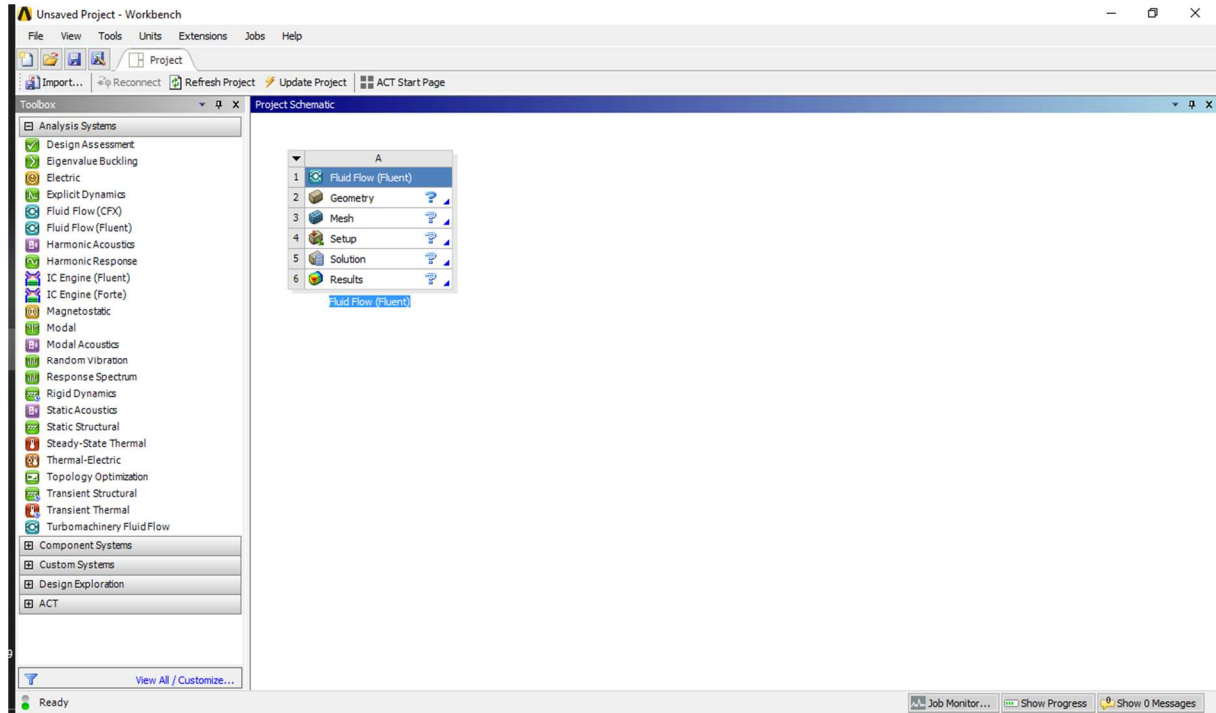
Il lavoro fatto dal software consiste nella risoluzione delle equazioni di Navier-Stokes e di Eulero mediante un approccio numerico attraverso metodi di discretizzazione ossia di trasformazione dei modelli matematici basati su equazioni continue in modelli basati su equazioni discrete in quei casi reali nei quali la risoluzione per via analitica non è possibile.

In particolare, mediante l'ANSYS FLUENT si utilizza un modello ai volumi finiti che risolve le equazioni su un insieme di volumi di controllo discreti: il dominio fluido viene suddiviso in celle elementari così da ottenere una griglia di calcolo (mesh) sulla quale applicare metodi di risoluzione iterativi al fine di risolvere le equazioni.

La procedura di analisi è la seguente:

- Definizione della geometria del problema da analizzare (dominio fisico del problema)
- Discretizzazione del volume occupato dal fluido generando una mesh opportuna
- Definizione del modello fisico e numerico
- Definizioni delle condizioni al contorno
- Risoluzione iterativa delle equazioni fino al raggiungimento del grado di accuratezza desiderato

- Post-Processing: visualizzazione e analisi dei risultati.

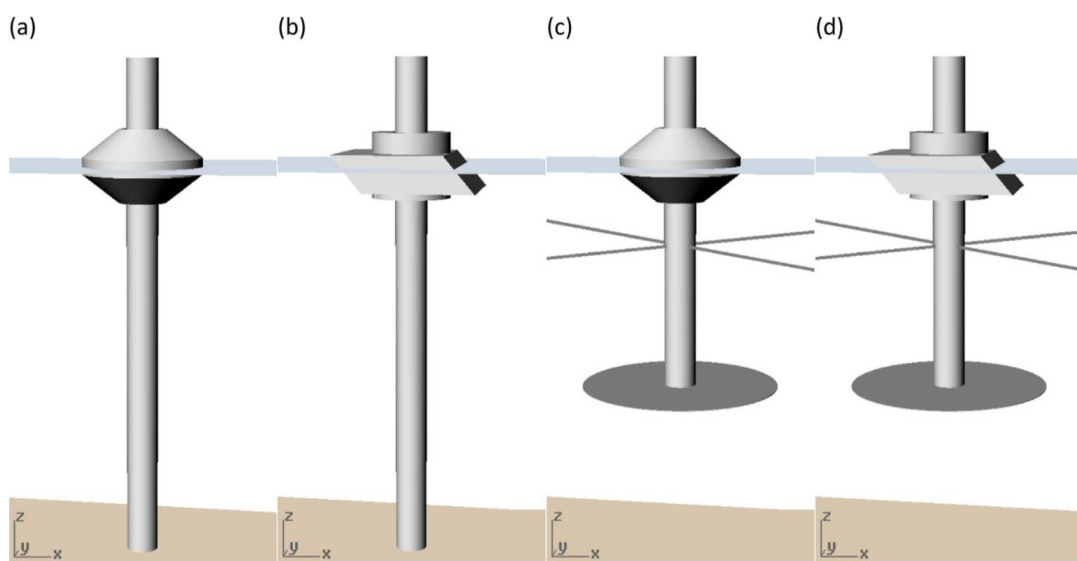


*Figura 2.1: Schermata di partenza Ansys Fluent-Fluid Flow*

## 2.2 La geometria

Il primo passo per la simulazione del processo è la definizione della geometria.

La ricerca bibliografica ha portato molteplici informazioni riguardo alla forma dei galleggianti e alle tipologie di ancoraggi per i dispositivi WEC PowerBuoy [12]; si parla di galleggianti simmetrici o romboidali e di ancoraggi monopalo o del tipo disco-anello come quelli rappresentati in figura 2.2.



*Figura 2.2: OPT PowerBuoy geometries: (a) symmetric float with monopile, F1-MP, (b) rhombus float with monopile, F3-MP, (c) symmetric float with spar-plate, F1-SP, and (d) rhombus float with spar-plate, F3-SP.*

Tuttavia, sono nate delle difficoltà nel reperimento di informazioni precise riguardanti le dimensioni di questo tipo di boe e, per tale ragione, la geometria scelta per l'analisi in oggetto è quella utilizzata nel Dicembre 2010 dai ricercatori dell'università UC Berkeley [13] mentre per la struttura di ancoraggio si è utilizzato un monopalo.

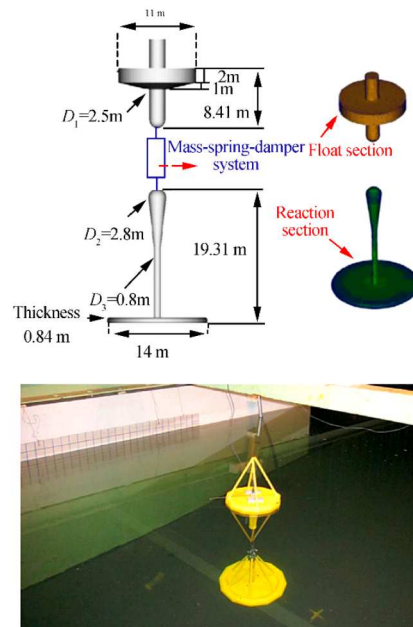


Figura 2.3: OPT PowerBuoy utilizzato dall'UC Berkley: sistema FPA a due corpi [13]

Il modello tridimensionale prevedrebbe una struttura galleggiante costituita da un cilindro cavo di diametro 11m e altezza 2m unito ad un galleggiante conico anch'esso cavo di altezza pari ad 1m. Questa boa ha un grado di libertà in direzione verticale, dunque può muoversi lungo il palo che, invece, ha diametro di 5m ed è fisso sul fondale; la struttura è collocata in un dominio di calcolo di volume  $51 \times 51 \times 30 \text{ m}^3$  dove viene investita dal moto ondoso. Tuttavia nei test condotti in questa fase preliminare si è utilizzato un modello 2D in cui non sono implementate le onde al fine di studiare le caratteristiche di rigidità e di interazione fluido-struttura del dispositivo. La geometria appare quindi come in figura 2.4.

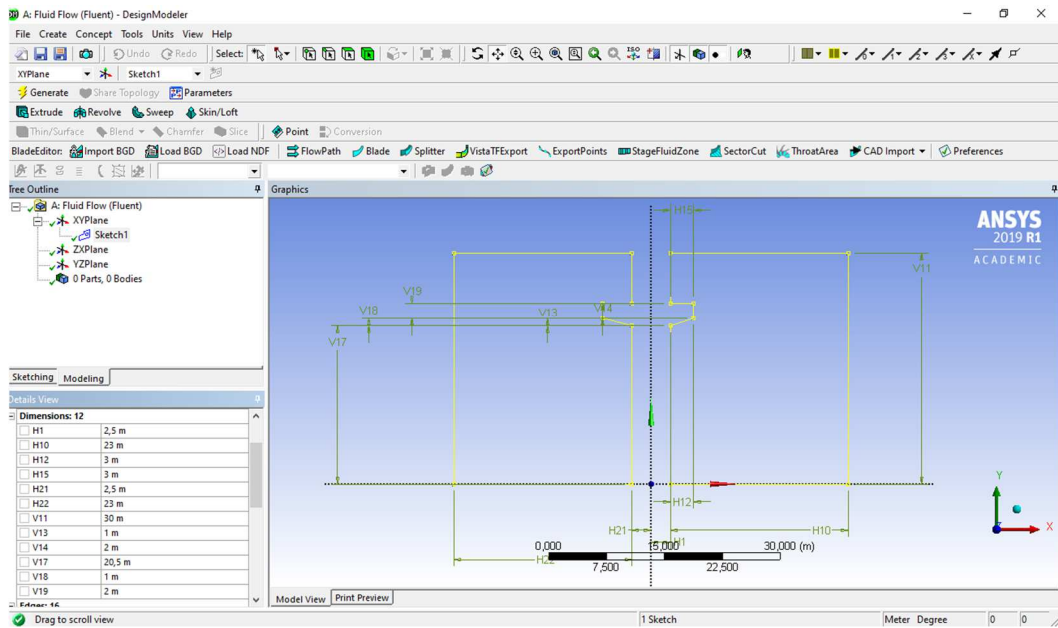


Figura 2.4: Sketch Geometria 2D

La simmetria del problema 2D permette di considerare solo metà del dominio.

Inoltre, la superficie è stata divisa in quattro parti (Figura 2.5), per avere successivamente una migliore gestione della mesh, generando tre piani: uno parallelo all'asse di simmetria, a distanza di 7 m dall'asse stesso e due perpendicolari ad individuare un volume intorno al galleggiante.

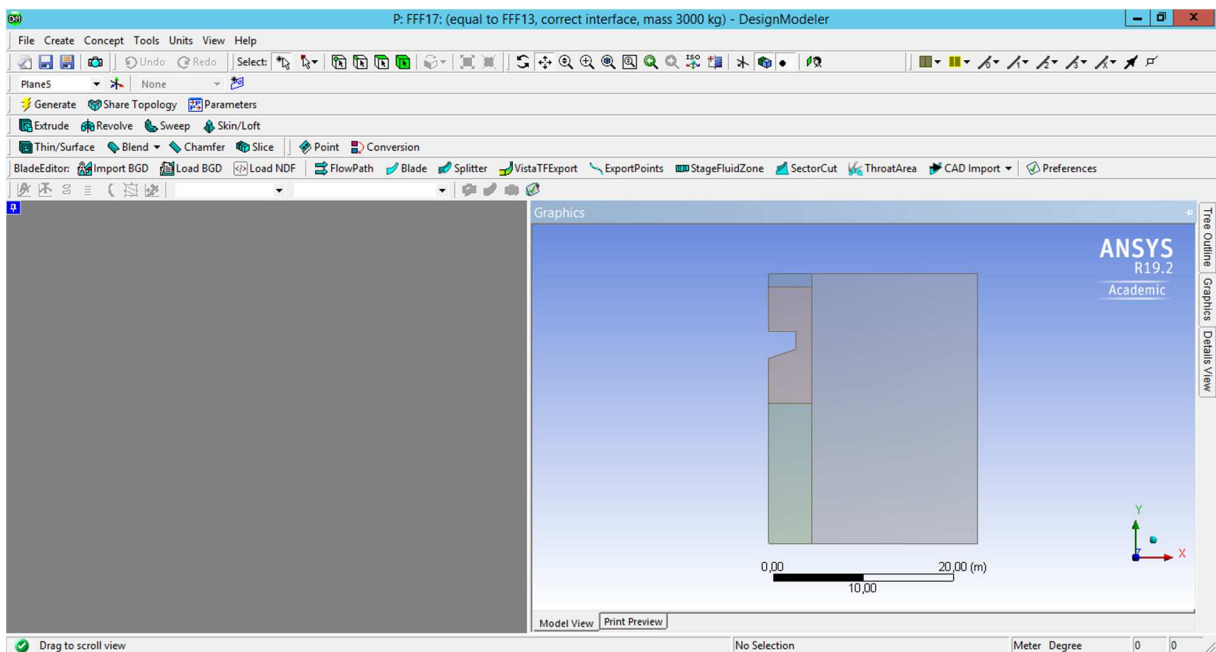
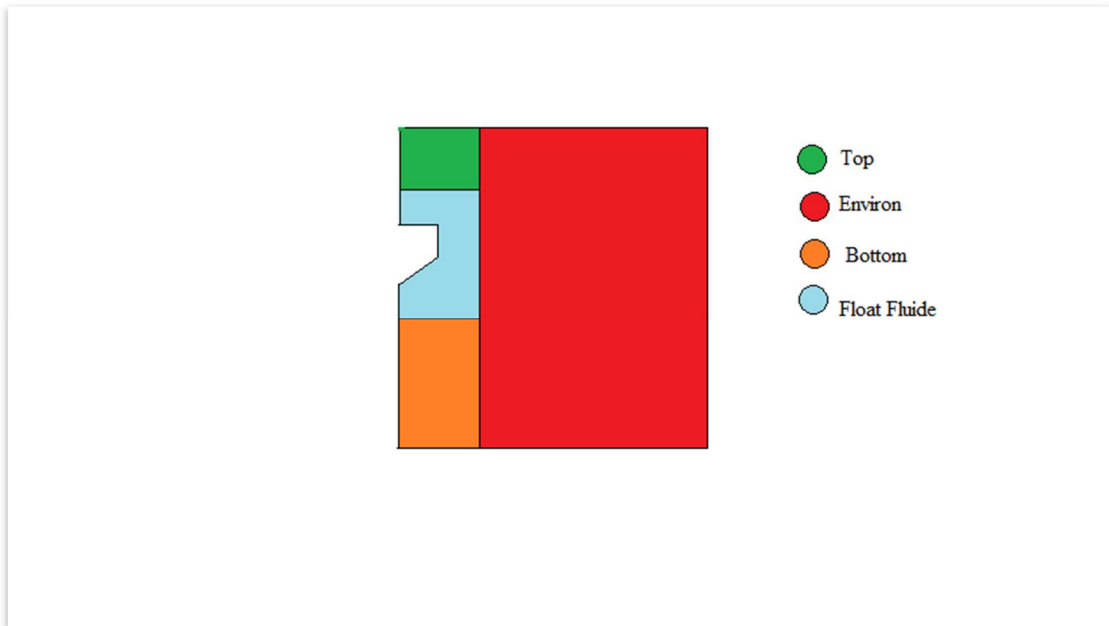


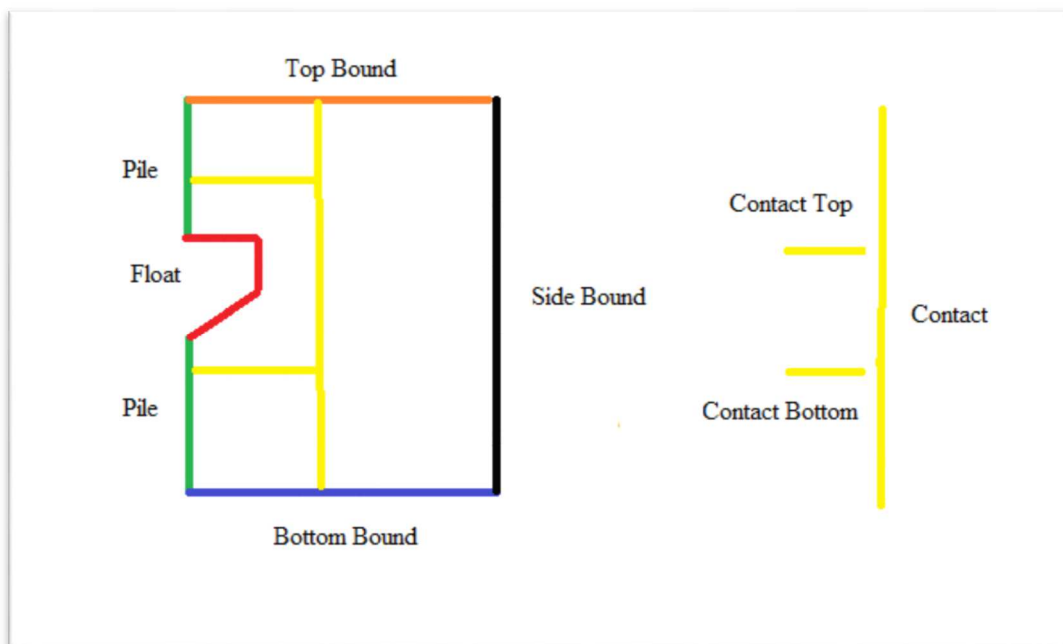
Figura 2.5: Geometria

### **2.3 Name Selections**

Una volta definita la geometria, è necessario attribuire un nome a ciascun elemento del sistema. Questa nomenclatura viene assegnata in relazione a ciò che ciascun elemento rappresenta nell'insieme del modello al fine di semplificare l'assegnazione delle condizioni al contorno e la gestione delle interfacce nel dominio di calcolo nella fase successiva. In Figura 2.6 è rappresentata la superficie suddivisa in settori marcati con colori differenti e relativa denominazione mentre in Figura 2.7 sono indicate secondo lo stesso criterio le pareti che individuano e suddividono il dominio.



*Figura 2.6: Name Selection Surfaces*



*Figura 2.7: Name Selections Wall*



## 2.4 Mesh

La griglia di calcolo è stata realizzata con l'idea di creare una mesh più fitta nell'intorno del floater, al fine di avere una maggiore precisione rispetto alle altre aree del dominio poiché è il movimento del galleggiante a provocare l'onda e le variazioni del sistema.

L'utilizzo delle quattro zone e dunque di quattro tipologie di mesh differenti è stato dettato dalla necessità di utilizzare una mesh strutturata nell'intero dominio, nella zona dell' "Environ" e intorno al floater ma anche nelle altre due parti, in cui la mesh si deforma, ma non cambia sostanzialmente struttura.

Di seguito sono riportate le informazioni numeriche riguardanti la dimensione e la tipologia di sizing della mesh riferita a ciascuna zona. Inoltre, sono indicati il numero di elementi e di nodi che individuano la mesh sul dominio totale (Figure 2.8 e 2.9).

Element Size Mesh:

- Face Sizing Float Fluid 0,005m
- Face Sizing Environ 0.1 m
- Edge Sizing Contact 0.005m
- Edge Sizing Pile-Top 0.01m
- Edge Sizing Pile-Bottom 0.2 m

Statistics Mesh:

- Numero di Elementi: 133182
- Numero di Nodi: 134480

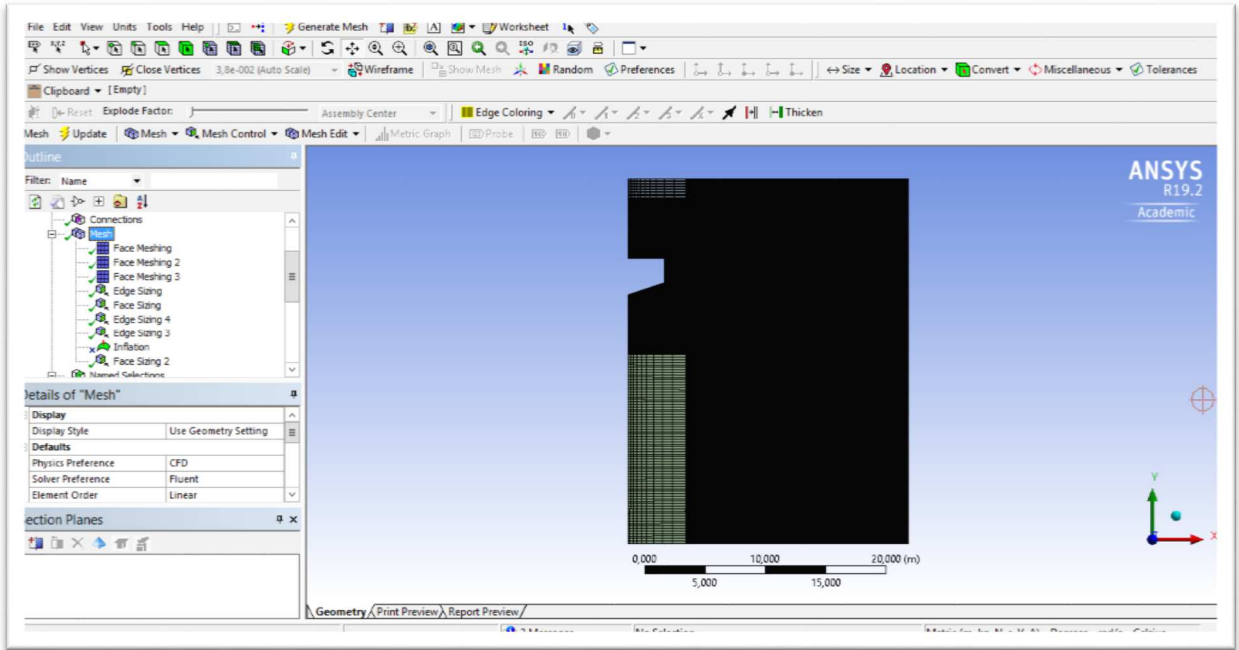


Figura 2.8: Mesh realizzata

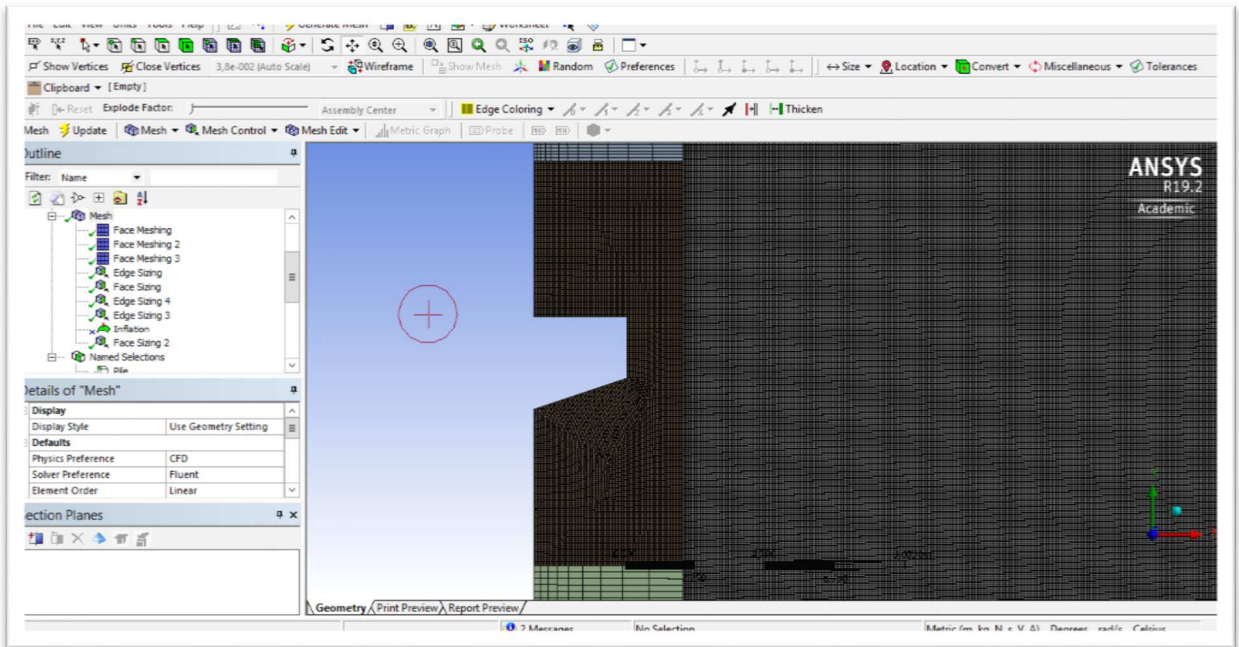
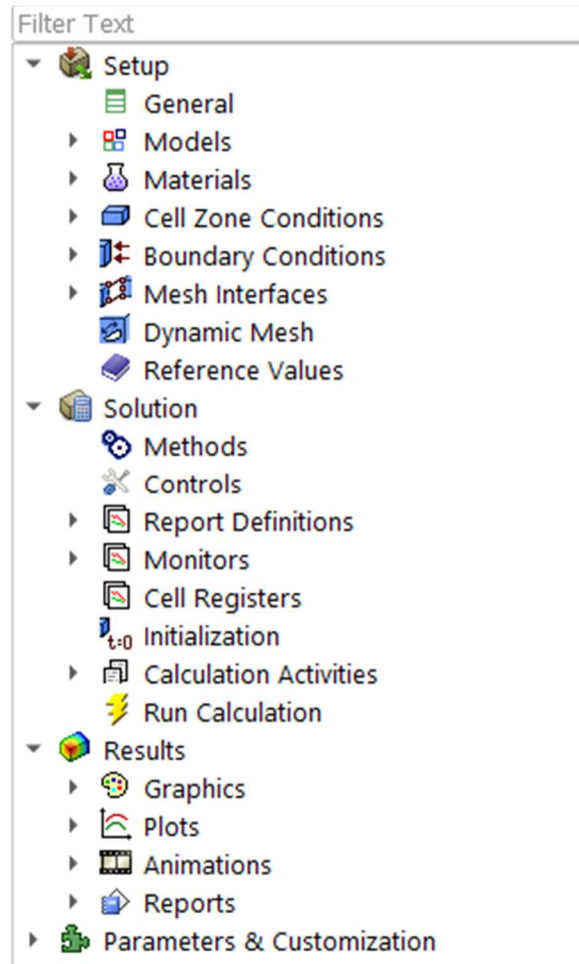


Figura 2.9: Mesh realizzata

## 2.5 Set Up

La fase successiva è il Set Up ossia nella definizione delle condizioni al contorno del problema.



*Figura 2.10: Schermata del Set Up Ansys*

Come si può vedere in figura 2.10, all'interno della sezione di Set Up della simulazione, rientrano anche l'impostazione del metodo di soluzione e la definizione dei risultati che si vogliono ottenere. Per semplicità esplicativa, i vari passaggi verranno, di seguito, analizzati separatamente.

## 2.5.1 General

Si configurano alcune impostazioni generali per l'analisi. In particolare, si impone che la soluzione sia calcolata in regime transitorio, per la pressione e in presenza di gravità (Figura 2.11).

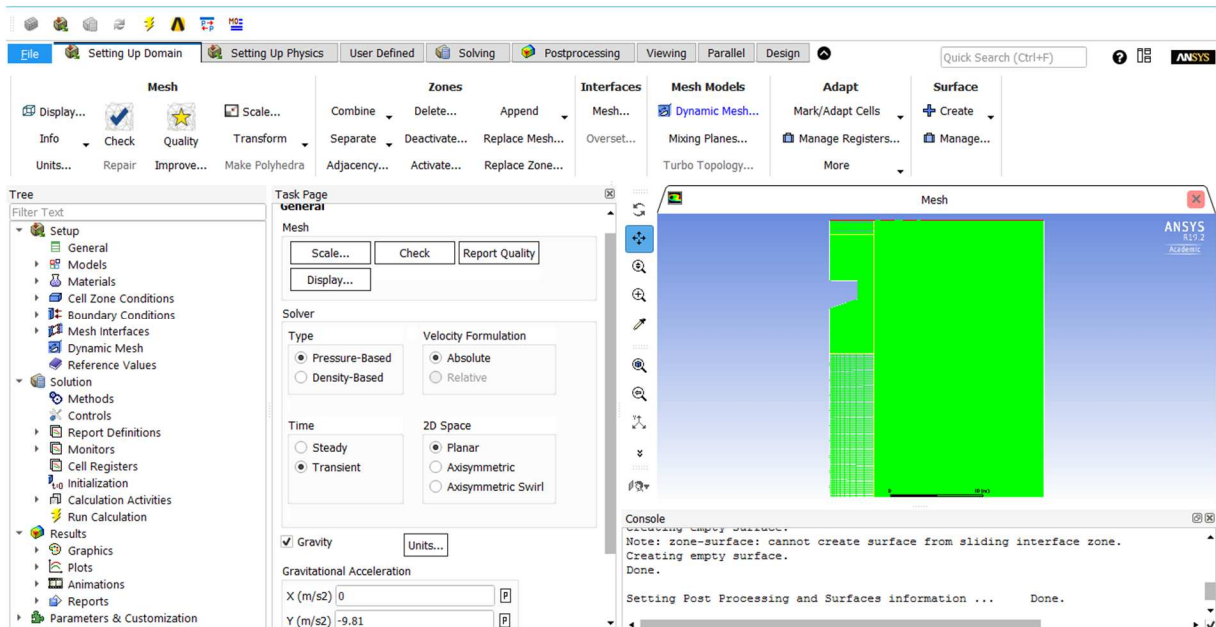


Figura 2.11: Set Up-General

## 2.5.2 Models e Materials

Si impone poi il modello di turbolenza a viscosità turbolenta a due equazioni  $k-\omega$  SST: è un modello ibrido che combina i modelli Wilcox  $k-\omega$  e  $k-\epsilon$ . Una funzione di fusione, F1, attiva il modello Wilcox, adatto per simulare il flusso nel substrato viscoso, vicino alle pareti e il modello  $k-\epsilon$ , ideale per prevedere il comportamento del flusso in regioni lontane dalle pareti, nel flusso libero.

Si attiva inoltre l'opzione di modello multifase a due fasi poiché il dispositivo in esame sarà posto sulla superficie libera del dominio di calcolo e si definiscono le fasi come "Fase1-Acqua" e "Fase2-Aria".

## 2.5.3 Cell Zone Conditions

A questo punto si impongono le Cell Zone Conditions per la zona del fluido assicurandosi che tutte le superfici siano assegnate come fluidi e contengano entrambe le fasi definite (Figura 2.12).

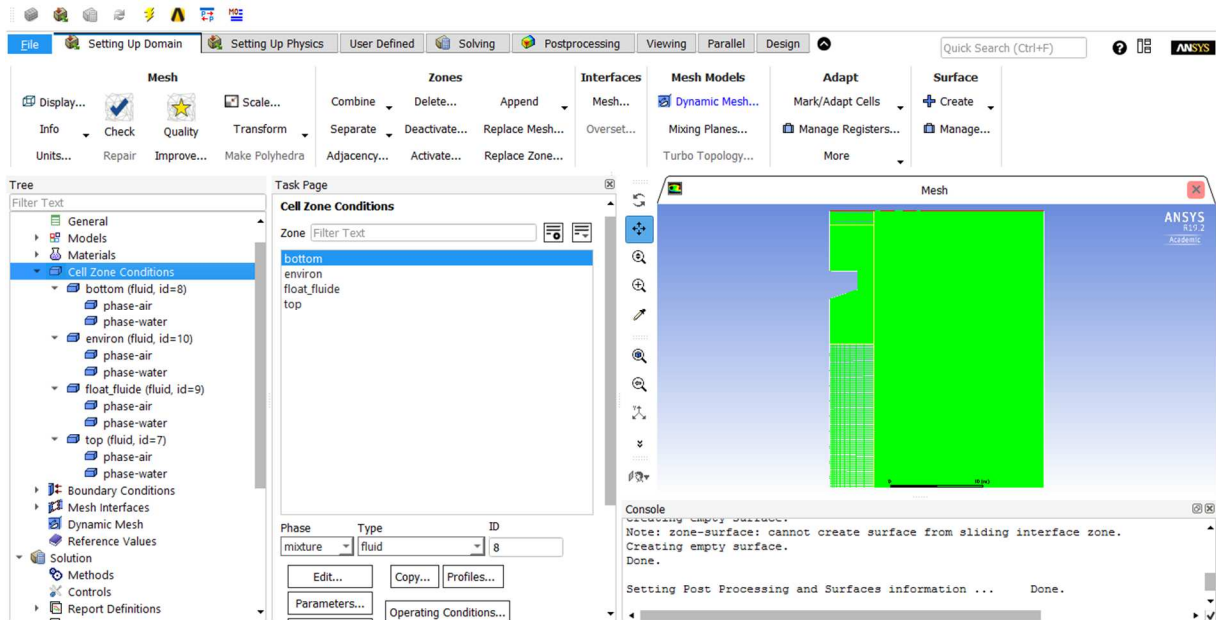


Figura 2.12: Cell Zone Conditions

## 2.5.4 Boundary Conditions

In Tabella 1 sono elencate le condizioni che vengono assegnate a ciascun elemento.

<u>Interface</u>	Contact_bottom
	Contact_env
	Contact_top
	Wall-bottom
	Wall-float_fluide
	Wall-top
<u>Internal</u>	Interface-1-interior-1-1
	Interface-1-interior-1-2
	Interface-1-interior-1-3
	Interface-1-interior-2-1
	Interface-1-interior-2-2

	Interface-1-interior-2-3
	Interface-1-interior-3-1
	Interface-1-interior-3-2
	Interface-1-interior-3-3
	Interior-bottom
	Interior-environ
	Interior-float_fluide
	Interior-top
<u>Pressure-Outlet</u>	Top_bound-environ
	Top_bound-top
<u>Wall</u>	Bottom_bound-bottom
	Bottom_bound-environ
	Contact_bottom-non-overlapping
	Contact_env-non-overlapping
	Contact_top-non-overlapping
	Float
	Pile-bottom
	Pile-top
	Pile-float_fluide
	Side_bound
	Wall-bottom-non-overlapping
	Wall-top-non-overlapping
	Wall-float_fluide-non-overlapping

*Tabella 1: Condizioni al contorno*

In altri termini, al limite superiore della geometria viene associata la condizione di pressione atmosferica mentre gli altri bordi esterni sono considerati come pareti per delimitare le regioni fluide e solide.

Ai segmenti che dividono il dominio in quattro parti è data la condizione di interfaccia che ha lo scopo di abbinare le superfici con mesh differenti. A queste pareti si deve porre particolare attenzione come si vedrà in seguito.

Come si può notare, il numero di elementi è superiore alle “Name Selections” definite in precedenza; il programma infatti genera automaticamente delle zone, alle quali deve essere associata una condizione, a causa della sovrapposizione della geometria e delle diverse mesh a contatto. Per questo appaiono elementi come “Contact\_env-non-overlapping”, “Wall-bottom” oppure “Interface-1-interior-1-1”.

### 2.5.5 Mesh Interface

Come accennato, l'utilizzo di mesh diverse per quattro differenti zone del dominio fluido, ha portato alla generazione di zone di interfaccia doppie quindi da tre zone definite in sede di “Name Selections”, se ne hanno a questo punto della simulazione il doppio. Infatti il codice legge per ciascun volume delle pareti di separazione differenti che devono avere lo stesso comportamento e quindi devono essere raggruppate come in Figura 2.13 per un buon funzionamento della simulazione.

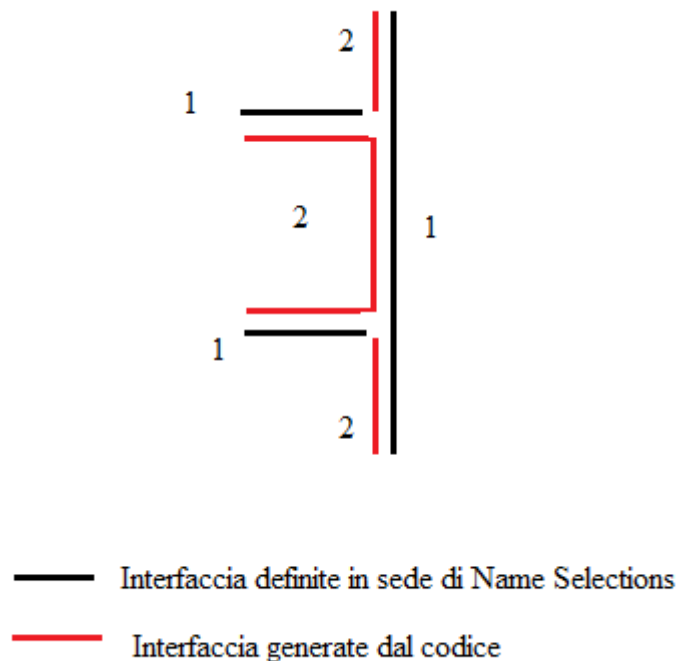


Figura 2.13: Schema Interfaccia

### 2.5.6 Dynamic Mesh

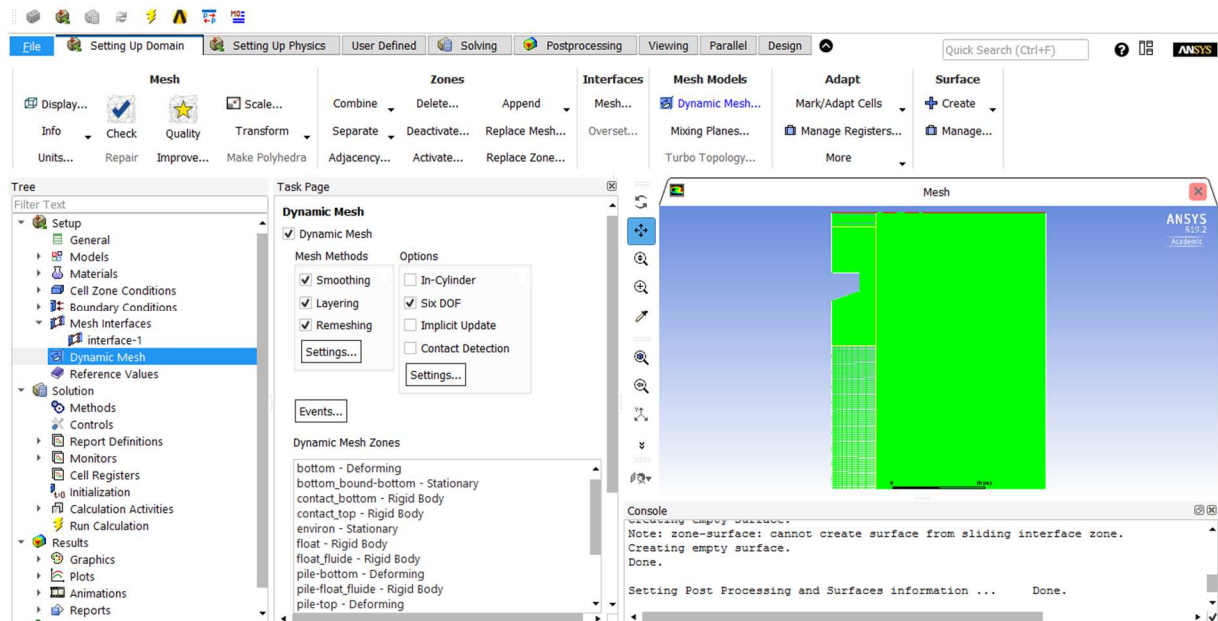
Float	Rigid Body
Float_fluide	Rigid Body
Pile-bottom	Deforming
Pile-float_fluide	Rigid Body
Pile-top	Deforming
Top	Deforming
Top_bound-top	Stationary
Wall-bottom	Deforming
Wall-float_fluide	Rigid Body
Wall-top	Deforming
Bottom	Deforming
Bottom_bound-bottom	Stationary
Contact_bottom	Rigid Body
Contact_top	Rigid Body
Environ	Stationary

*Tabella 2: Condizioni di Mesh Dinamica*

Il movimento di tipo corpo rigido è stato assegnato al galleggiante, al quale è stata assegnata una massa, che può essere variata in maniera parametrica. Anche il volume fluido circostante il floater e le superfici che lo delimitano, è stato assegnato un moto di tipo corpo rigido, ma passivo, ovvero il movimento di tali superfici di interfaccia segue passivamente il movimento del floater.

Tutti gli altri elementi che costituiscono la colonna centrale contenente il galleggiante sono deformabili, eccezione fatta per il bordo superiore e inferiore: la previsione è che le celle dei volumi Top e Bottom si stringano e/o allarghino omogeneamente in funzione dello spostamento del floater. Tutto ciò che è esterno alla colonna è stato assegnato come stazionario.





*Figura 2.14: Dynamic Mesh Methods*

Come è possibile vedere in figura 2.14, i metodi di mesh dinamica utilizzati sono stati lo smoothing, il layering e il remeshing al fine di ottenere ad ogni spostamento del floater ancora una mesh che ben misuri le caratteristiche dei fluidi.

## 2.5.7 Reference Values

In questa sezione si impostano i valori di riferimento, riferiti alle quantità fisiche derivate e ai coefficienti adimensionali che vengono utilizzati dal programma per la post elaborazione.

Ad esempio, il numero di Reynolds utilizza la lunghezza, la densità e la viscosità di riferimento, tutti parametri qui definiti come in Figura 2.15.

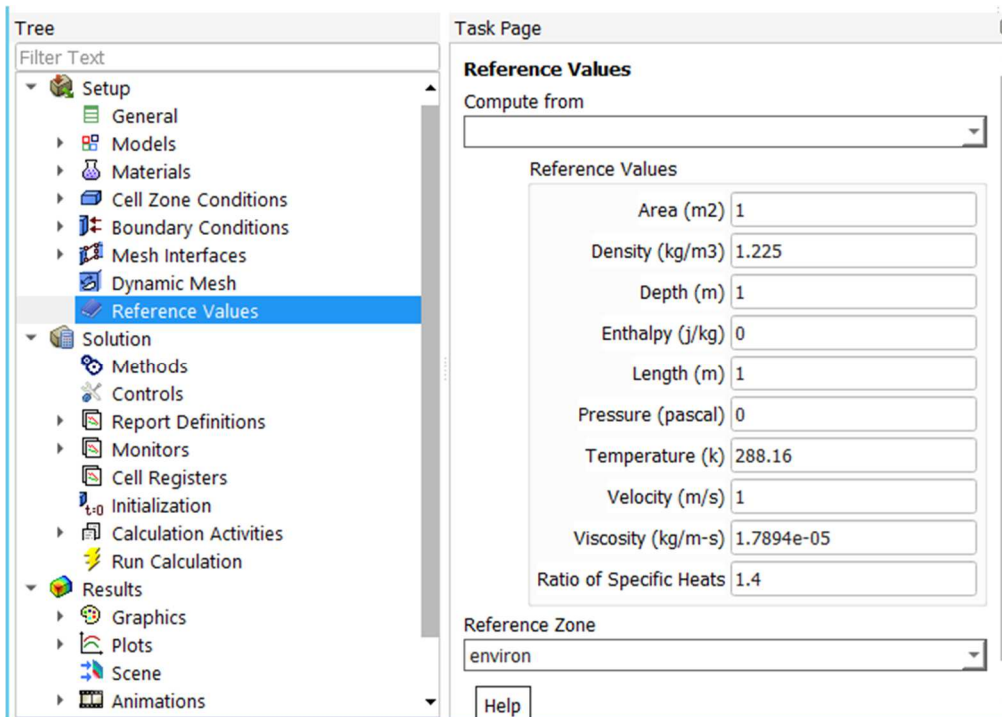


Figura 2.15: Reference Values Ansys

## 2.6 Solution

Come suggerito dallo stesso programma (Figura 2.16), nella sezione di soluzione, vengono impostate le metodologie di risoluzione della simulazione.

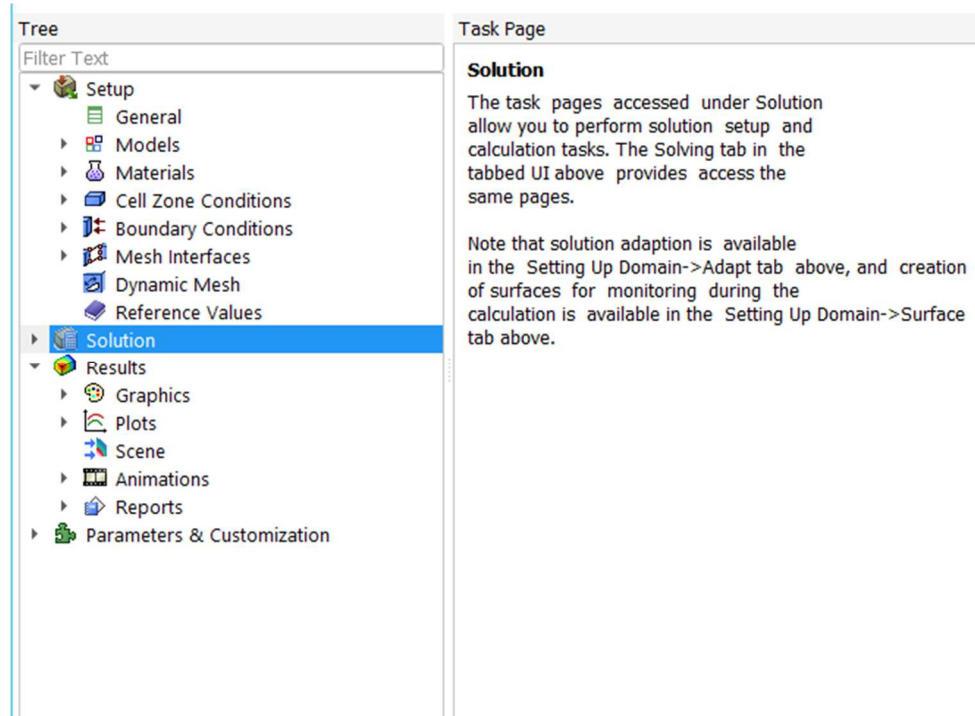


Figura 2.16: Solution Ansys

### 2.6.1 Methods

Nella pagina “Methods”, è possibile specificare vari parametri associati al metodo della soluzione da utilizzare nel calcolo.

Come si può vedere in figura 2.17, lo schema di accoppiamento velocità-pressione scelto per le simulazioni in esame il “Coupled” mentre per lo schema di discretizzazione utilizzato per l'equazione della pressione è il “Presto!”.

In figura 2.17-19 sono riportati tutti gli altri parametri.

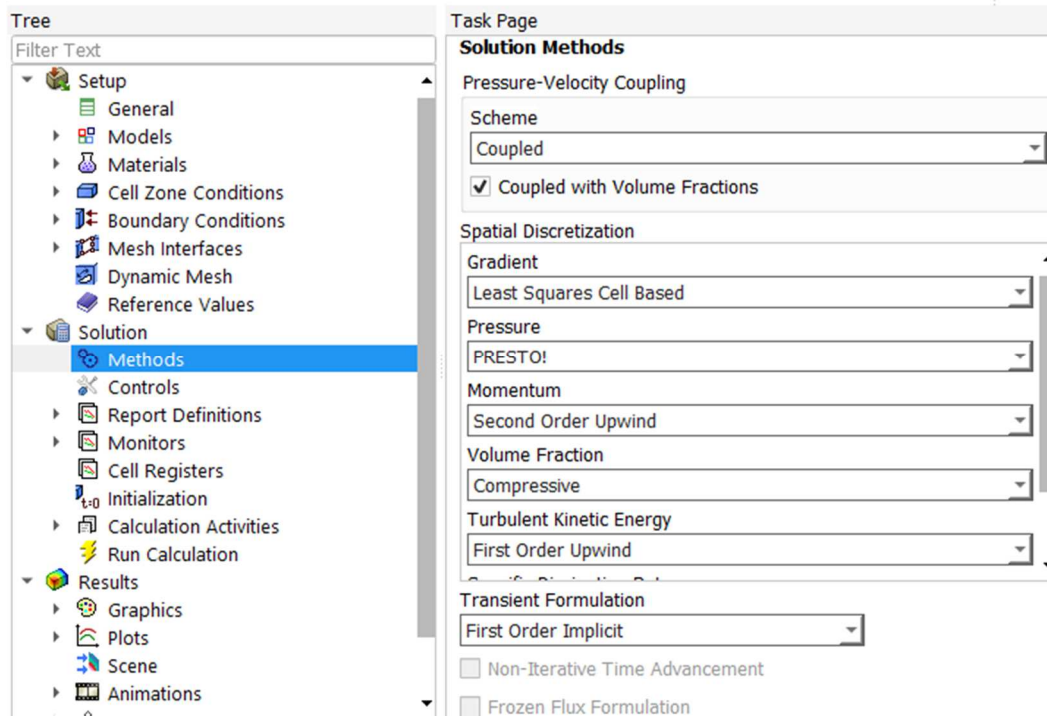


Figura 2.17: Solution Methods Ansys

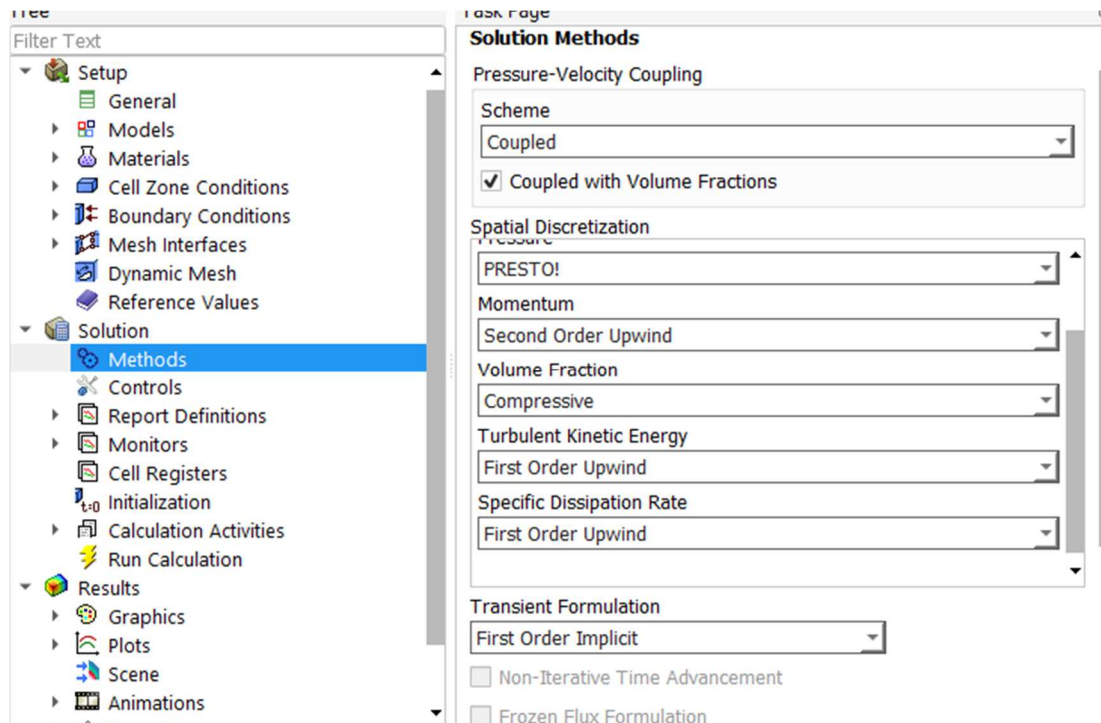


Figura 2.18: Solution Methods Ansys

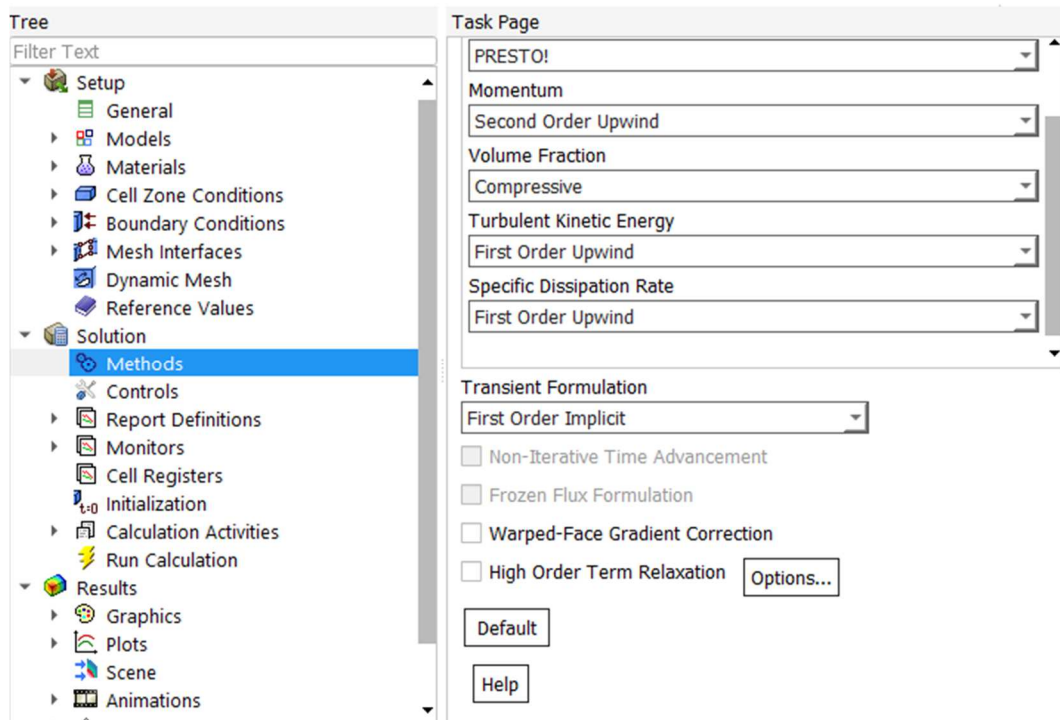


Figura 2.19: Solution Methods Ansys

## 2.6.2 Controls

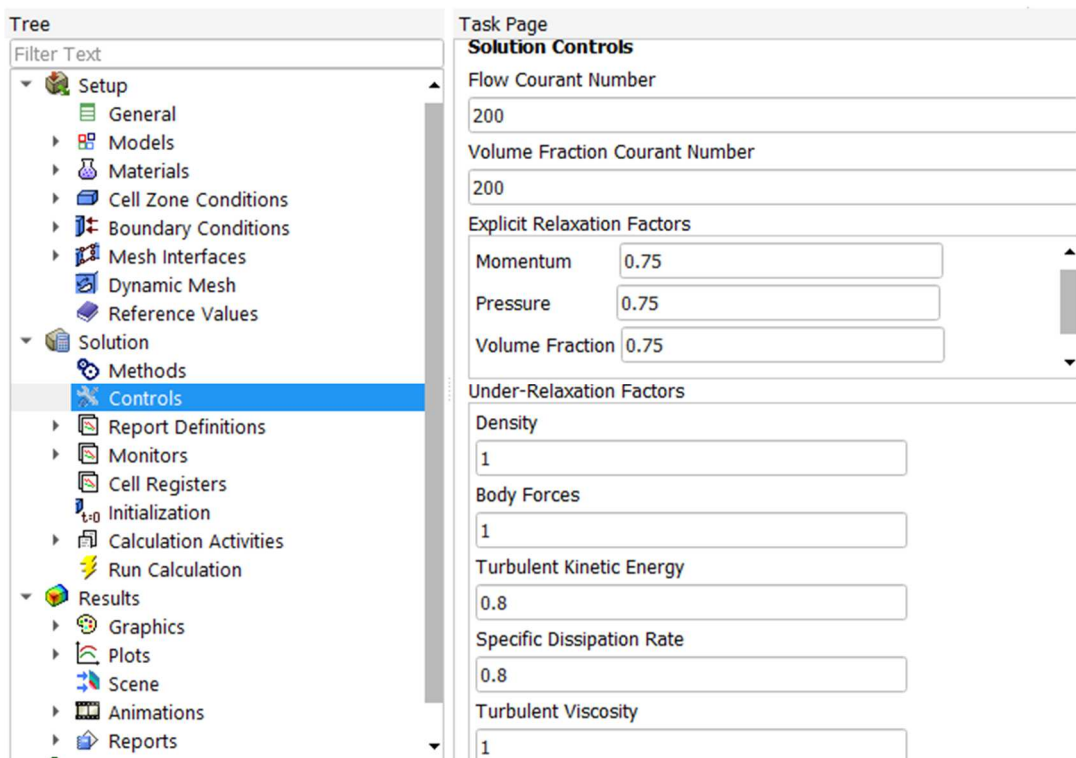


Figura 2.20: Controls Ansys

### 2.6.3 Monitors e Report Definition

Si impostano i valori di scarto residuo per la convergenza della soluzione iterativa pari a  $10^{-4}$  sulla continuità, la velocità in  $x$  e  $y$ , i coefficienti  $\omega$  e  $k$  (Figura 2.21) e si definiscono inoltre i parametri per la rappresentazione della soluzione. In particolare si creano plot della velocità verticale del floater, del suo spostamento e della forza di galleggiamento (Figura 2.22).

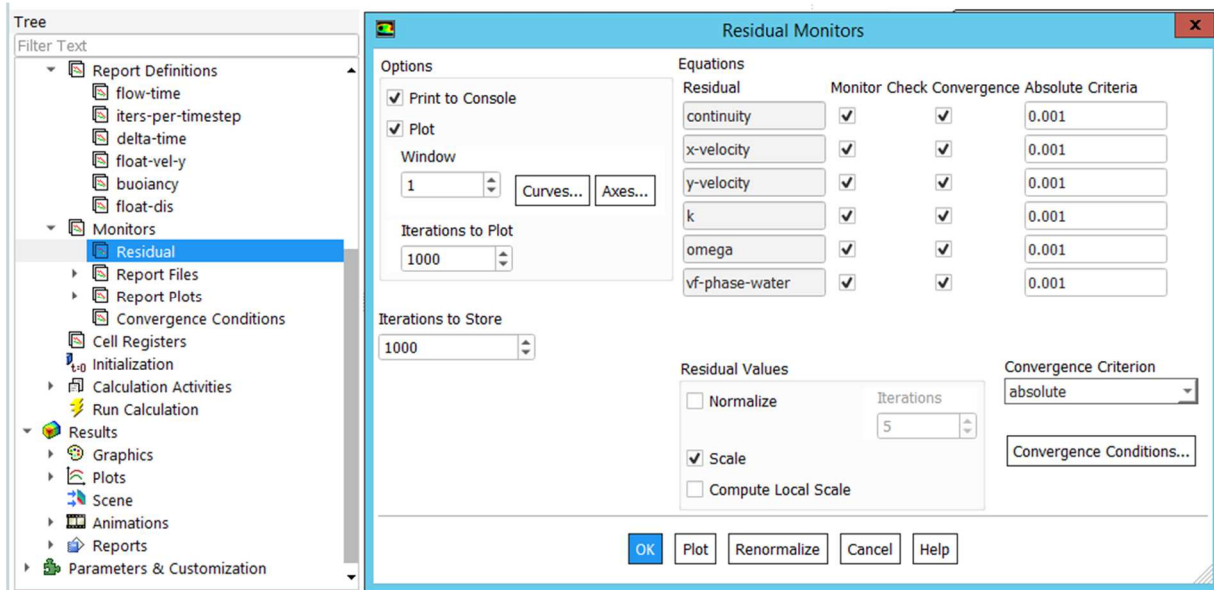


Figura 2.21: Residual Monitors

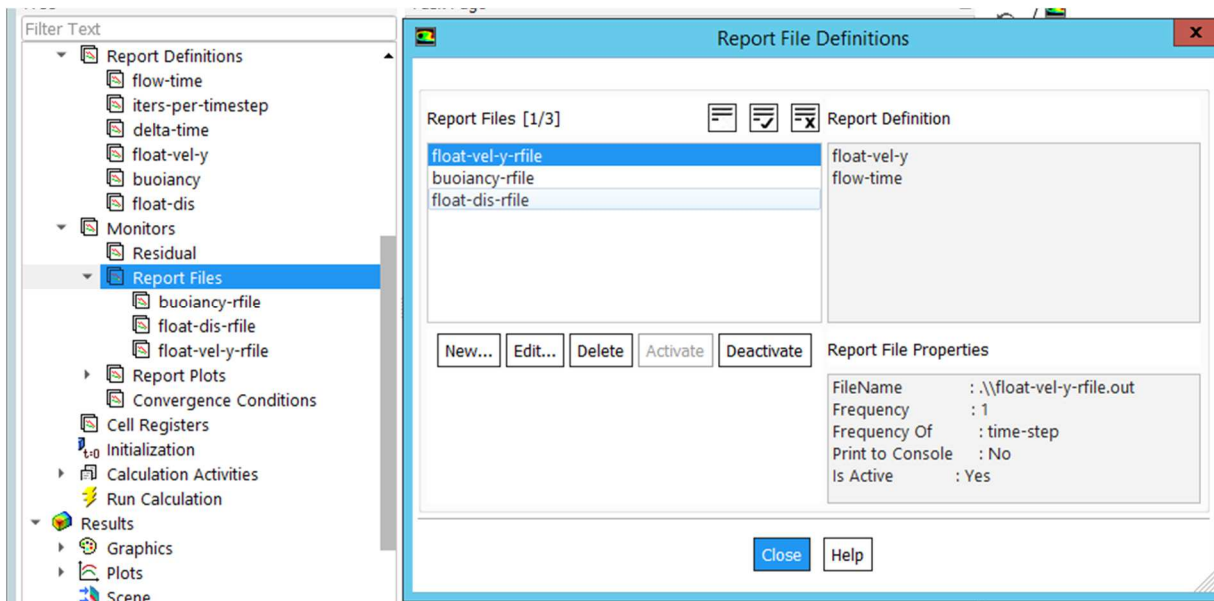


Figura 2.22: Report File Definitions

## 2.6.4 Initialization

Il metodo di inizializzazione utilizzato è quello standard e il sistema di riferimento non è assoluto ma relativo alle celle:

- Initialization Method - Standard Initialization
- Reference Frame – Relative to Cell Zone

Oltre ai valori iniziali riportati in Figura 23, si applica una patch per definire l'altezza del pelo libero dell'acqua all'istante iniziale. Le simulazioni, come si vedrà più avanti, sono state condotte sia per altezze d'acqua costanti sia variando tale condizione di partenza.

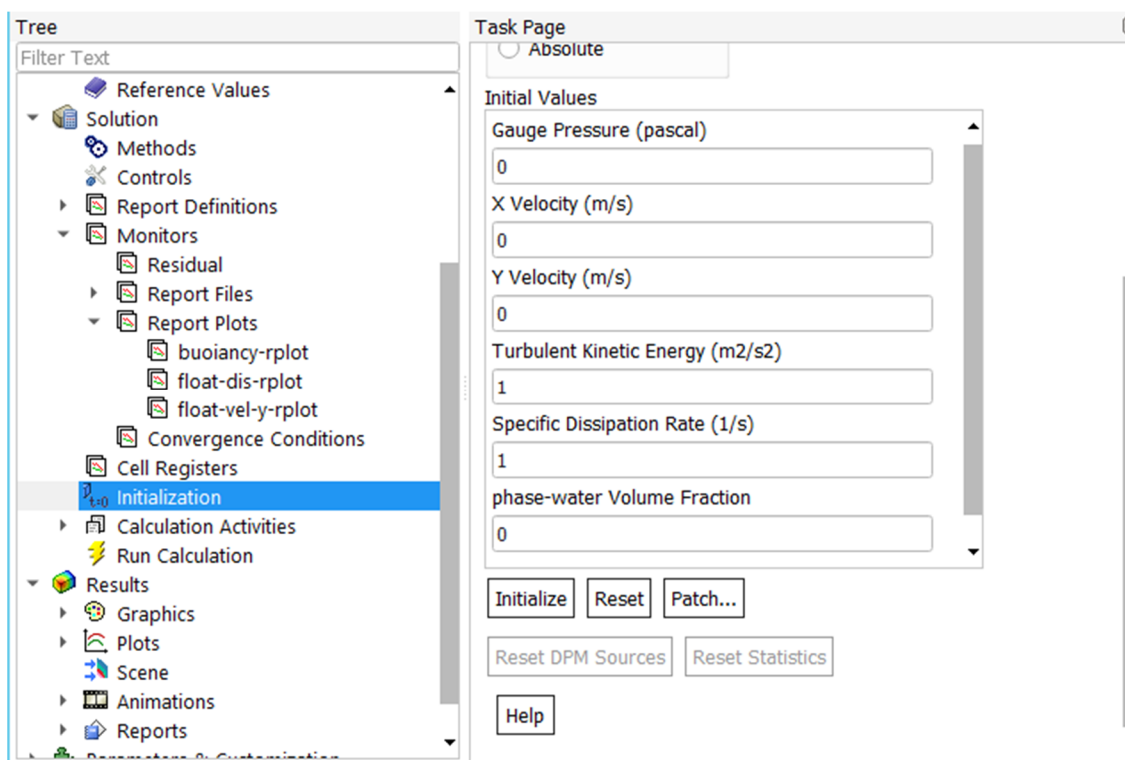


Figura 2.23: Initial Values-Initialization Ansys

## 2.6.5 Calculation Activities

In questa pagina è possibile impostare varie attività da eseguire durante il calcolo, come il salvataggio di file, l'esportazione di file, la creazione di animazioni della soluzione e l'esecuzione di comandi.

Come visibile in figura 2.24, nelle simulazioni in esame si è impostato il salvataggio automatico ogni 5 Time Step e due Solution Animations:

- Animation-1: contour-phases: mediante una mappa a colori si visualizzano le due fasi in termini di Volume Fraction.
- Animation-2: vector-velocity: mediante una mappa di vettori in colore si visualizzano versi e valori delle velocità.

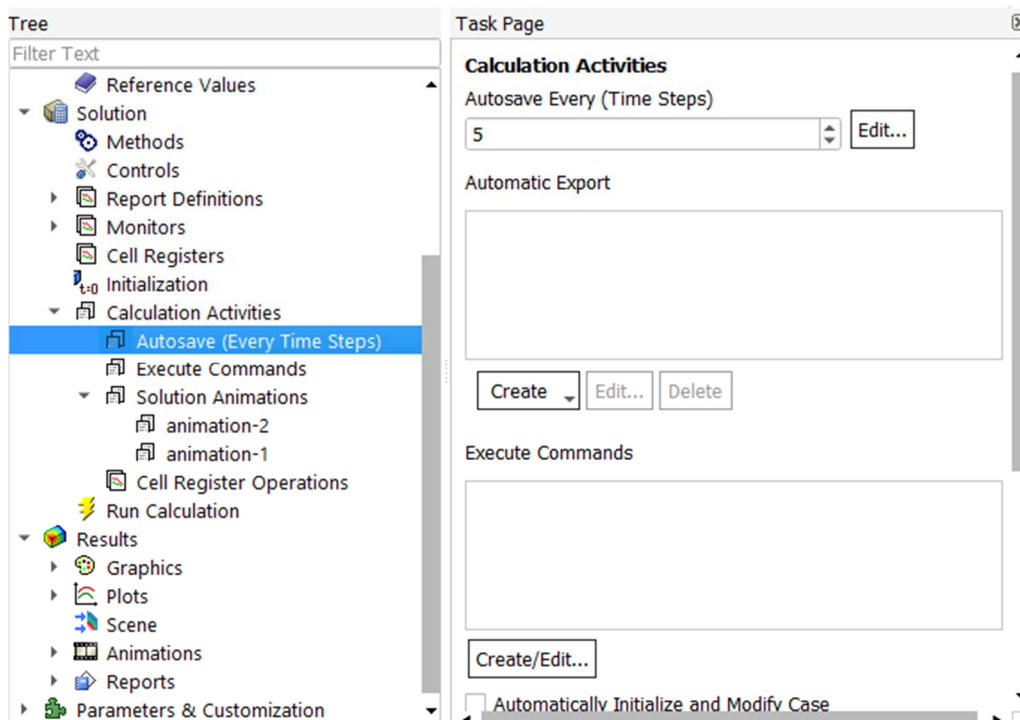


Figura 2.24: Calculation Activities-Autosave



## 2.6.6 Run Calculation

Nella sezione “Run Calculation”, si impongono le condizioni di iterazione del risolutore e viene fatta partire la simulazione.

Si impongono 500 Time Step di 0,01 s con un massimo di iterazioni pari a 250 per ogni Time Step. La scelta di questi valori è stata fatta a seguito di altre simulazioni con valori di dt differenti, pari a 0,001 s e 0,0001 s e variando la dimensione della mesh, raddoppiando e dimezzando i valori di sizing: i risultati migliori sono stati ottenuti con questo intervallo di tempo che è stato quindi selezionato per questo lavoro.

## 2.7 Results - Animations e Reports

La sezione dei “Results” è dedicata all’elaborazione dei risultati ottenuti dalle simulazioni. A seguire sono illustrati i passaggi di questa fase.

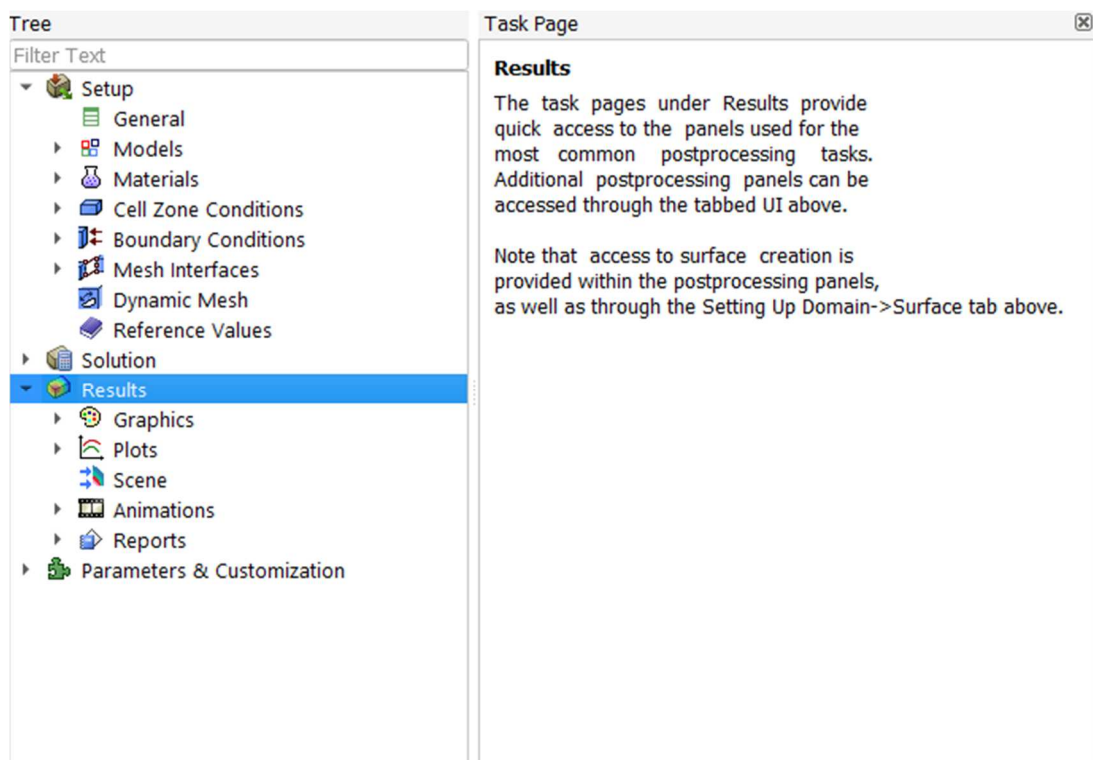


Figura 2.25: Results Ansys Set Up

Una volta eseguita e terminata la simulazione dal Set Up, il post processing, le cui caratteristiche desiderate sono state definite come sopra nel Set Up, viene terminato in un'altra sezione del Workbench dedicata chiamata, anche questa, "Results" (Figura 2.1). La pagina che si apre (figura 2.36) permette di definire le espressioni e le variabili, in particolare nel caso in esame le espressioni di spostamento e forza  $yfloatexp$  e  $yforcefloat$  e le variabili  $yfloatvar$  e  $yforcefloatvar$ .

È così possibile visualizzare i risultati sotto forma di grafici e immagini ai vari time step e creare video del processo.

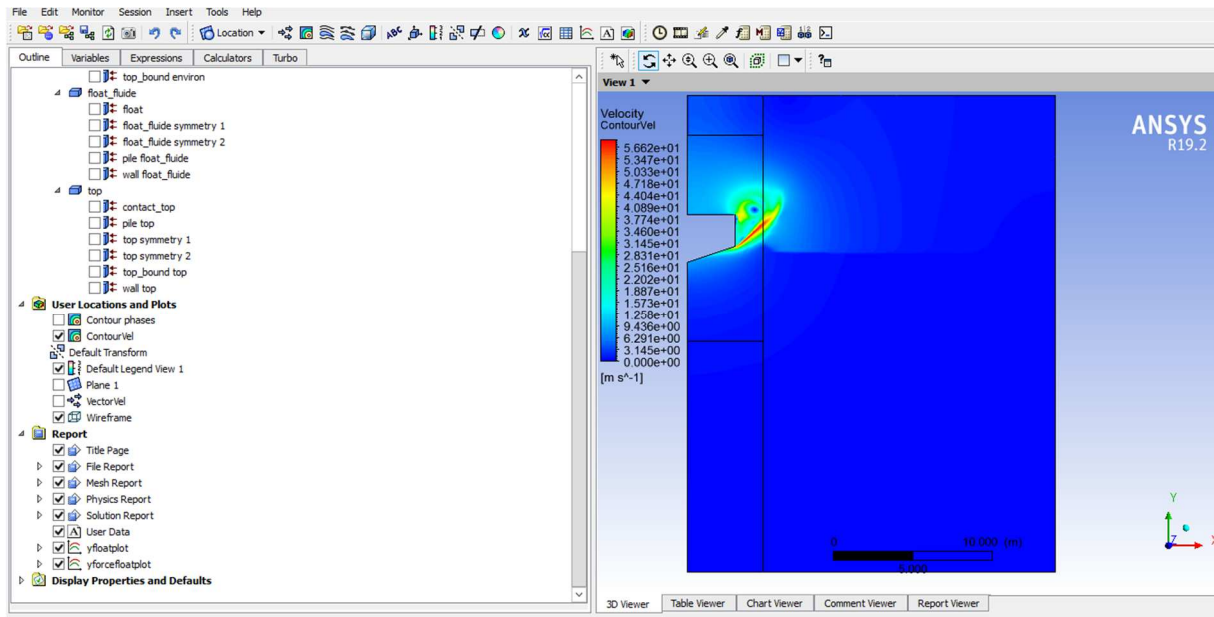


Figura 2.26: Post Processing

## 3. Simulazioni e risultati

### 3.1 Simulazioni sulla massa

Le simulazioni sono state svolte imponendo la geometria del floater, fissando l'altezza d'acqua a 21 m dal fondo del canale e facendo variare il peso. I pesi assegnati al floater sono i seguenti e sono stati scelti a partire da una valutazione di volume e densità:

- 3000 kg
- 2000 kg
- 1000 kg
- 500 kg.

In particolare, il volume di volume  $15 \text{ m}^3$ , è stato calcolato secondo la geometria esposta in precedenza in 2D ovvero per un volume cavo costituito da un trapezio e un rettangolo e altezza unitaria. Perché il corpo sia in grado di oscillare in assenza di onde, si è valutato che la sua densità dovesse essere almeno inferiore ad un quarto di quella dell'acqua così si sono valutati i pesi. Di seguito sono riportate le densità del volume solido per i quattro casi:

- Peso 3000 kg → Densità  $200 \text{ kg/m}^3$
- Peso 2000 kg → Densità  $133,33 \text{ kg/m}^3$
- Peso 1000 kg → Densità  $66,67 \text{ kg/m}^3$
- Peso 500 kg → Densità  $33 \text{ kg/m}^3$

Si riportano in seguito i risultati in termini di spostamento verticale del floater, forza verticale sul floater, mappe di fase e di velocità.

Simulazione 3000 kg, altezza d'acqua 21 m

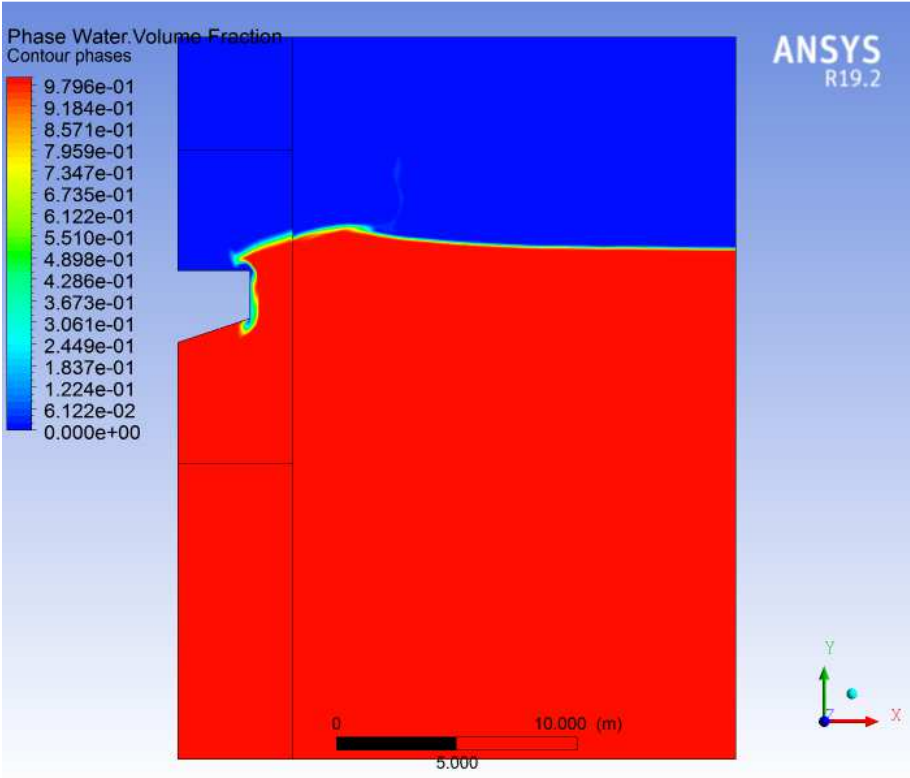


Figura 3.1: Mappa di fase-3000kg,21m

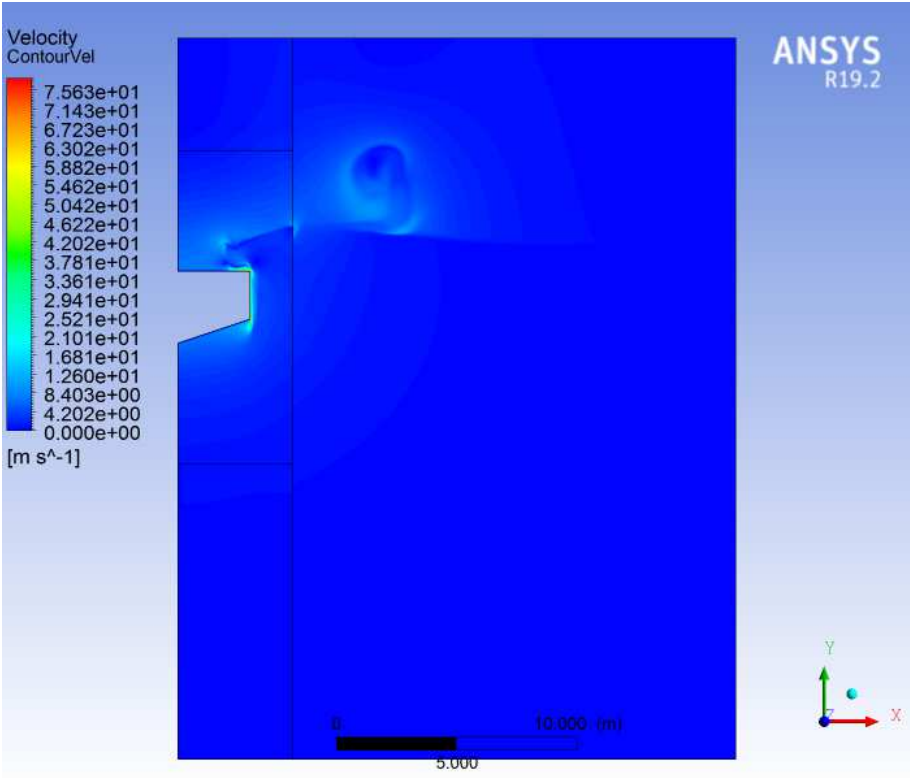


Figura 3.2: Mappa di velocità-3000kg,21m

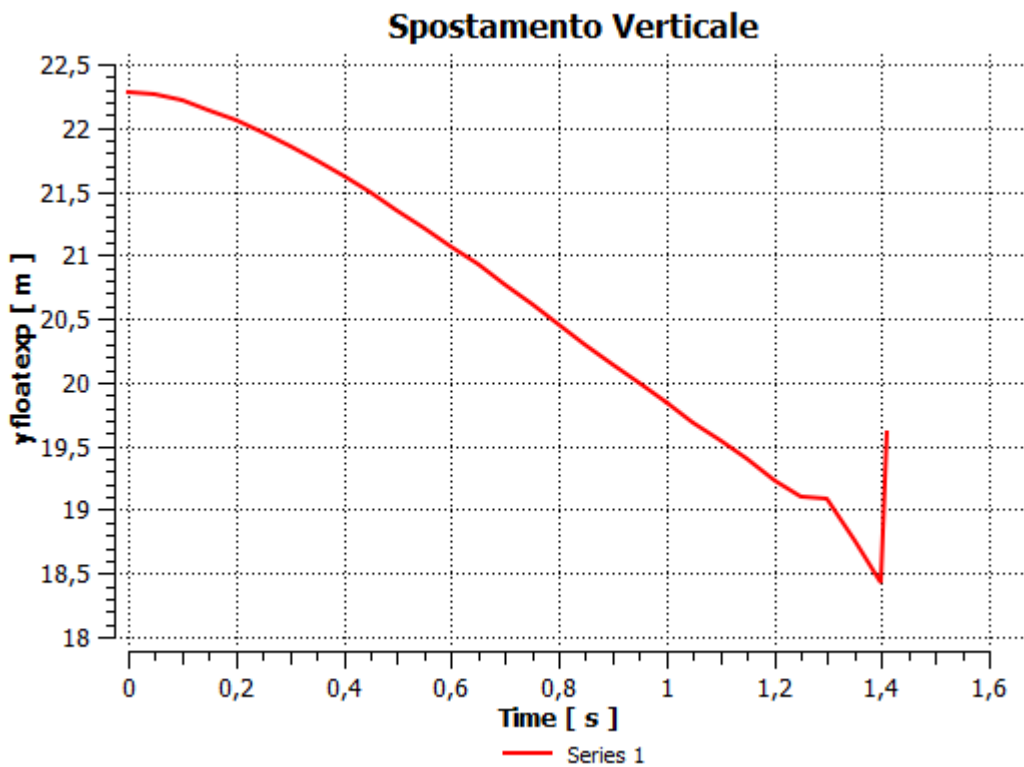


Figura 3.3: Grafico di spostamento verticale del floater nel tempo-3000kg,21m

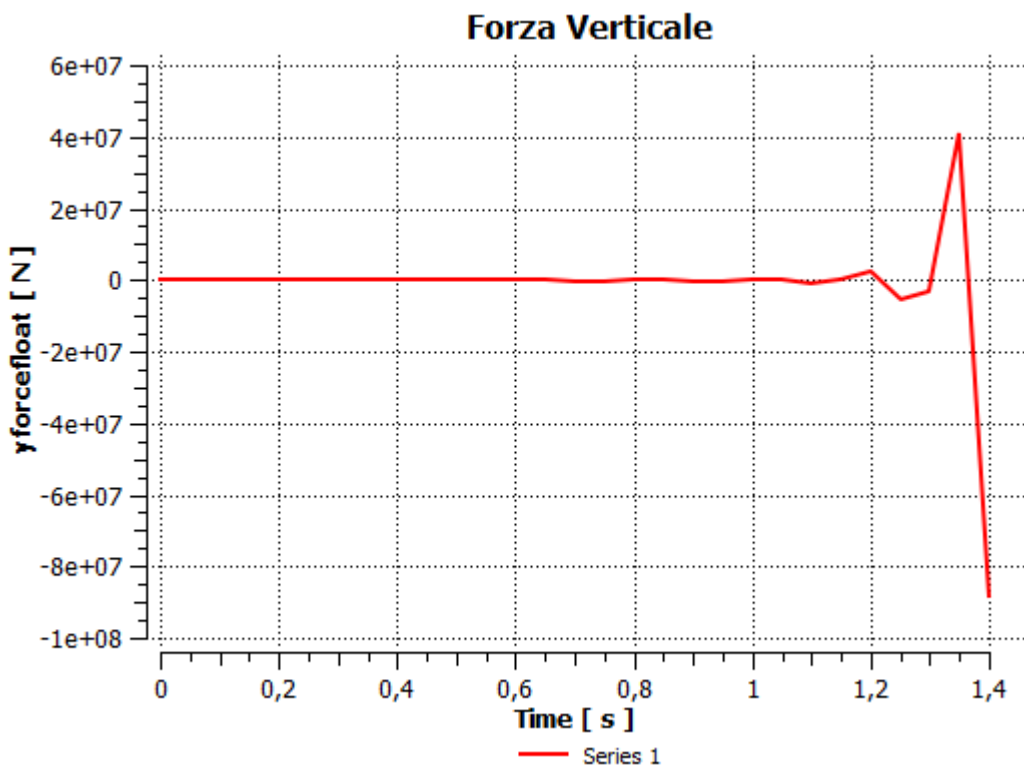
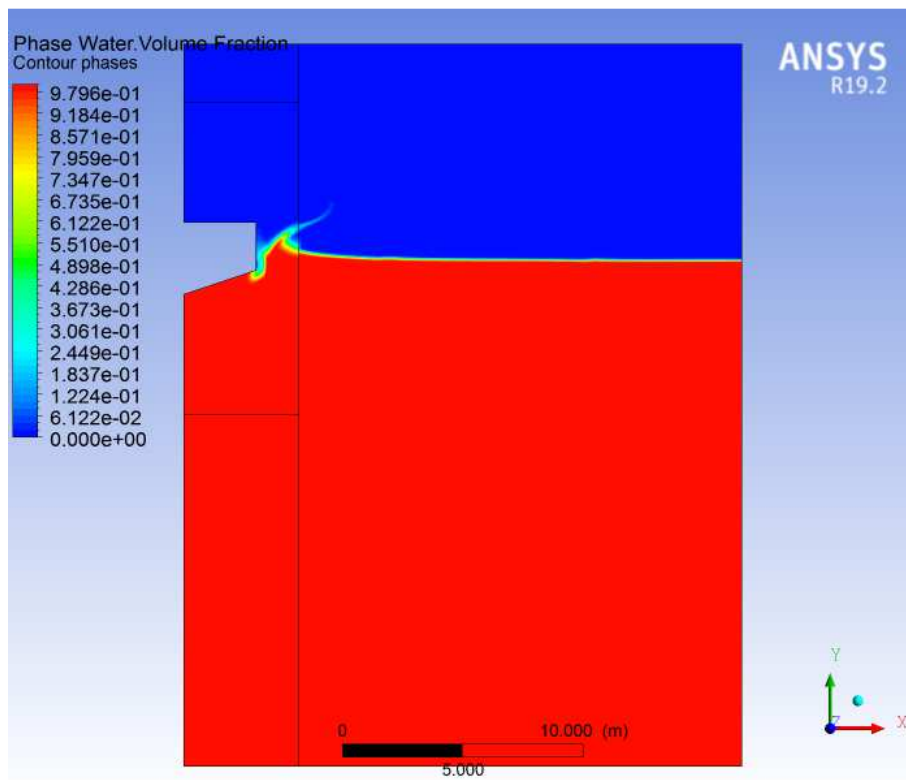
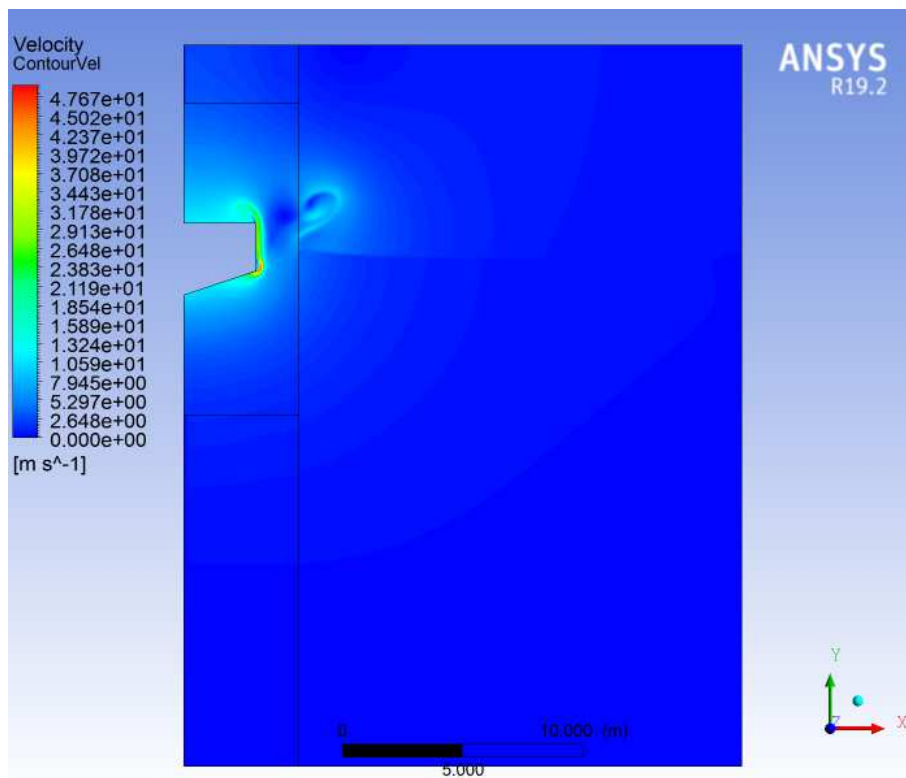


Figura 3.4: Grafico di forza verticale sul floater nel tempo-3000kg,21m

Simulazione 2000 kg, altezza d'acqua 21 m



*Figura 3.5: Mappa di fase-2000kg,21m*



*Figura 3.6: Mappa di velocità-2000kg,21m*

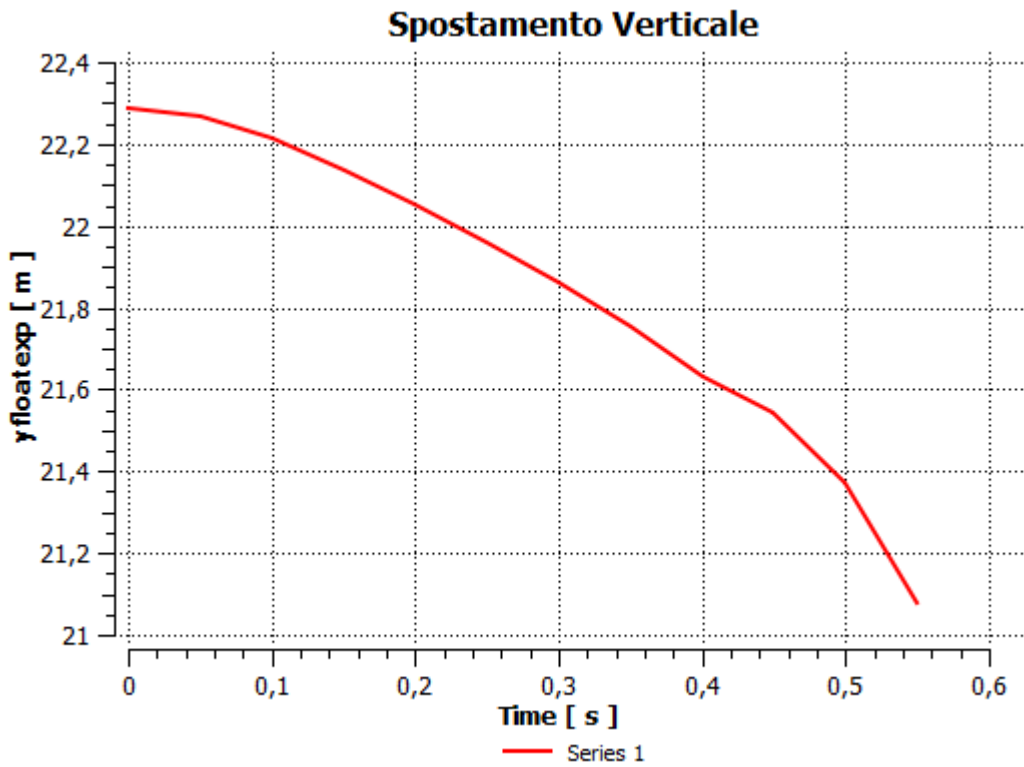


Figura 3.7: Grafico di spostamento verticale del floater nel tempo-2000kg,21m

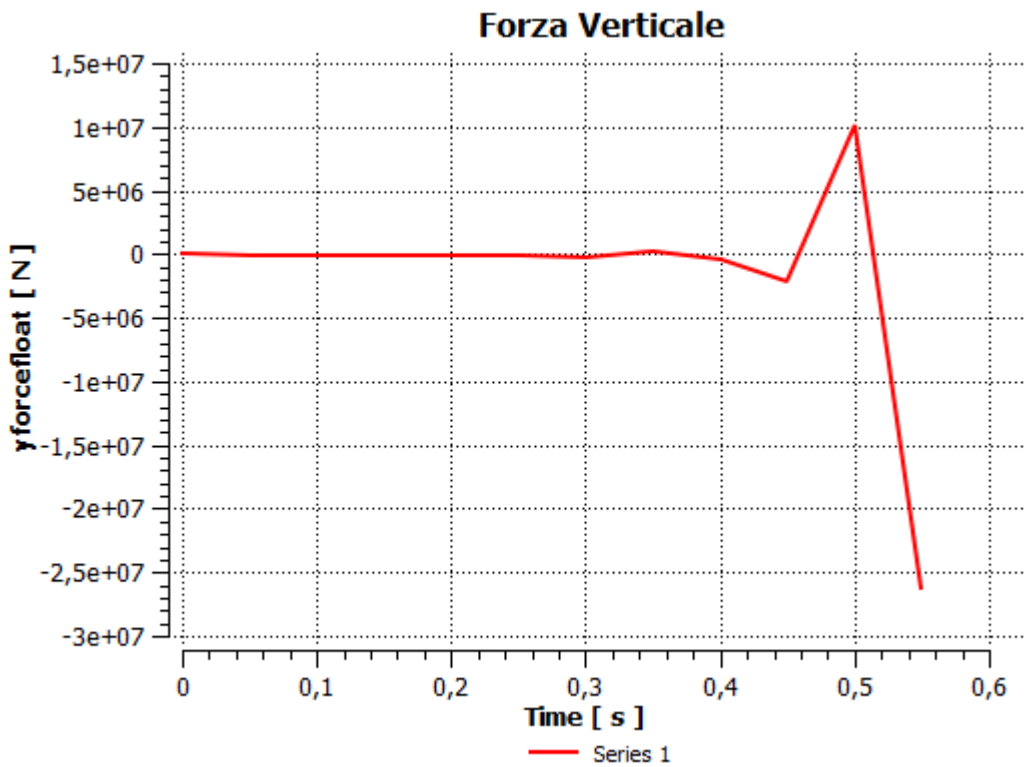
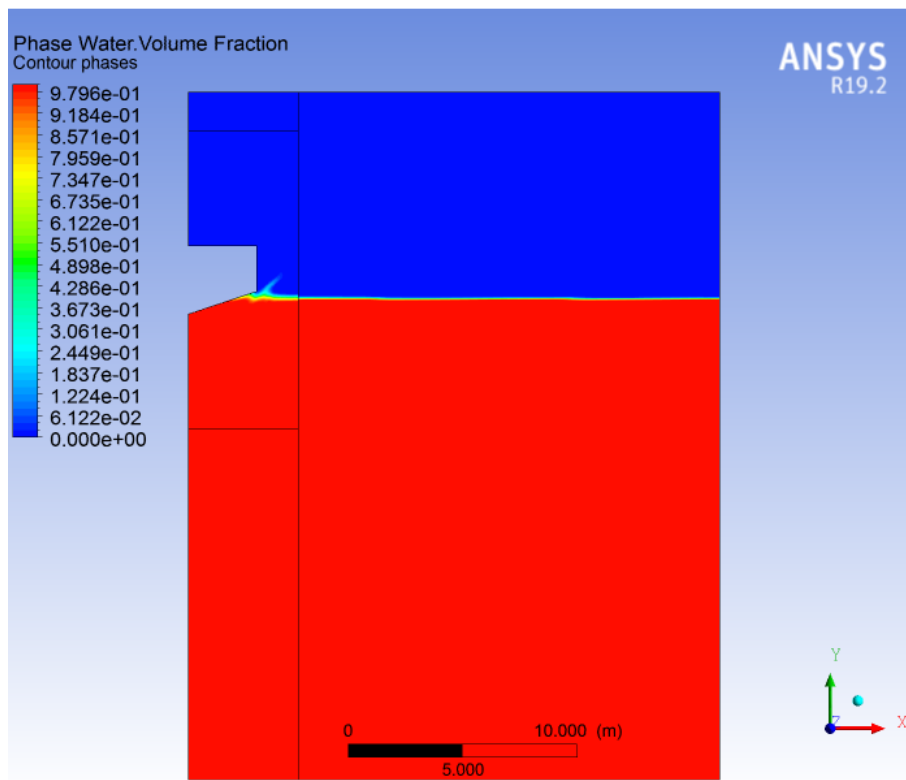
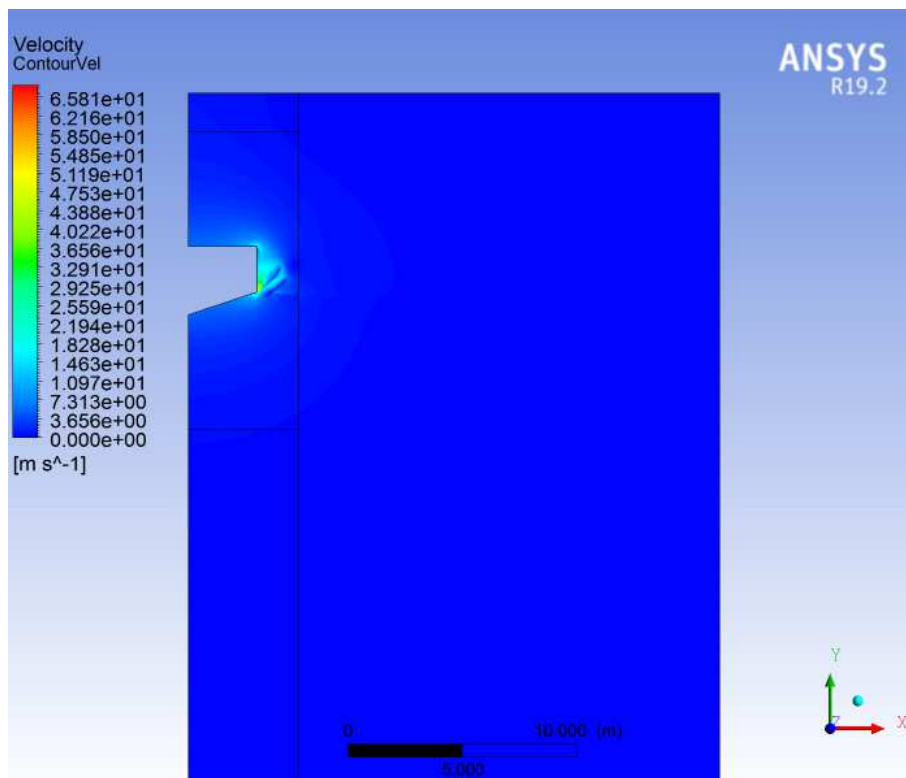


Figura 3.8: Grafico di forza verticale sul floater nel tempo-2000kg,21m

Simulazione 1000 kg, altezza d'acqua 21 m



*Figura 3.9: Mappa di fase-1000kg,21m*



*Figura 3.10: Mappa di velocità-1000kg,21m*



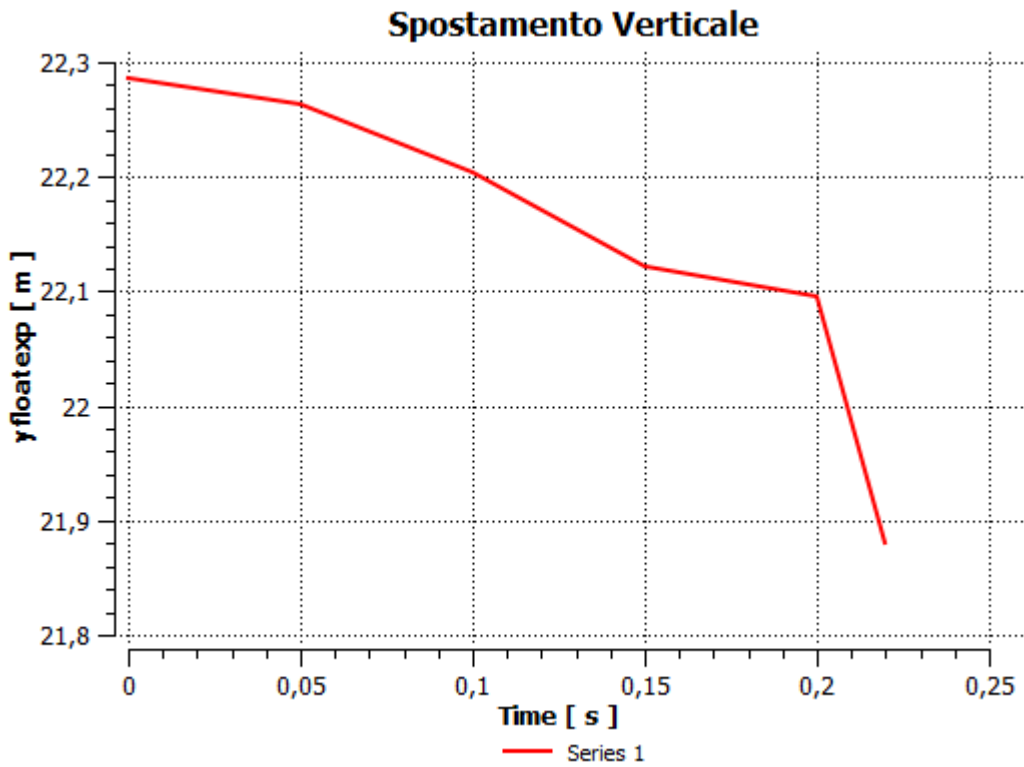


Figura 3.11: Grafico di spostamento verticale del floater nel tempo-1000kg,21m

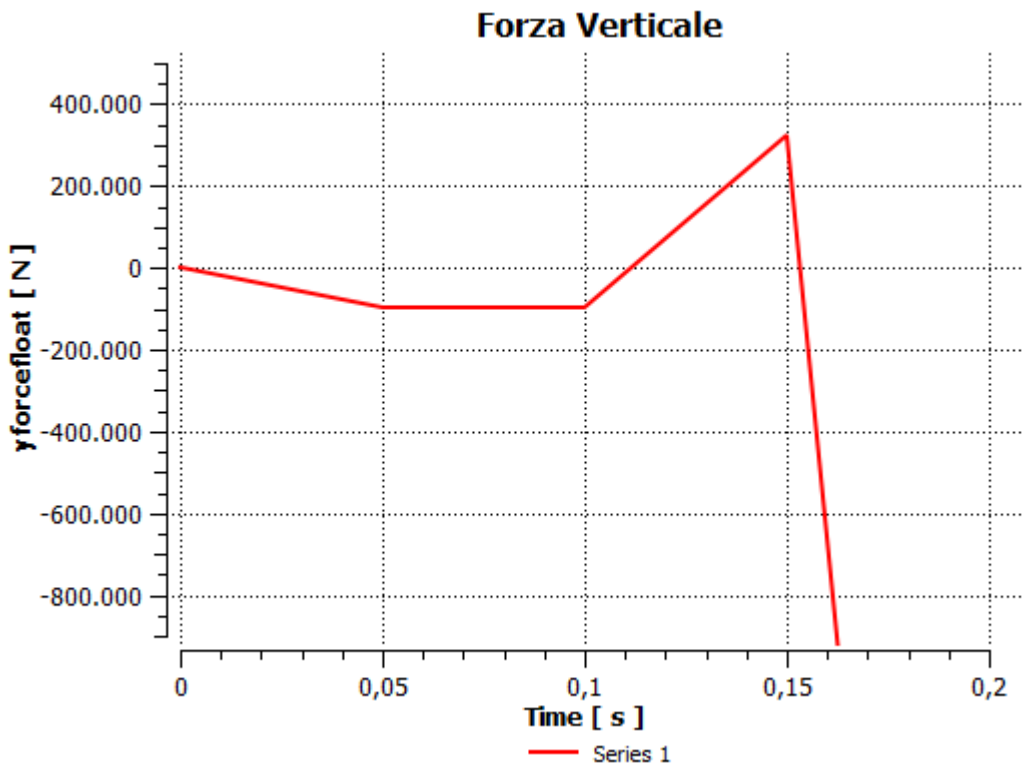


Figura 3.12: Grafico di forza verticale sul floater nel tempo-1000kg,21m

Simulazione 500 kg, altezza d'acqua 21 m

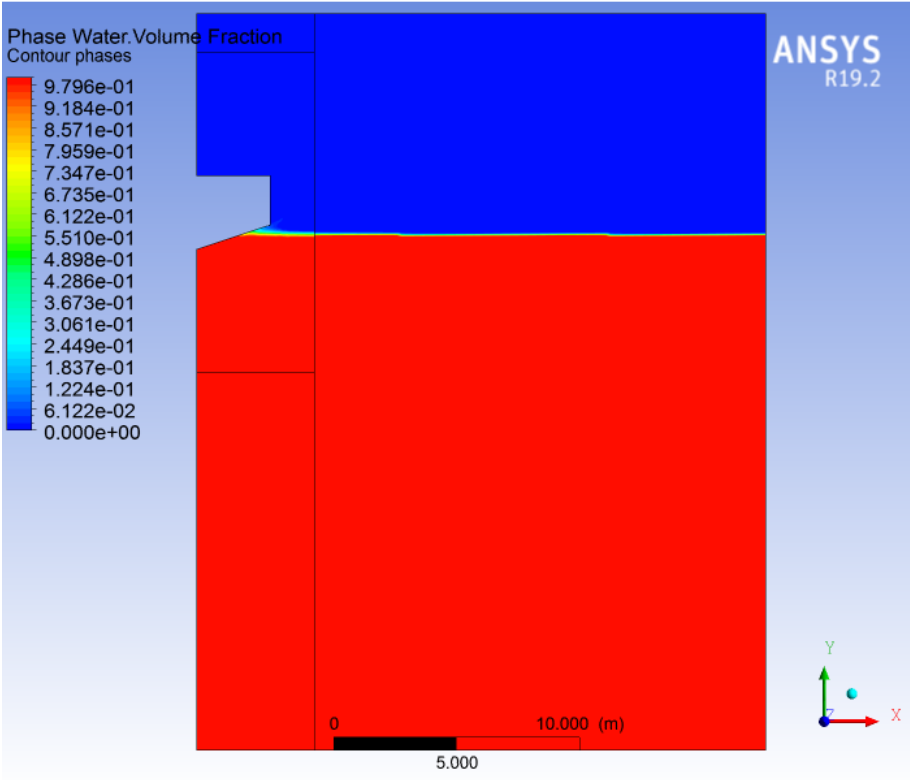


Figura 3.13: Mappa di fase-500kg,21m

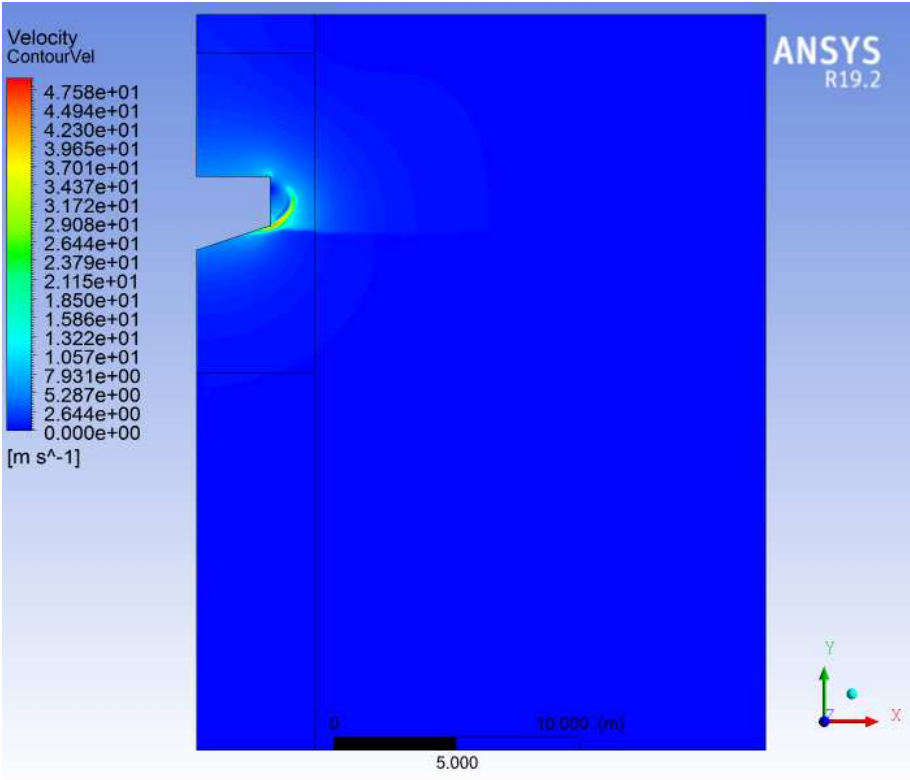


Figura 3.14: Mappa di velocità-500kg,21m

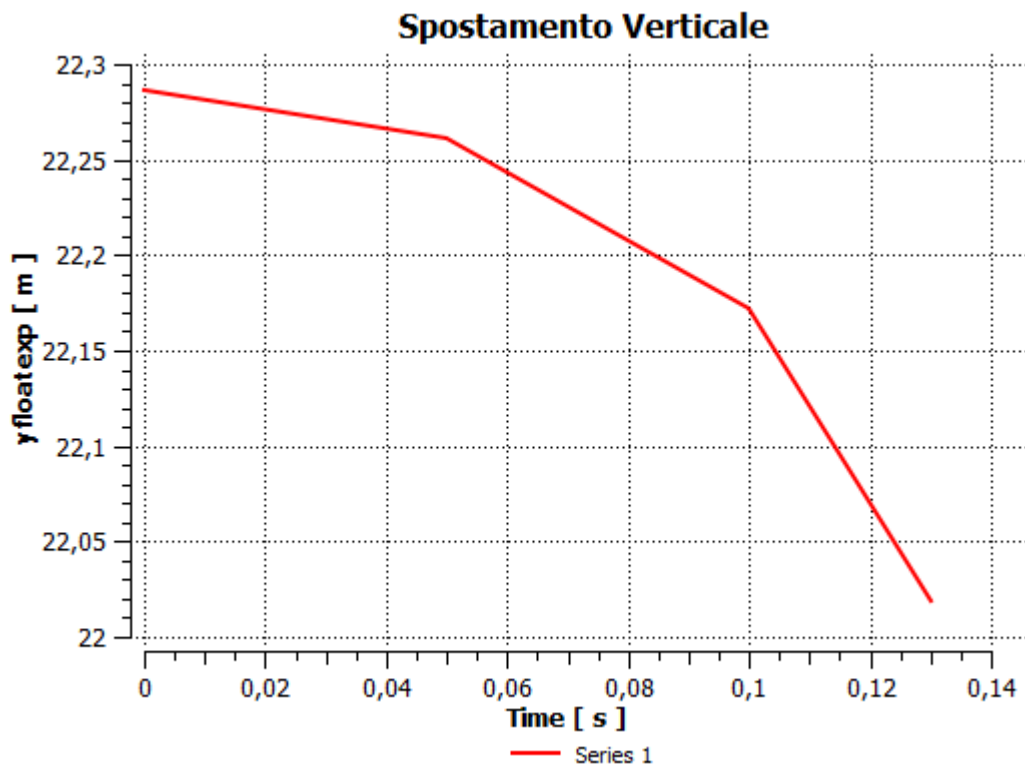


Figura 3.15: Grafico di spostamento verticale del floater nel tempo-500kg,21m

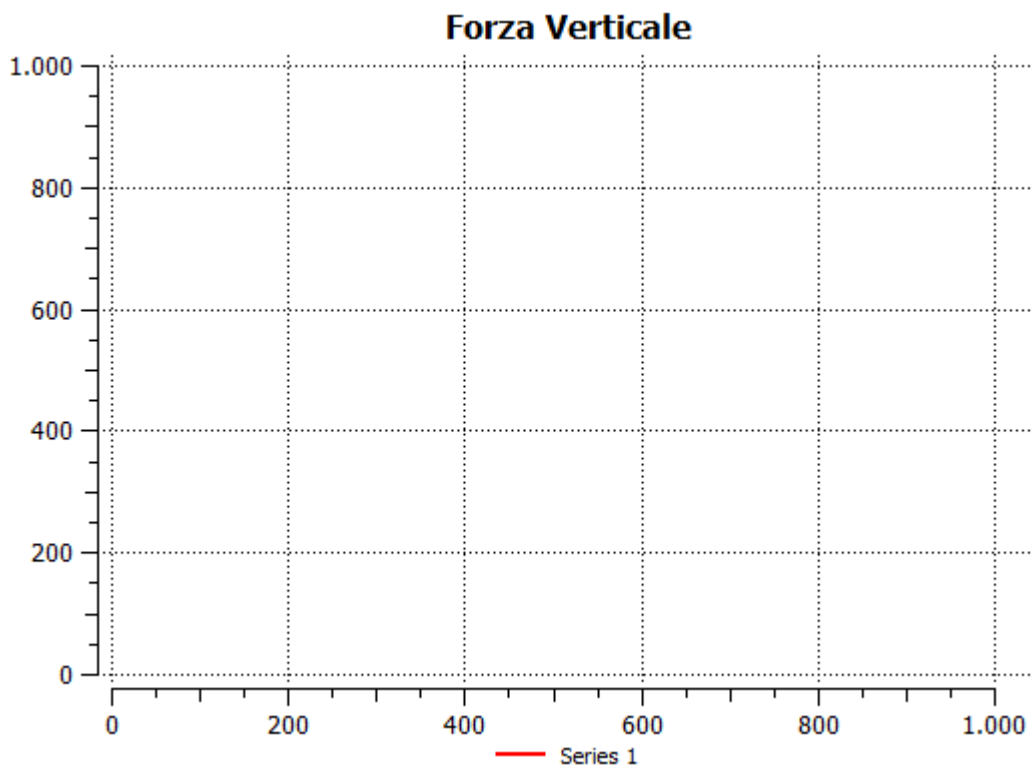


Figura 3.16: Grafico di forza verticale sul floater nel tempo-500kg,21m

### **3.2 Simulazioni sull'altezza d'acqua**

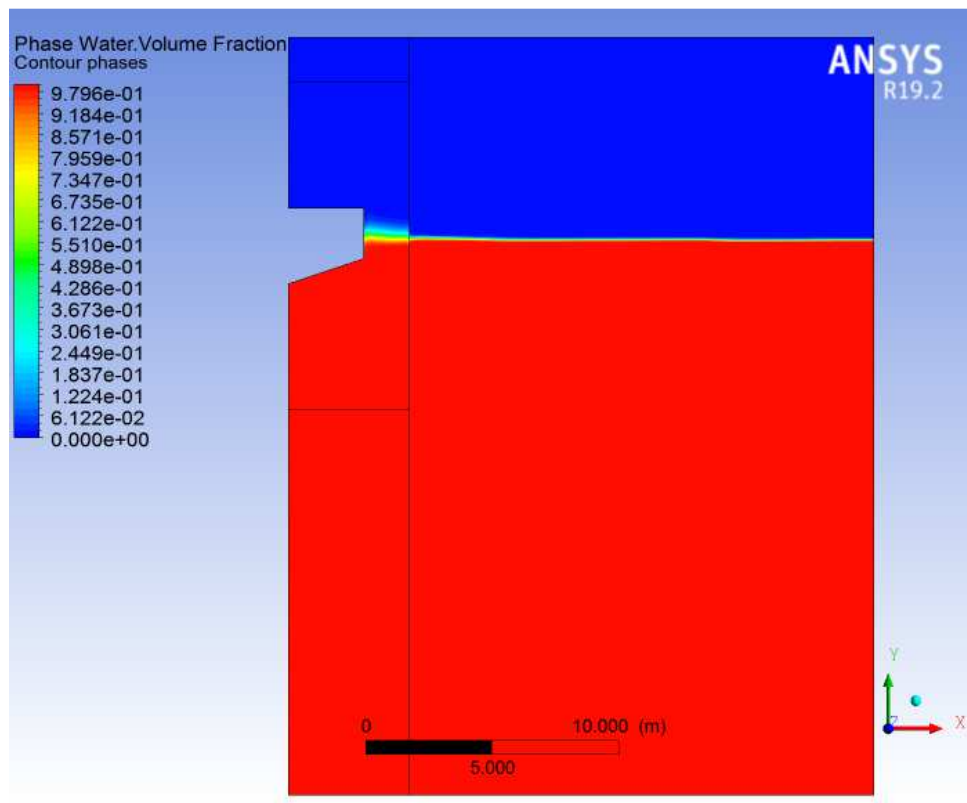
Un secondo set di simulazioni è stato condotto fissando il peso e la geometria ma variando la profondità dell'acqua (ovvero le caratteristiche dell'inizializzazione) per vedere come questo influisce sulla risposta del floater.

In particolare si è posto il pelo libero in tre diverse condizioni:

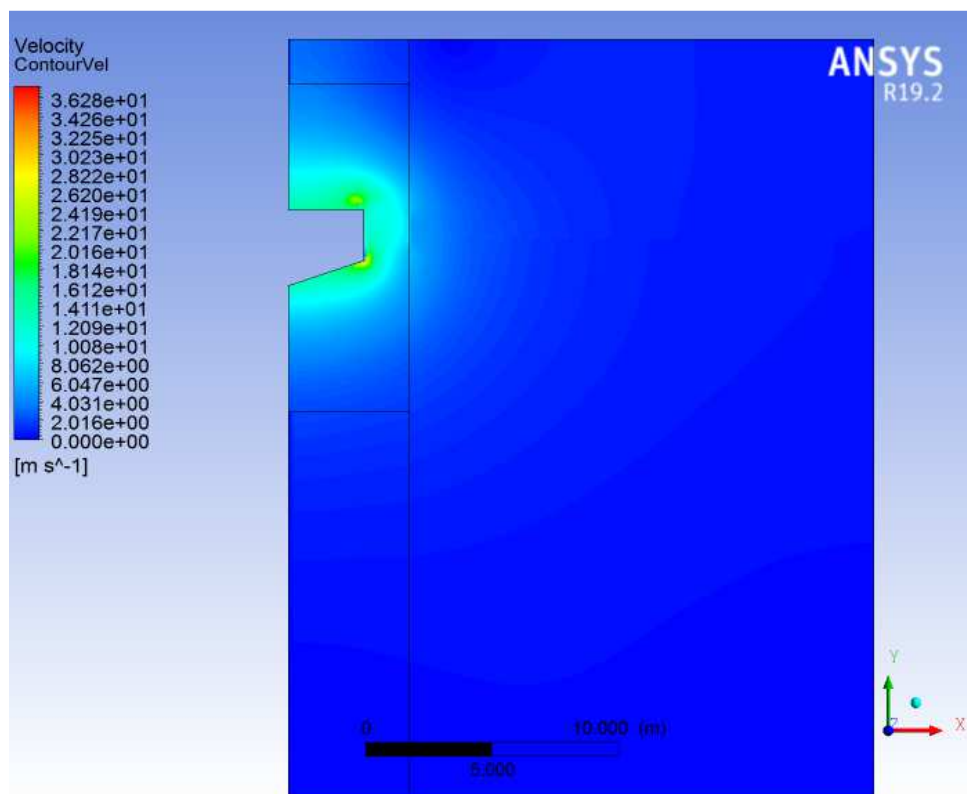
- 20 m dal fondo del canale: interseca il dispositivo sull'ormeggio (pile)
- 21 m dal fondo del canale: interseca il galleggiante nel volume conico
- 22 m dal fondo del canale: interseca il galleggiante nel volume cilindrico

Si riportano in seguito i risultati in termini di spostamento verticale del floater, forza verticale sul floater, mappe di fase e di velocità.

Simulazione 2000 kg, altezza d'acqua 22m



*Figura 3.17 : Mappa di fase-2000kg,22m*



*Figura 3.18 : Mappa di velocità-2000kg,22m*

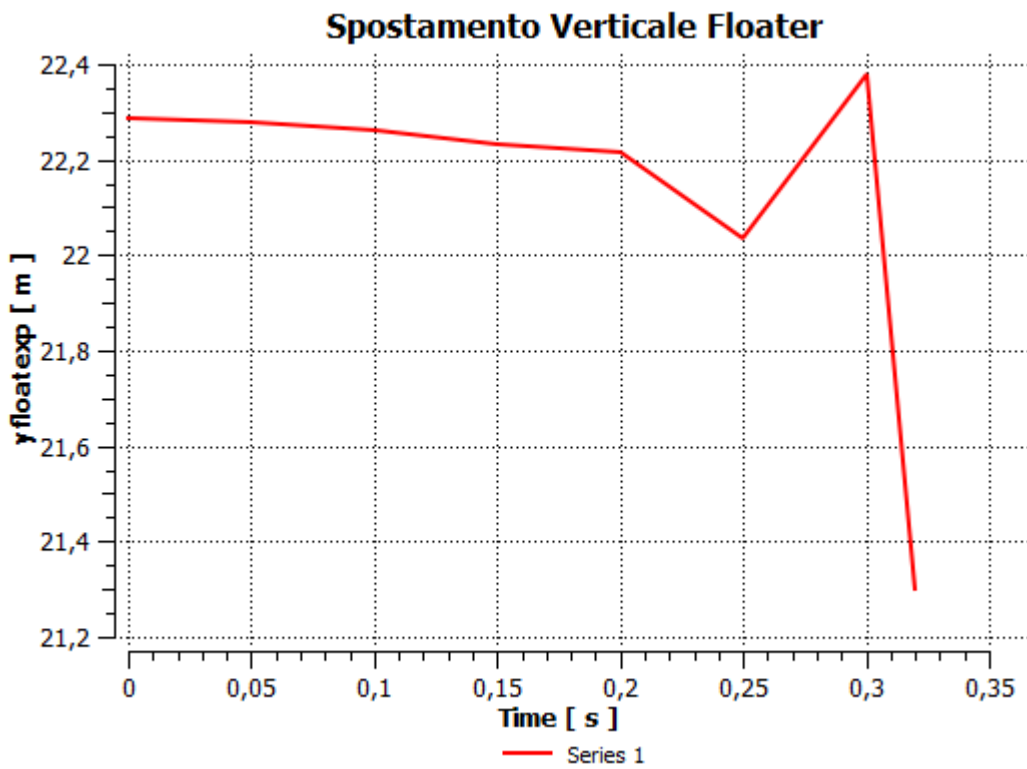


Figura 3.19: Grafico di spostamento verticale sul floater nel tempo-2000kg,22m

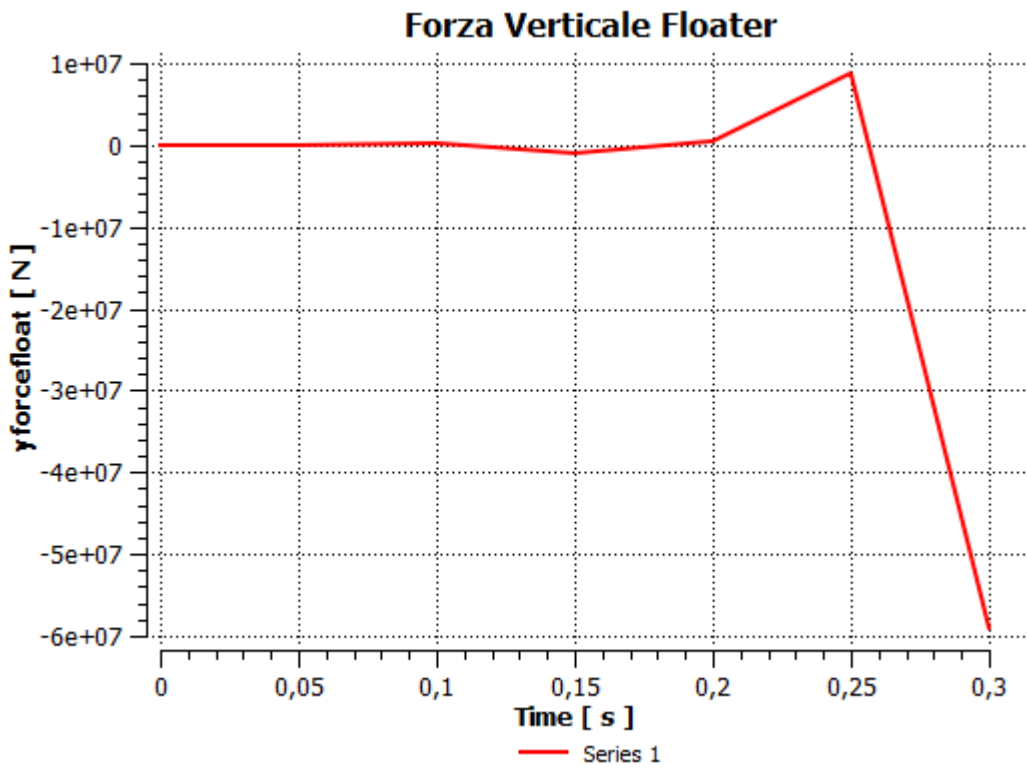
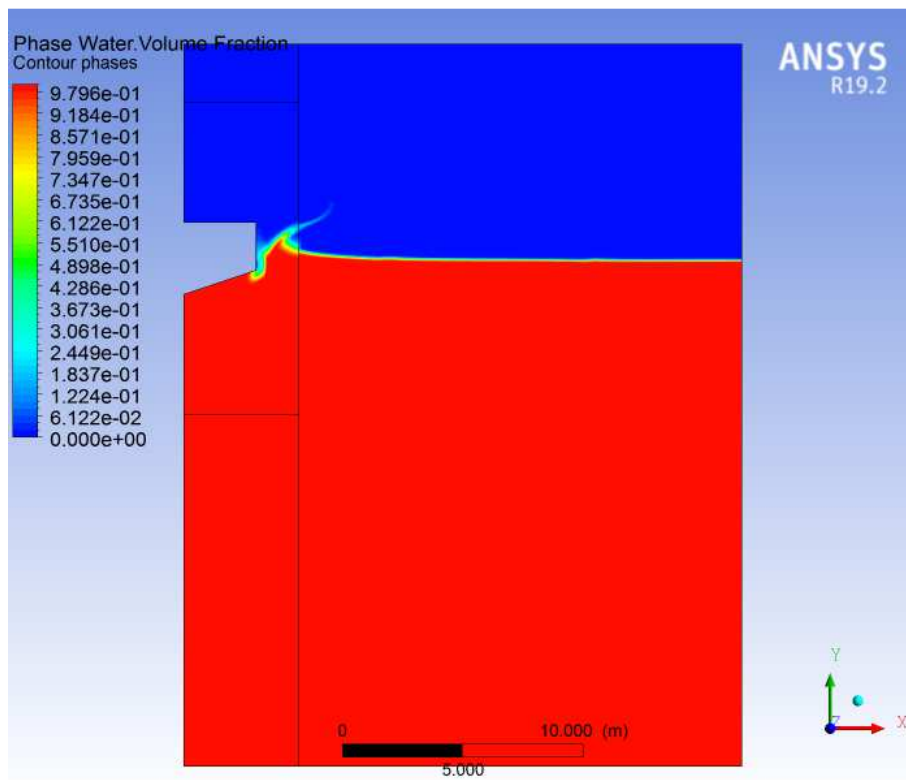
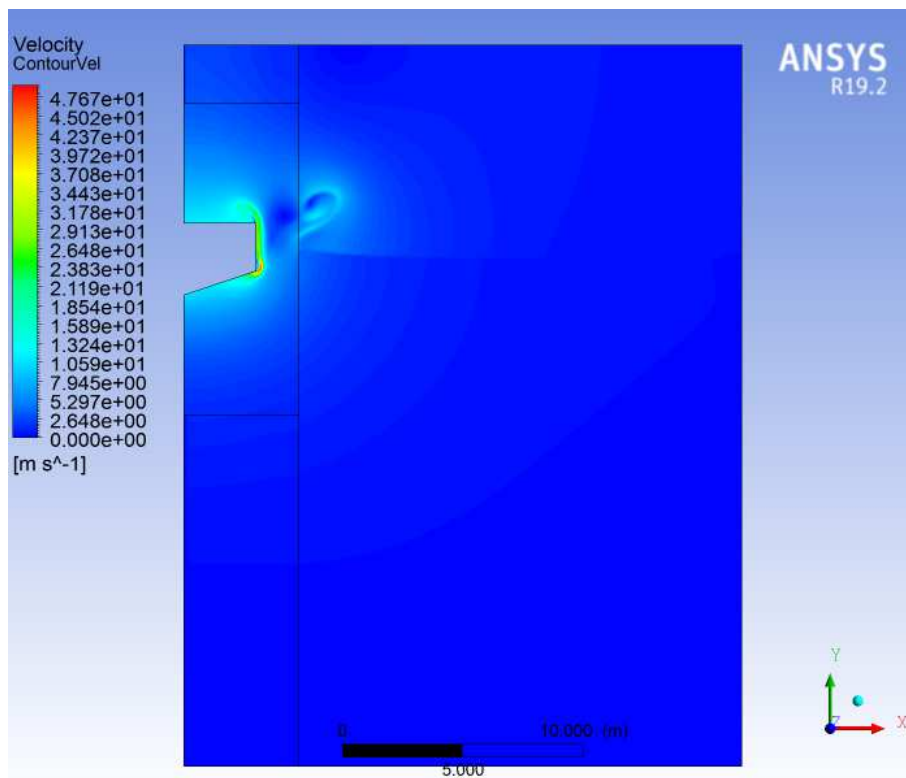


Figura 3.20: Grafico di forza verticale sul floater nel tempo-2000kg,22m

Simulazione 2000 kg, altezza d'acqua 21 m



*Figura 3.21: Mappa di fase-2000kg,21m*



*Figura 3.22: Mappa di velocità-2000kg,21m*

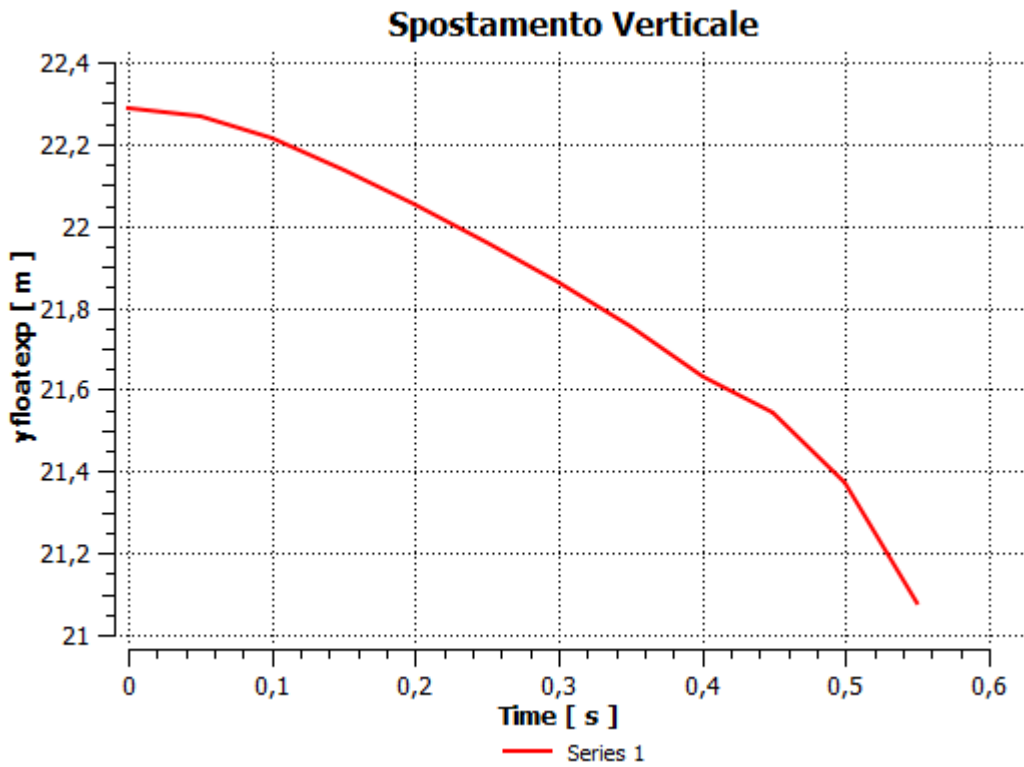


Figura 3.23: Grafico di spostamento verticale del floater nel tempo-2000kg,21m

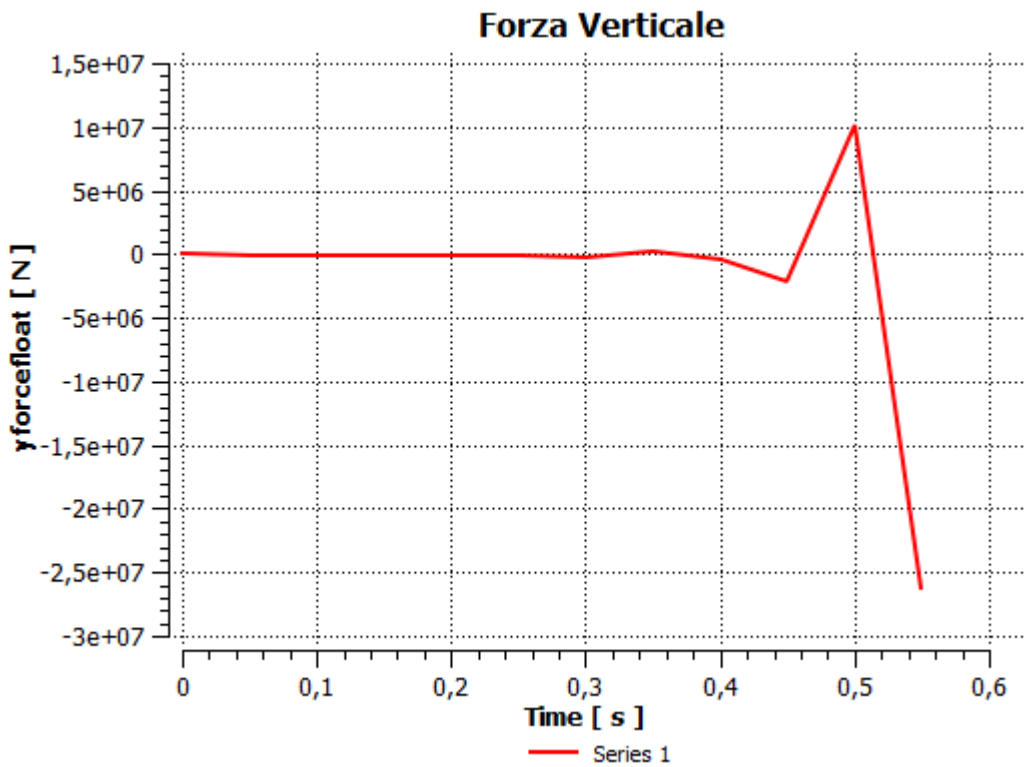


Figura 3.24: Grafico di forza verticale sul floater nel tempo-2000kg,21m



Simulazione 2000 kg, altezza d'acqua 20m

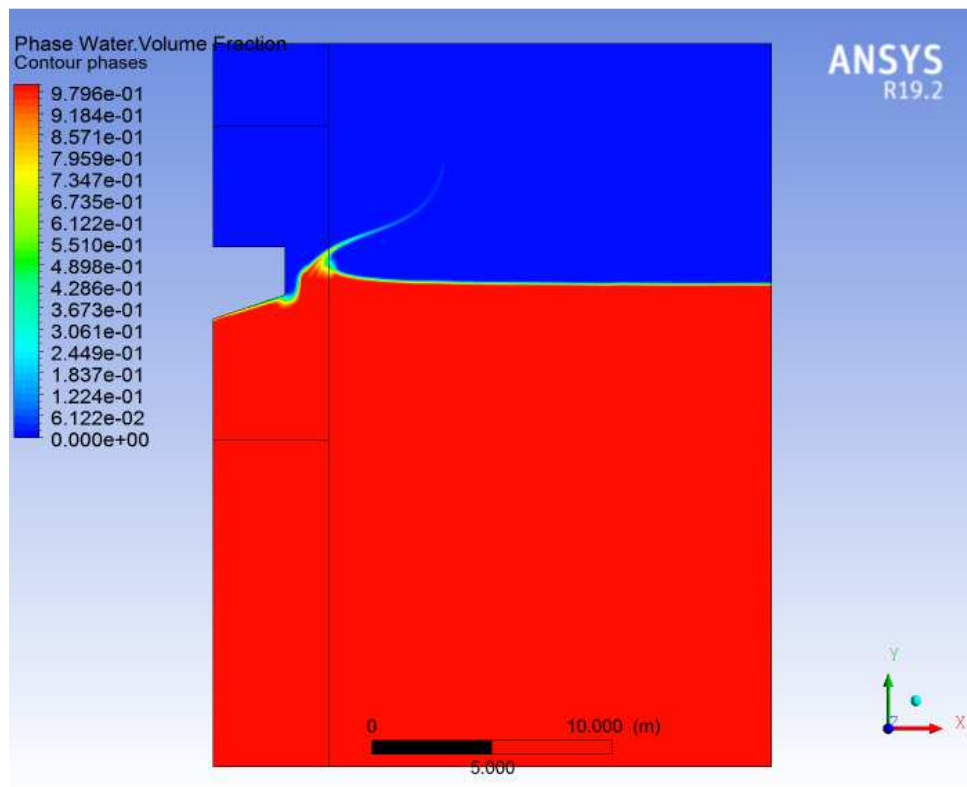


Figura 3.25: Mappa di fase-2000kg,20m

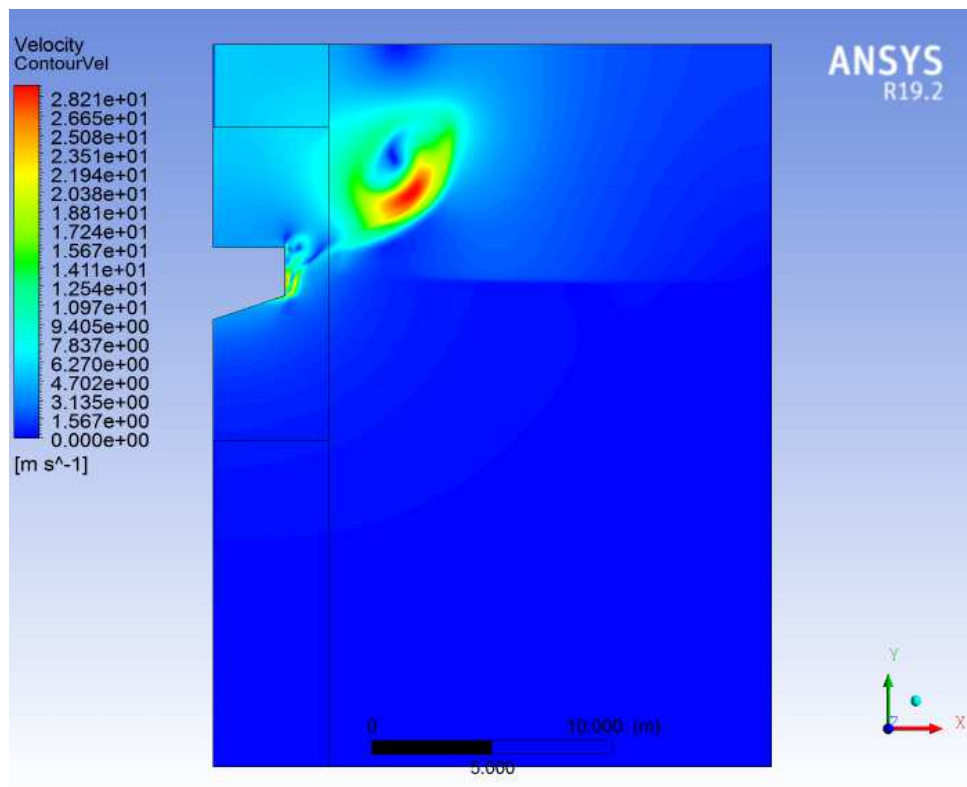


Figura 3.26: Mappa di velocità-2000kg,20m

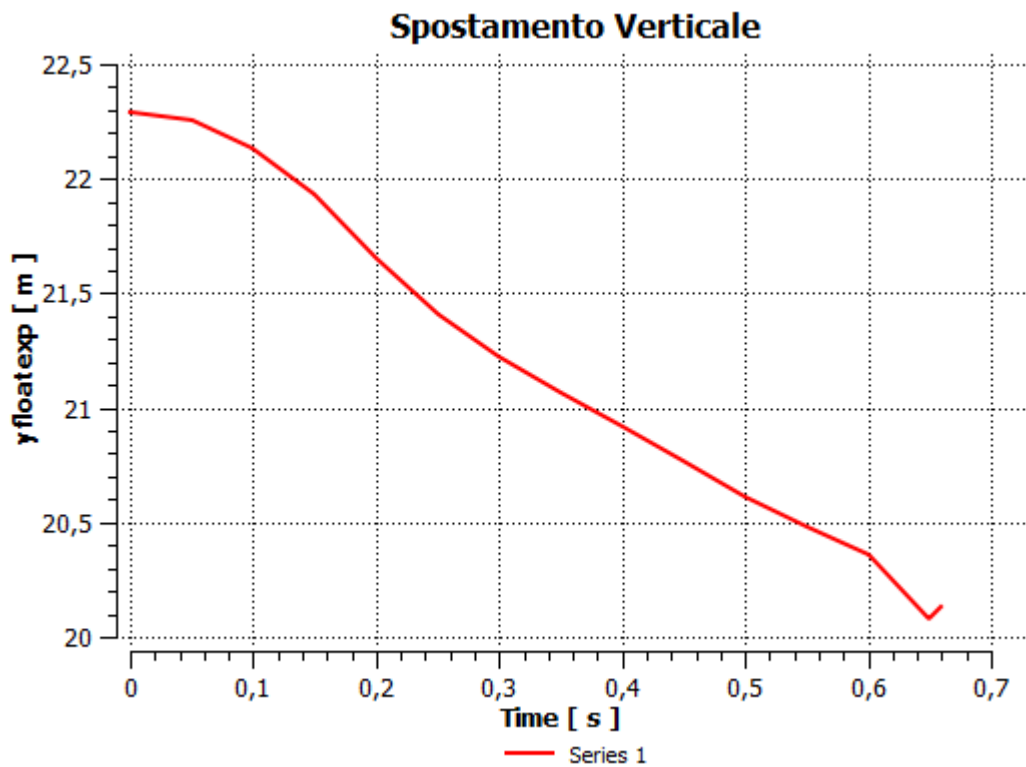


Figura 3.27: Grafico di spostamento verticale del floater nel tempo-2000kg,20m

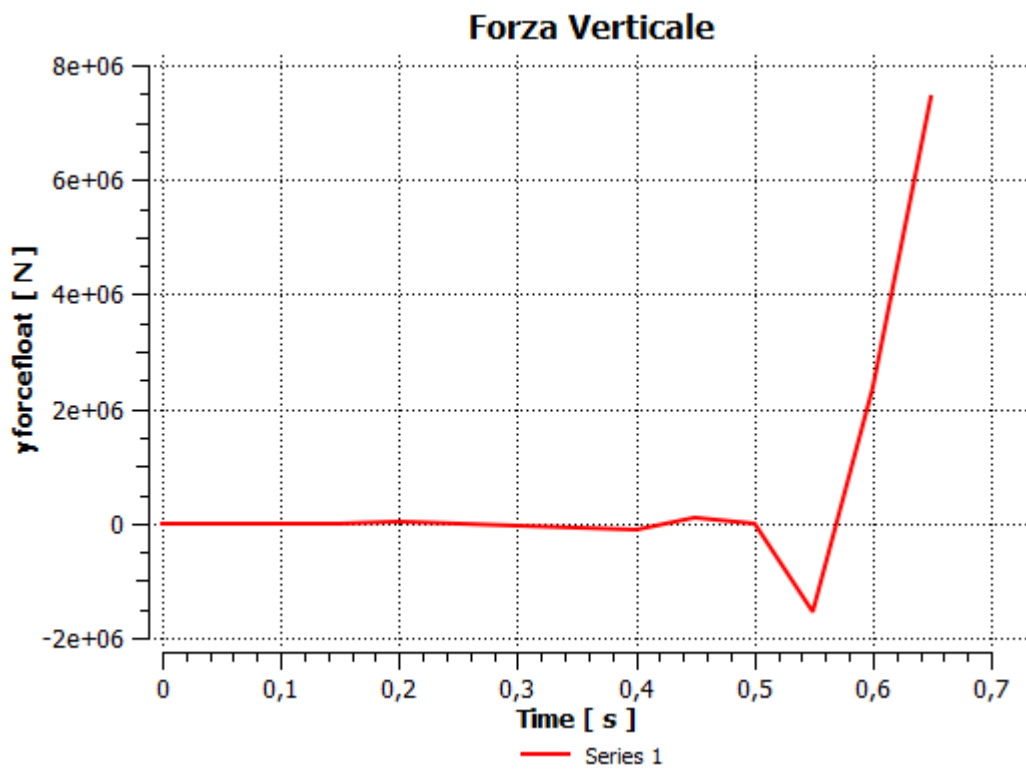


Figura 3.28: Grafico di forza verticale sul floater nel tempo-2000kg,20m

Simulazione 1000 kg, altezza d'acqua 22m

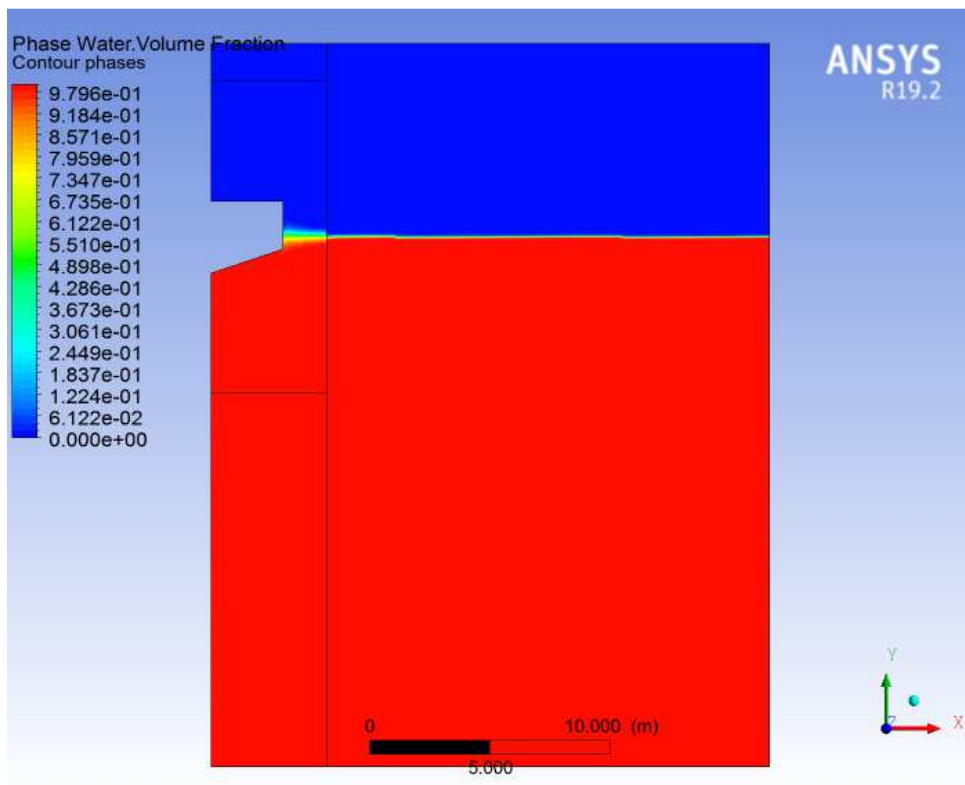


Figura 3.29: Mappa di fase-1000kg,22m

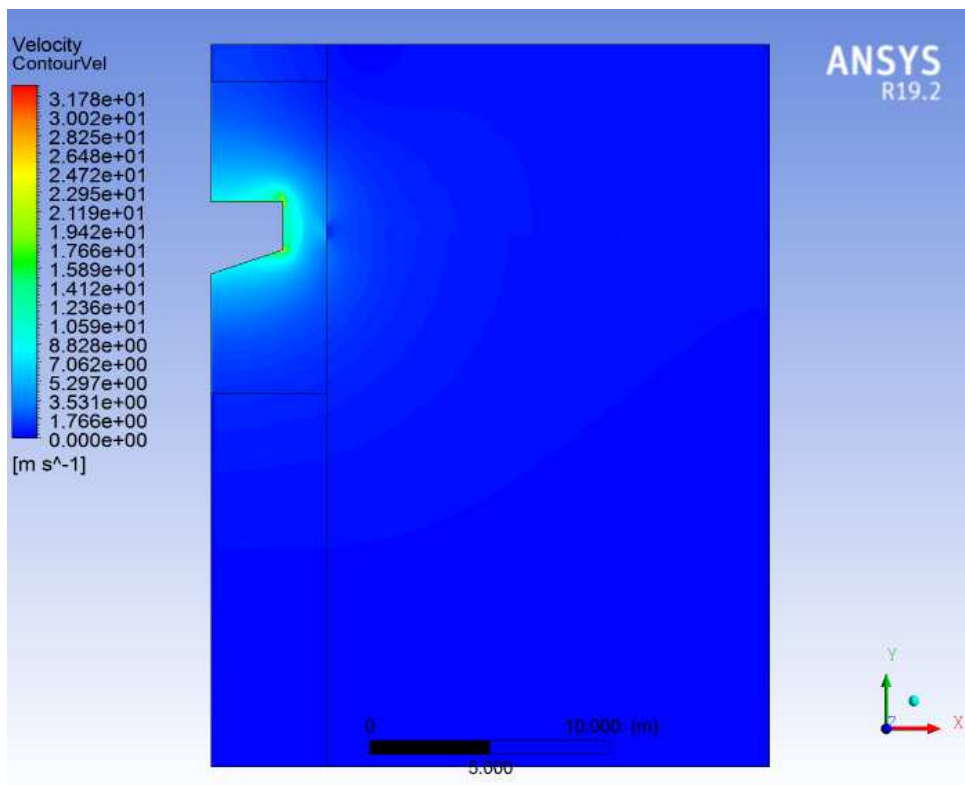


Figura 3.30: Mappa di velocità-1000kg,22m

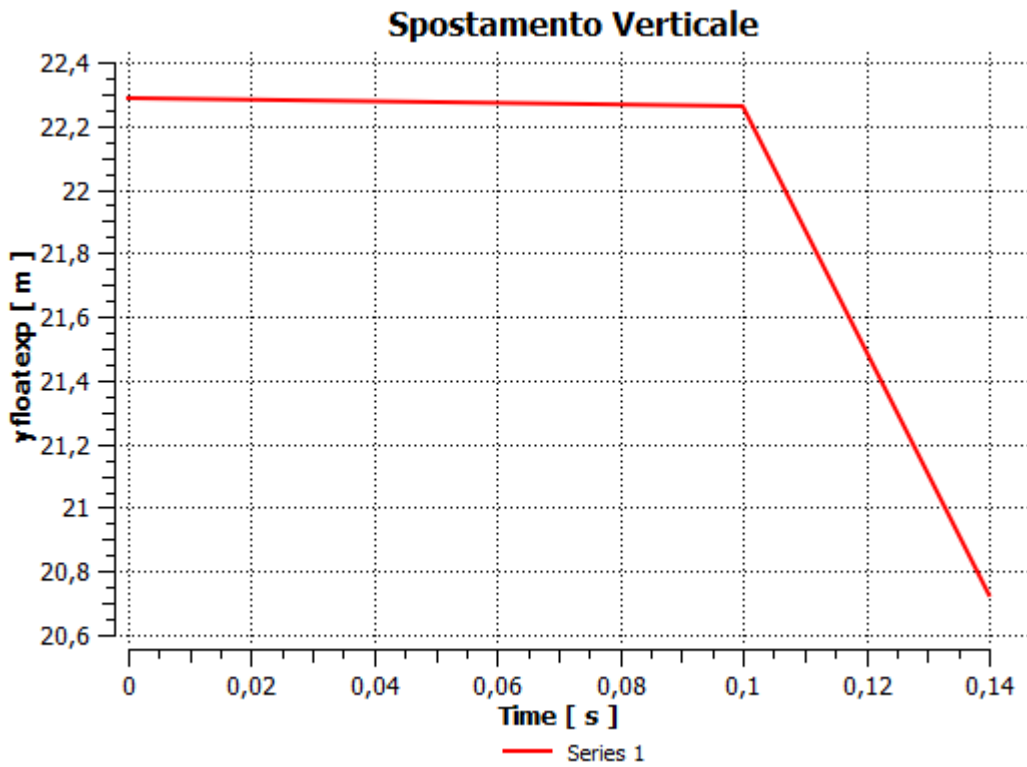


Figura 3.31: Grafico di spostamento verticale del floater nel tempo-1000kg,22m

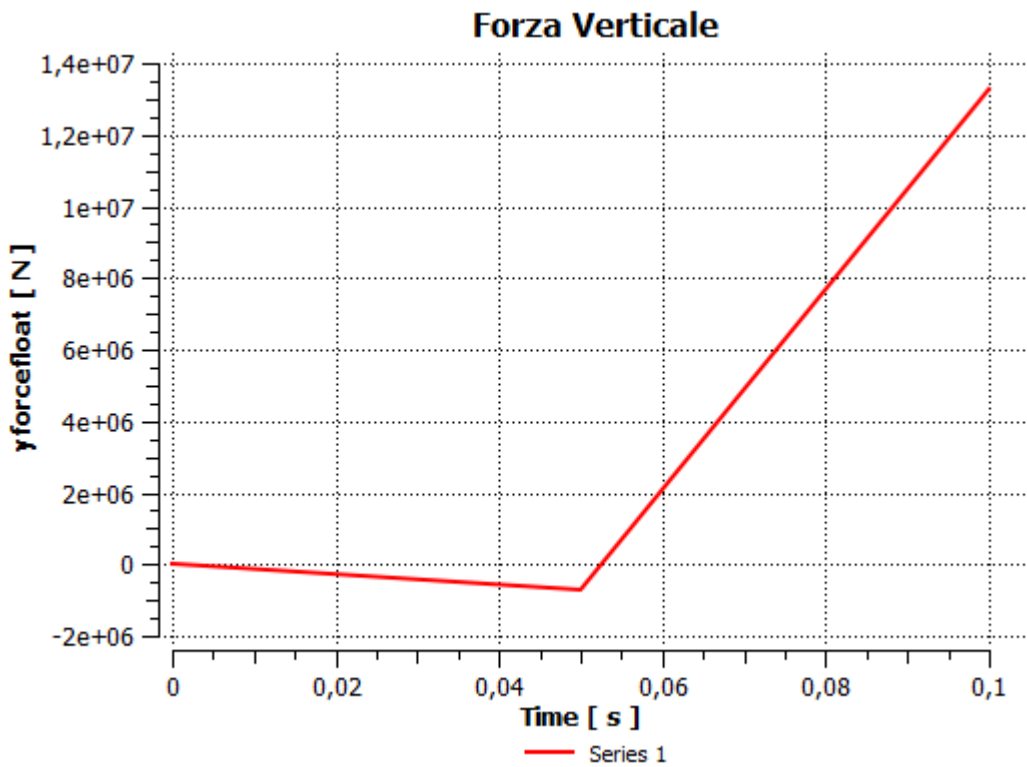


Figura 3.32: Grafico di forza verticale sul floater nel tempo-1000kg,22m

Simulazione 1000 kg, altezza d'acqua 21m

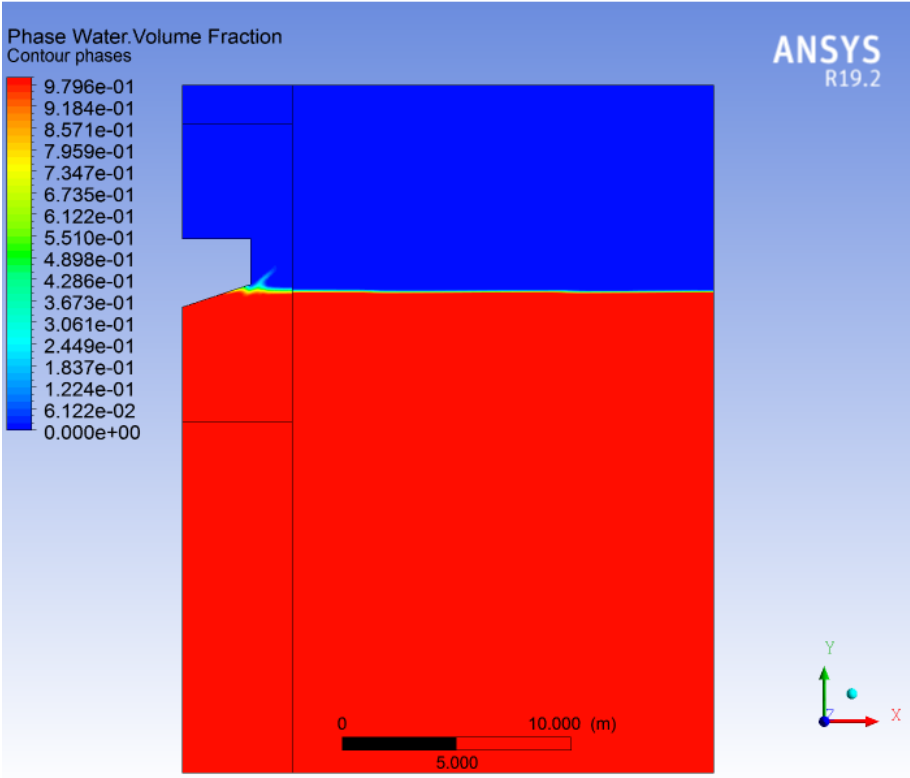


Figura 3.33: Mappa di fase-1000kg,21m

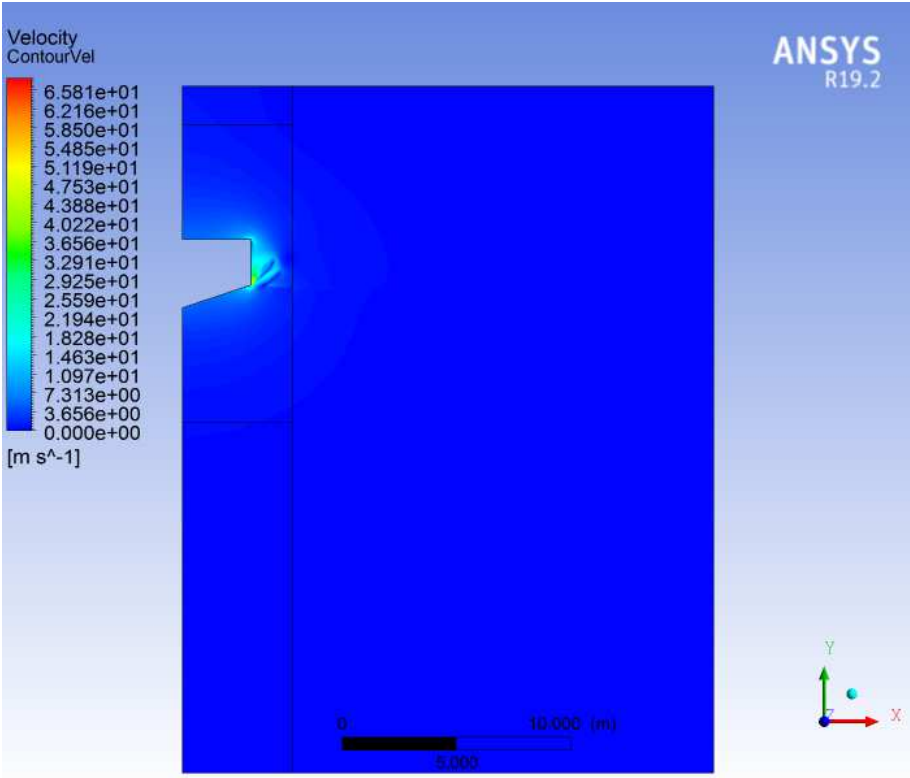


Figura 3.34: Mappa di velocità-1000kg,21m

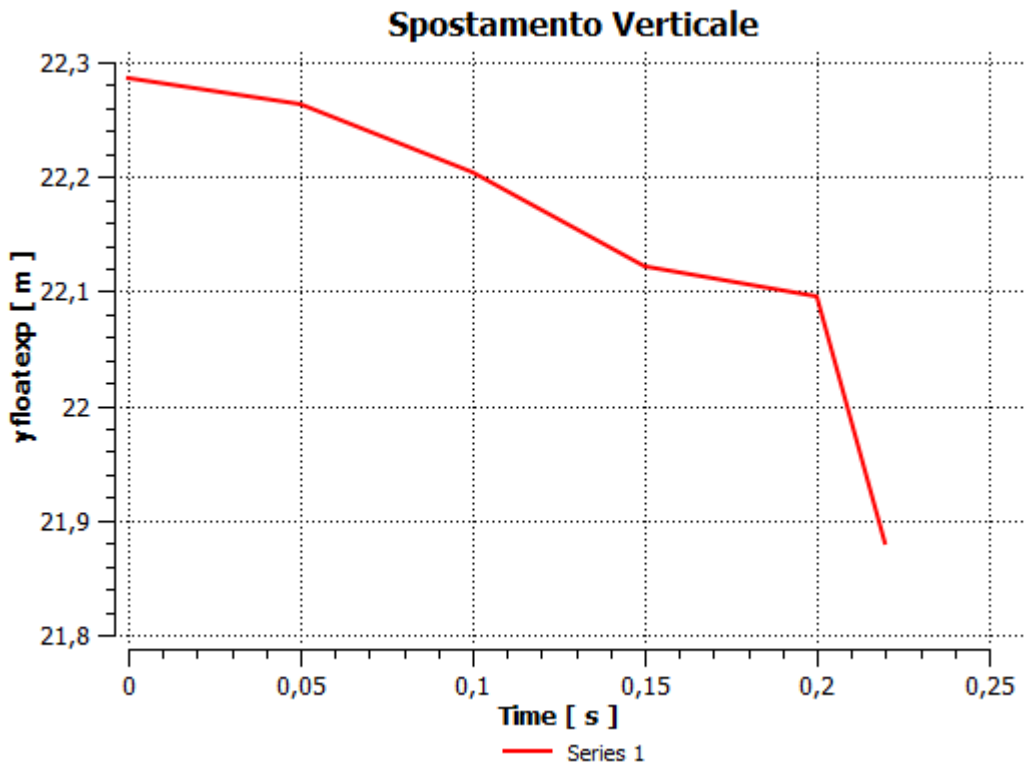


Figura 3.35: Grafico di spostamento verticale del floater nel tempo-1000kg,21m

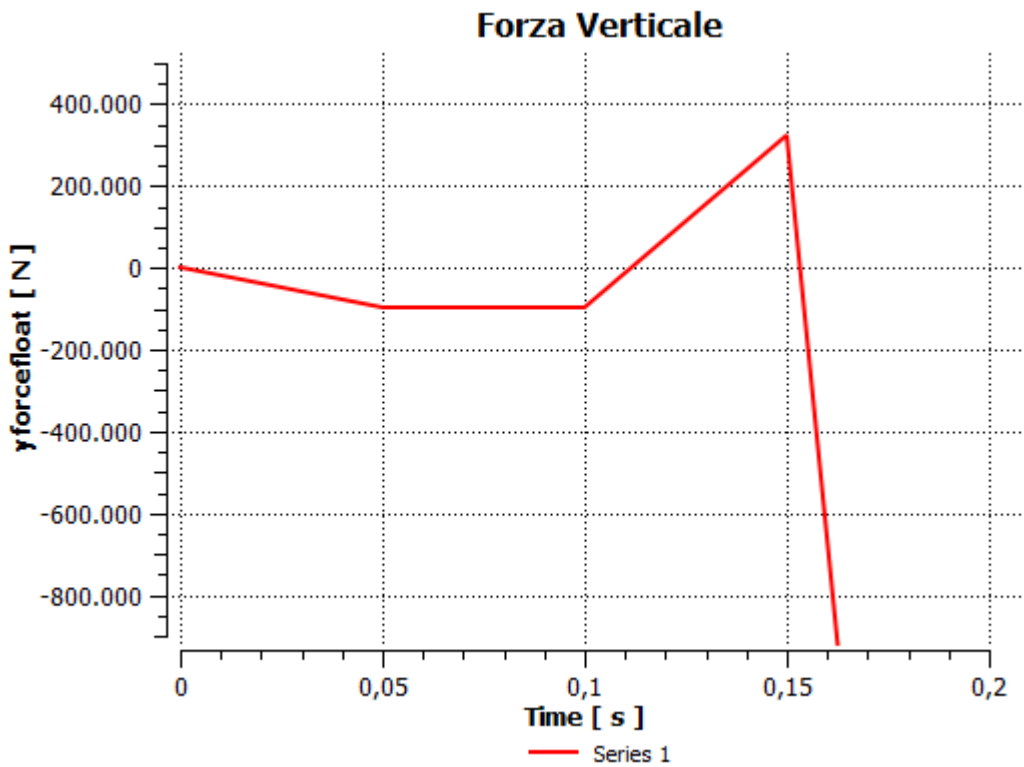


Figura 3.36: Grafico di forza verticale sul floater nel tempo-1000kg,21m

Simulazione 1000 kg, altezza d'acqua 20m

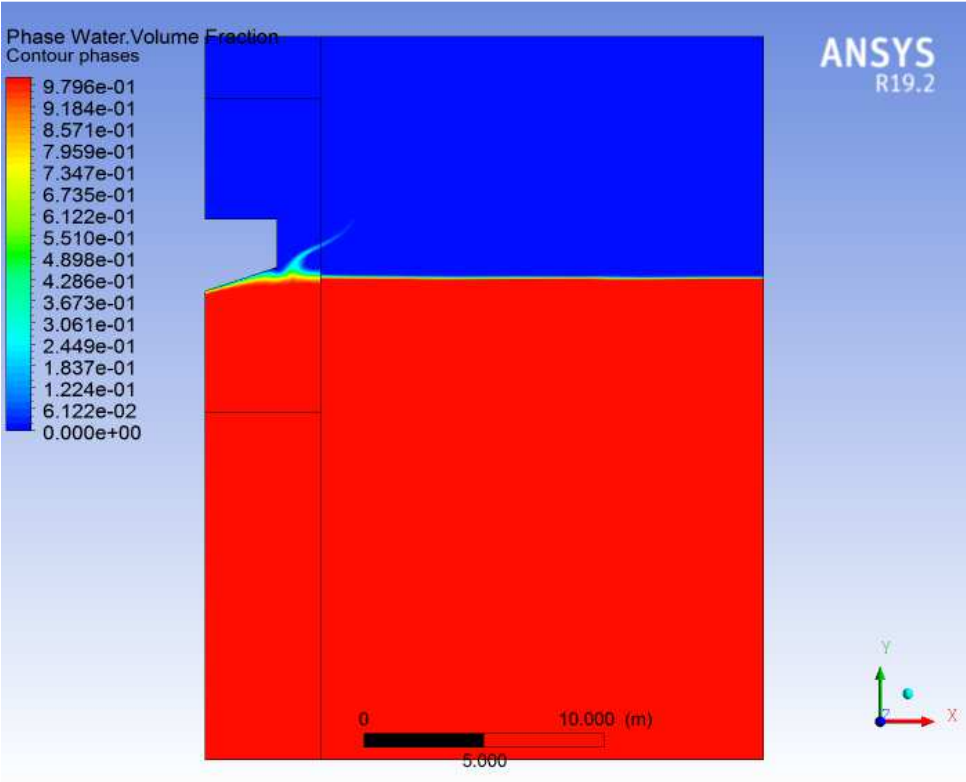


Figura 3.37: Mappa di fase-1000kg,20m

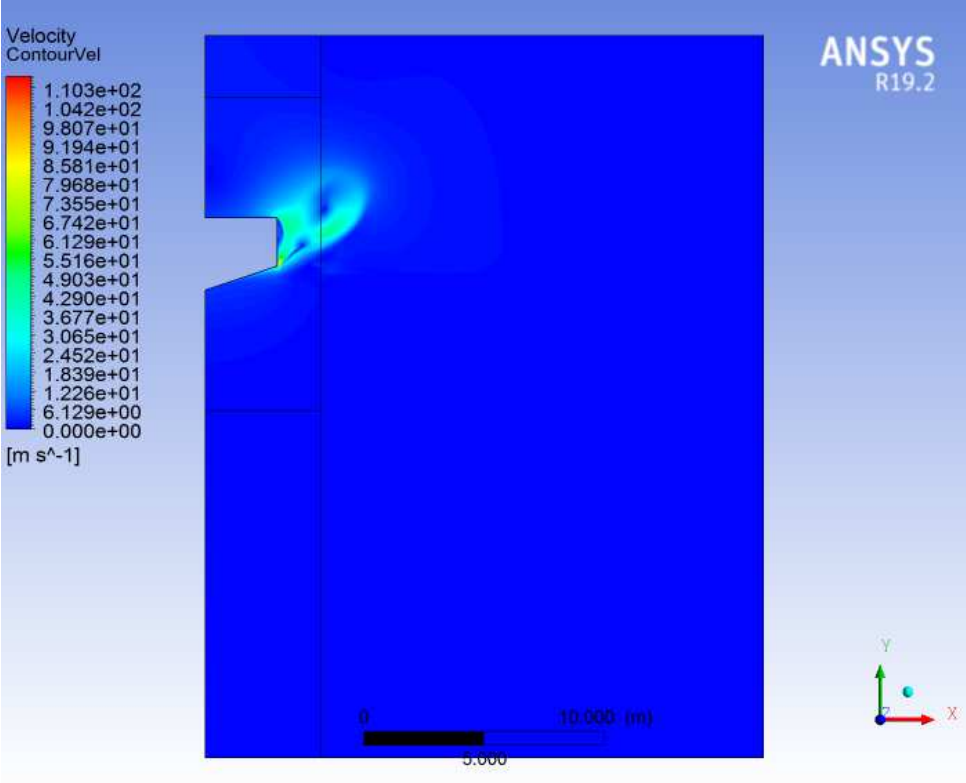


Figura 3.38: Mappa di velocità-1000kg,20m

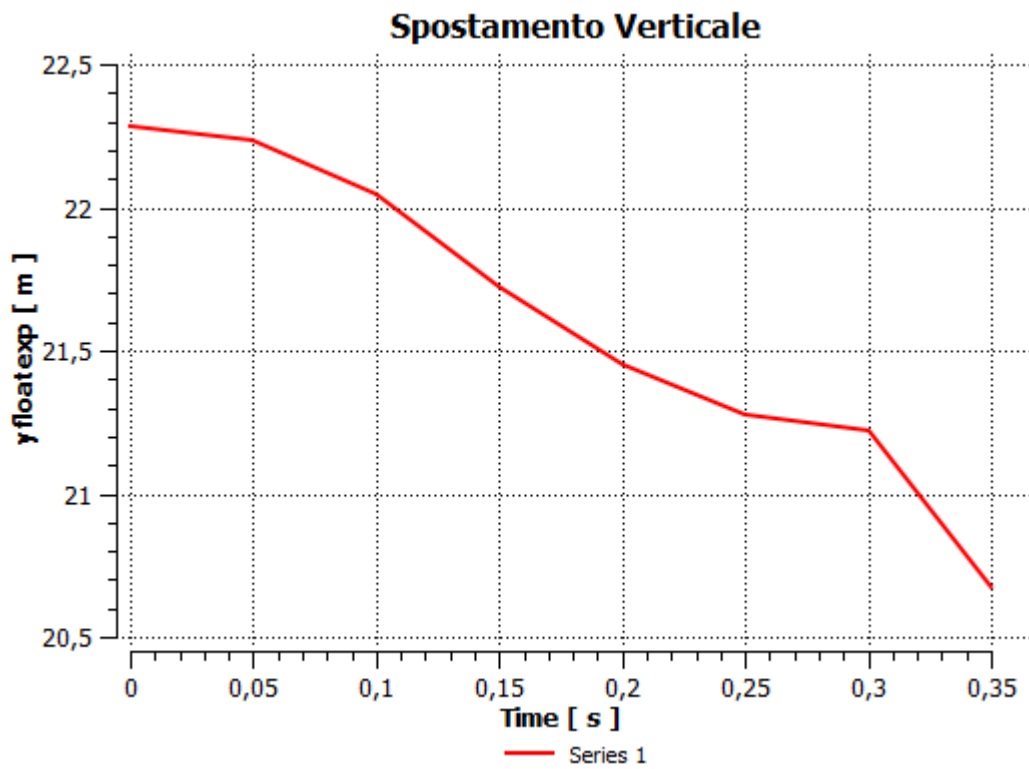


Figura 3.39: Grafico di spostamento verticale del floater nel tempo-1000kg,20m

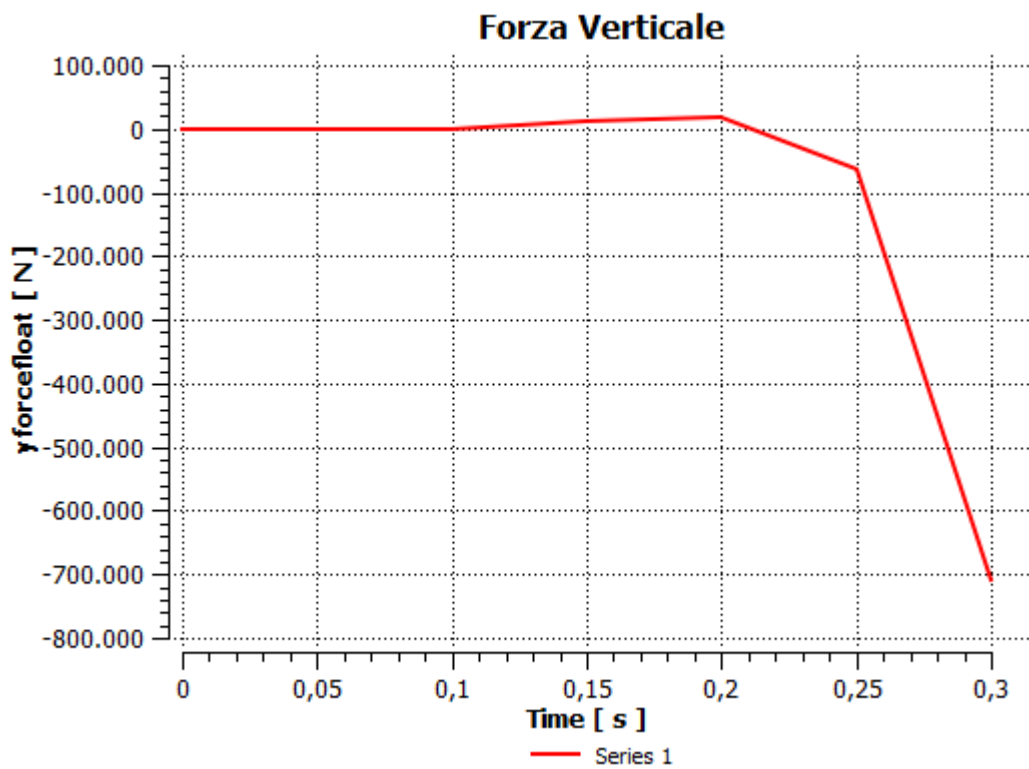


Figura 3.40: Grafico di forza verticale sul floater nel tempo-1000kg,20m



## 4. Discussione dei risultati

Seguono all'analisi dei risultati riportati le seguenti considerazioni:

- Tutte le simulazioni si sono interrotte prima di compiere le iterazioni assegnate, in particolare il codice ha sempre presentato lo stesso errore di “floating point exception”. Tale errore si genera quando i residui diventano troppo alti ovvero il codice diverge in qualche cella. Quello che emerge dalle simulazioni sulla massa è che maggiore è il peso, maggiore è il tempo necessario affinché si presenti l'errore ossia la simulazione procede per più step. In particolare, la simulazione con massa di 3000 kg diverge dopo 1,4 s (Figure 3.3, 3.4), a 2000 kg il tempo è 0,55 s per poi diminuire drasticamente nella terza e nell'ultima simulazione (figure 3.11, 3.12, 3.15, 3.16).
- In tutte le simulazioni, ponendo l'attenzione sulla mappa delle velocità, è possibile individuare una zona di influenza nell'intorno del floater in cui si generano velocità diverse da zero (intorno ai 10 m/s) e più elevate che in tutto il resto del dominio come ci si aspettava poiché la dinamica del problema è determinata dallo spostamento del floater. Questo fenomeno è particolarmente evidente in figura 3.26.
- Lo stesso risultato di figura 3.26, se rapportato a figura 3.22 e 3.18, fornisce un altro dato che trova conferma anche nella successiva simulazione (figure 3.30, 3.34, 3.38). L'altezza d'acqua iniziale influenza la velocità del floater: ad altezze d'acqua superiori corrispondono velocità superiori.
- In figura 3.16, il grafico non evidenzia alcuna forza verticale sul floater dunque si può affermare che la simulazione con peso di 500 kg non porta risultati coerenti con la fisica del problema.
- Nel primo set di simulazioni a massa variabile, nelle simulazioni dove si è imposto un peso rispettivamente di 3000 kg (figura 3.1) e 2000 kg (figura 3.5), è possibile vedere l'onda che si forma a seguito dello spostamento del floater. Tale fenomeno risulta meno evidente nelle altre due simulazioni (figura 3.9, 3.13).
- Considerando le simulazioni ad altezza d'acqua e geometria costanti, in particolare escludendo la simulazione a 500 kg per quanto detto precedentemente, tutte presentano picchi di massimo e minimo della forza verticale: come mostrato in Tabella 3, a pesi maggiori corrispondono valori di forza verticale massimi e minimi superiori.

	Valori massimi di forza verticale	Valori minimi di forza verticale
Simulazione 3000 kg, 21 m	$4 \times 10^7 \text{ N}$	$-0,5 \times 10^7 \text{ N}$
Simulazione 2000 kg, 21 m	$1 \times 10^7 \text{ N}$	$-8 \times 10^6 \text{ N}$
Simulazione 1000 kg, 21 m	300000 N	100000 N

*Tabella 3: Valori di picco simulazione ad altezza d'acqua costante*

- Lo spostamento verticale è simile per le simulazioni a 3000 kg (figura 3.3) e 1000 kg (figura 3.11) con un andamento decrescente interrotto da un pianerottolo a pendenza minore. La prima simulazione è l'unica che dopo l'andamento decrescente presenta un incremento della coordinata y, probabilmente perché è l'unica simulazione a superare il secondo di durata. La figura 3.7 mostra invece un andamento decrescente pressoché costante per il floater di 2000 kg.
- Si riportano i risultati di spostamento verticale ad un tempo fissato per la simulazione a massa variabile e altezza d'acqua costante: i risultati non forniscono un chiaro quadro interpretativo.

	Spostamento Floater 0,1 s
Simulazione 3000 kg, 21 m (Figura 3.3)	0,1 m
Simulazione 2000 kg, 21 m (Figura 3.7)	0,1 m
Simulazione 1000 kg, 21 m (Figura 3.11)	0,1 m
Simulazione 500 kg, 21 m (Figura 3.15)	0,12 m

*Tabella 4: Spostamento del floater simulazione a massa variabile 0,1s*

- Si riportano i risultati di spostamento verticale ad un tempo fissato per le simulazioni a massa costante e altezza d'acqua variabile: a valori minori di altezza d'acqua corrispondono spostamenti superiori.

	Spostamento Floater 0,1 s
Simulazione 2000 kg, 22 m (Figura 3.19)	0,1 m
Simulazione 2000 kg, 21 m (Figura 3.23)	0,1 m
Simulazione 2000 kg, 20m (Figura 3.27)	0,2 m

	Spostamento Floater 0,1 s
Simulazione 1000 kg, 22 m (Figura 3.31)	Circa 0 m
Simulazione 1000 kg, 21 m (Figura 3.35)	0,1 m
Simulazione 1000 kg, 20m (Figura 3.19)	0,2 m

*Tabelle 5 e 6: Spostamento del floater simulazioni a massa costante, altezza d'acqua variabile.*

## 5. Conclusione e sviluppi futuri

Questo lavoro di tesi di laurea si inserisce nell'ambito del progetto PON PLACE per la riconversione di piattaforme off-shore a scopi produttivi, tra cui quello della produzione di energia dal moto ondoso. Per tale ragione si è brevemente presentato il panorama attuale del “decommissioning” e dello sfruttamento energetico delle onde marine.

Si sono descritte le diverse tipologie di dispositivi WEC, Wave Energy Converters, e nello specifico il dispositivo PowerBuoy perché di riferimento per il progetto.

Dallo studio di letteratura si è definita una geometria come primo passo per determinare un modello e nello specifico, sono state svolte simulazioni numeriche per studiare e approfondire la comprensione dell'interazione fluido-struttura attraverso l'utilizzo della piattaforma ANSYS Workbench e del software FLUENT.

Pertanto sono stati condotti due set di simulazioni variando la massa del galleggiante e le caratteristiche di inizializzazione e i risultati più significativi, riportati in forma grafica, sono stati ottenuti per il valore di massa maggiore considerato, pari a 3000 kg.

In particolare, si è analizzato un modello 2D con un numero di nodi ed elementi limitato a supporto di una successiva, più elaborata, simulazione 3D; si può dire che questo lavoro rappresenti un primo step di ricerca nell'ambito del progetto al quale seguirà una simulazione 3D forzata dove la forzante sarà rappresentata dalle onde registrate presso l'impianto *off-shore* ENI “Viviana 1”.

Come è evidente dalla discussione dei risultati, la simulazione diverge dopo poco più di un secondo dall'avvio nel caso con miglior riuscita. Per ottenere risultati effettivamente significativi, occorre correggere il modello numerico al fine di ottenere il movimento oscillatorio del floater che in questa sede non è stato possibile vedere. In questo modo i dati ottenuti saranno più significativi dell'interazione tra il sistema e il fluido.

## Bibliografia- Sitografia

- [1] British Petroleum BP Energy Outlook 2030. January 2013
- [2] Nicola Incampo, tesi di Laurea: analisi numerico-sperimentale del Wave Energy Converter EDS. 2015
- [3] <https://it.businessinsider.com/produrre-energia-pulita-dalle-onde-ecco-come-leni-vorrebbe-riutilizzare-le-sue-piattaforme-offshore-giunte-a-fine-vita/>
- [4] Ashraf Said Ismail. Power Generation by Fluids. Lecture Practical Tutorial. 2012
- [5] Centre for Renewable Energy Sources (CRES). Wave energy utilization in Europe. European Thematic Network on Wave Energy. 2002
- [6] [http://publications.europa.eu/resource/ellar/4bdc9130-a245-497d-85c0-25a70572612c.0014.02/DOC\\_2](http://publications.europa.eu/resource/ellar/4bdc9130-a245-497d-85c0-25a70572612c.0014.02/DOC_2)
- [7] [https://www.eniday.com/it/talks\\_it/progetto-poseidon-piattaforme-dismesse/](https://www.eniday.com/it/talks_it/progetto-poseidon-piattaforme-dismesse/)  
[http://www.ansa.it/mare/notizie/rubriche/ambienteepesca/2016/08/09/gb-piattaforma-alla-deriva-in-scozia-minaccia-la-costa\\_22af6eaf-d48b-45ed-a0d1-04eb52b2279b.html](http://www.ansa.it/mare/notizie/rubriche/ambienteepesca/2016/08/09/gb-piattaforma-alla-deriva-in-scozia-minaccia-la-costa_22af6eaf-d48b-45ed-a0d1-04eb52b2279b.html)
- [8] PROGETTO PLACE: conversione di piattaforme off-shore per usi multipli eco-sostenibili PON ARS01\_00891, OR 4 Caratterizzazione climatica del sito pilota, TASK 4.1 Caratterizzazione meteomarina e analisi degli eventi estremi del sito pilota, responsabile scientifico per Università della Campania “Luigi Vanvitelli”
- [9] Aurelio Manzoni. Stato dell'arte delle tecnologie di conversione dell'energia dal moto ondoso. Tesi di laurea.
- [10] Kathleen A. Edwards, Mike Mekhiche. Ocean poer technologies Powerbuoy: system-level design, development and validation methodology. Proceedings of the 2nd Marine Energy Technology Symposium METS2014 April 15-18, 2014 Seattle, WA.
- [11] [https://it.wikipedia.org/wiki/Fluidodinamica\\_computazionale](https://it.wikipedia.org/wiki/Fluidodinamica_computazionale)  
<http://www.centropiaggio.unipi.it/sites/default/files/course/material/2013-10-08%20-%20CFD%20Intro.pdf>  
[http://www.ingegneriaaerospaziale.net/documenti/articoli/adepron08\\_0001.pdf](http://www.ingegneriaaerospaziale.net/documenti/articoli/adepron08_0001.pdf)

[12] Jennifer van Rij, Yi-Hsiang Yu, Kathleen Edwards, Mike Mekhiche. Ocean power technology design optimization. National Renewable Energy Laboratory, 15013 Denver West Parkway, Golden, CO 80401, USA. Ocean Power Technologies, 1590 Reed Road, Pennington, NJ 08534, USA

[13] Atena Amiri, Roozbeh Panahi, Soheil Radfar. Parametric Study of Two-Body Floating-Point Wave Absorber. Faculty of Civil and Environmental Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran 14115-143, Iran

[14] Jonathan Blackledge, Eugene Coyle, Derek Kearney, Ronan McGuirk and Brian Norton. Estimation of Wave Energy from Wind Velocity. Engineering Letters, 21:4, EL 21\_04\_01